CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR

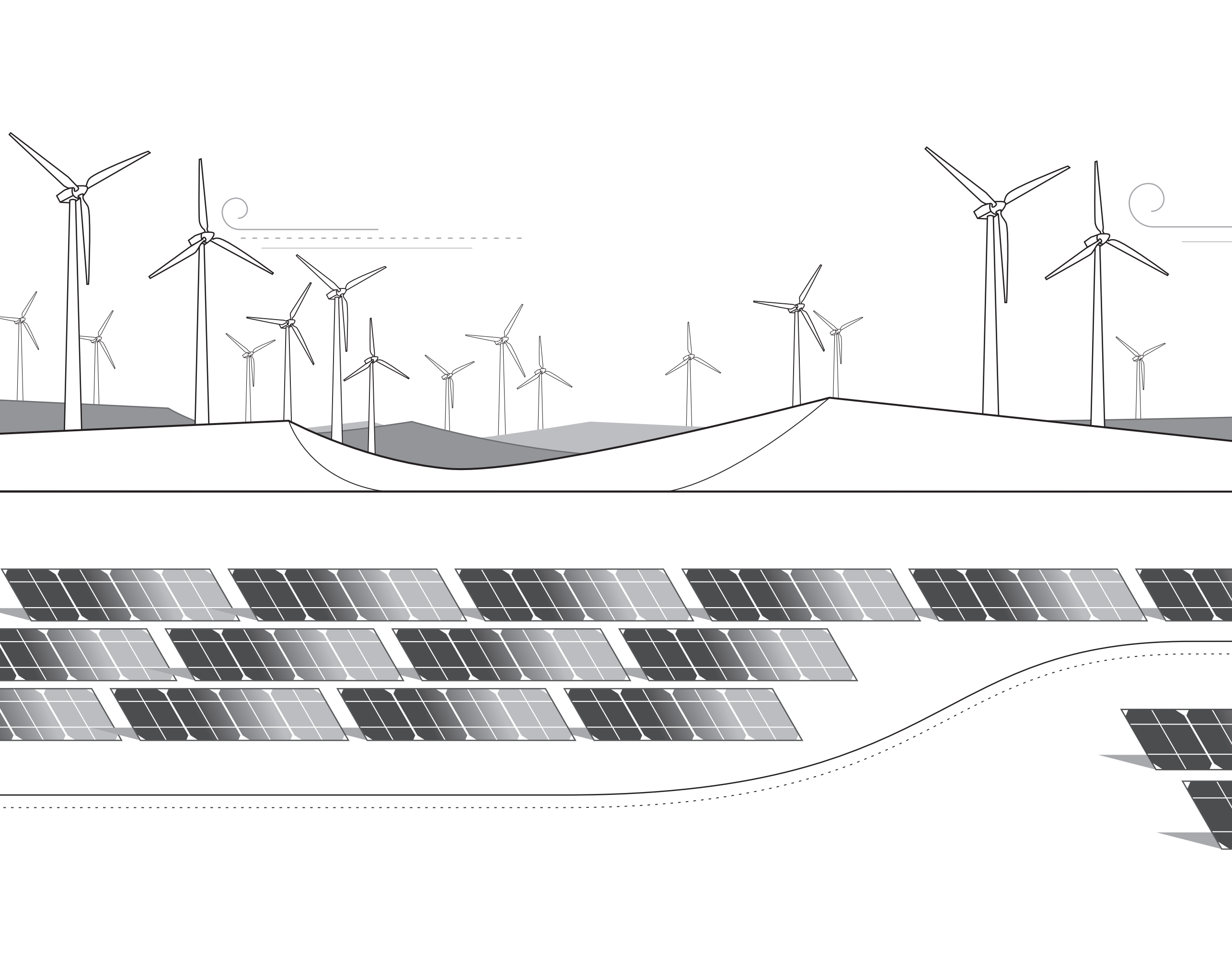
WIND AND SOLAR ATLAS

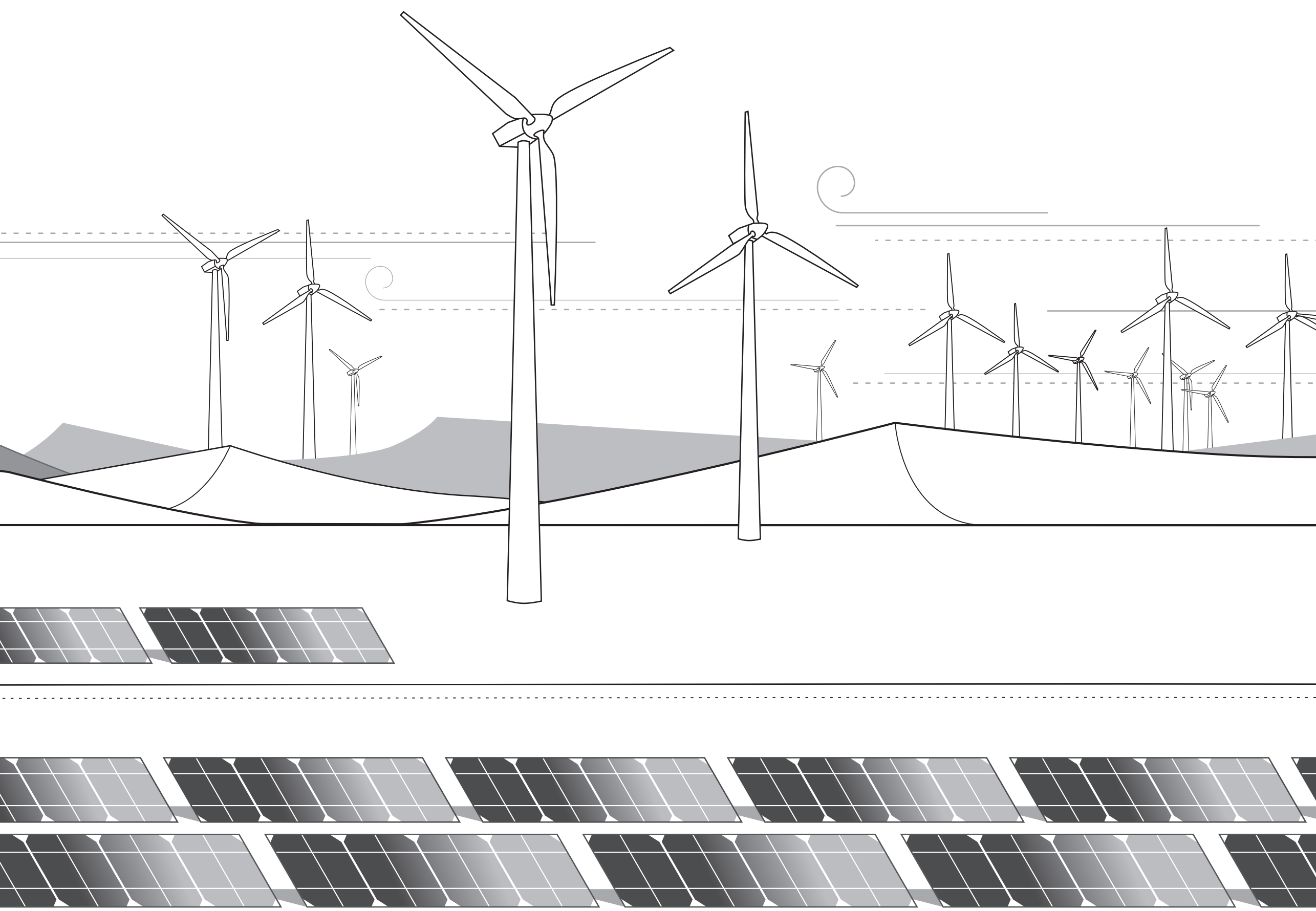
Sistema FIEC

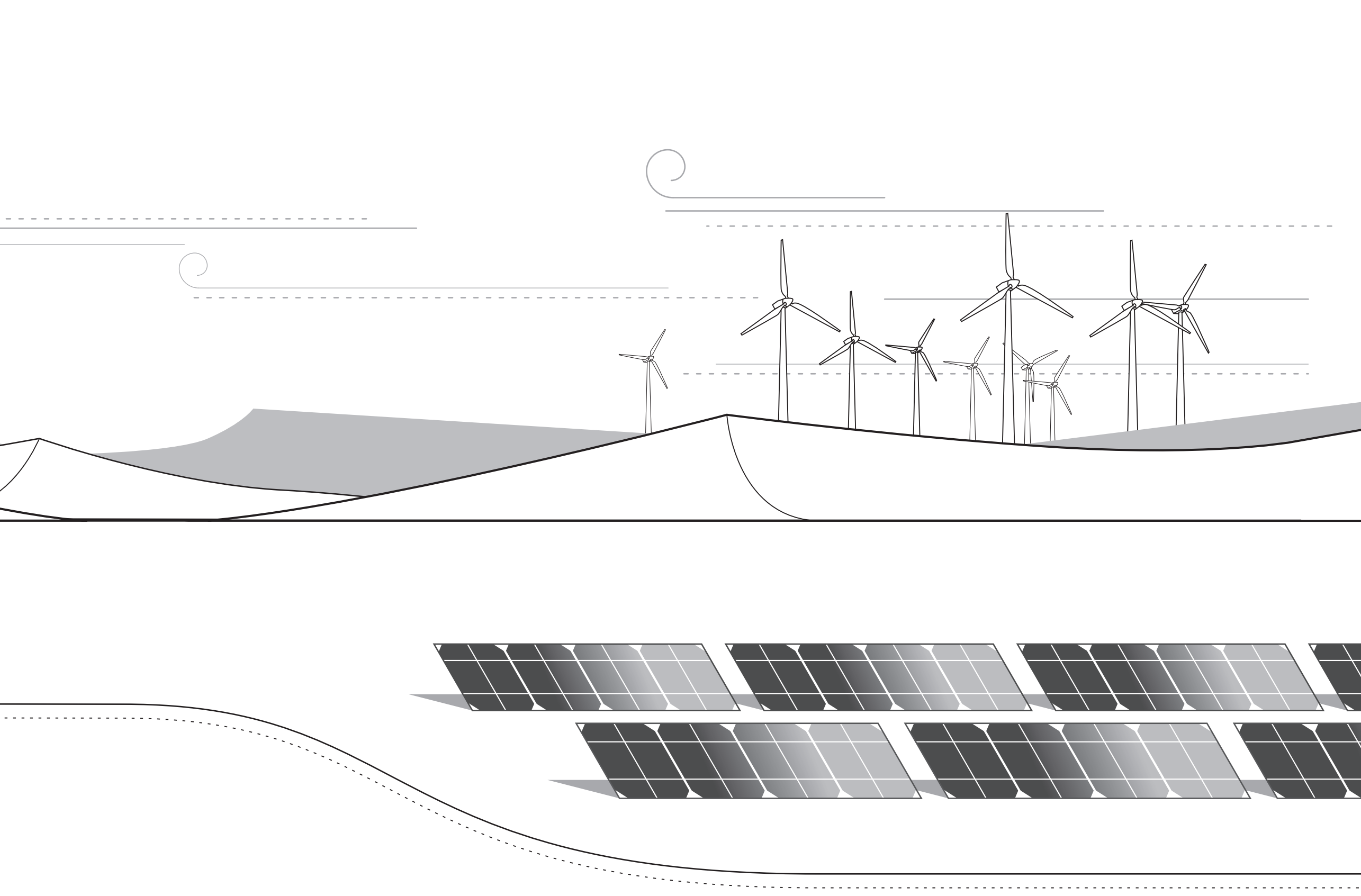
SEBRAE

ADECE Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A.

Governo do Estado do Ceará
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho







CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR

WIND AND SOLAR ATLAS

2019

Sistema FIEC

SEBRAE

ADECE

Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

Elaboração

CAMARGO SCHUBERT

PRODUÇÃO / *PRODUCTION*

ESTADO DO CEARÁ / *STATE OF CEARÁ*
- **Camilo Sobreira de Santana**

Governador / *Governor*
- **Vivian Nicolle Barbosa de Alcântara**

Assessora Especial do Gabinete do Governador / *Special Advisor to the Governor's Office*

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ – ADECE */ CEARÁ STATE DEVELOPMENT AGENCY – ADECE*
- **Eduardo Henrique Cunha Neves**

Diretor Presidente / *President*
- **Marco Prado**

Diretor de Suporte, Operações e Serviços / *Director of Support, Operations and Services*
- **Daniel Ramos**

Gerente de Suporte a Infraestrutura / *Manager of Infrastructure Support*
- **Carmen Rangel**

Assessora da Presidência / *Advisor to the President*
- **Taís Cunha**

Assessora da Presidência / *Advisor to the President*

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ – FIEC */ FEDERATION OF INDUSTRIES OF THE STATE OF CEARÁ – FIEC*

INSTITUCIONAL
- **Jorge Alberto Vieira Studart Gomes**

Beto Studart - Presidente / *President*
- **José Ricardo Montenegro Cavalcante**

Diretor Administrativo / *Managing Director*
- **Edgar Gadelha Pereira Filho**

Diretor Financeiro / *Financial Director*
- **Luiz Francisco Juaçaba Esteves**

Diretor Administrativo Adjunto / *Deputy Managing Director*
- **Ricard Pereira Silveira**

Diretor Financeiro Adjunto / *Deputy Financial Director*
- **Juliana Guimarães de Oliveira**

Superintendente Geral / *General Superintendent*

EQUIPE TÉCNICA / *TECHNICAL TEAM*
- **Joaquim Caldas Rolim de Oliveira**

Núcleo de Energia / *Energy Center*
- **Jurandir Picanço Júnior**

Núcleo de Energia / *Energy Center*
- **David Freitas Pontes**

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-CE / *Service of Industrial Apprenticeship – SENAI-CE*
- **Guilherme Muchale**

Observatório da Indústria / *Industry Observatory*
- **Indira Ponte Ribeiro**

Observatório da Indústria / *Industry Observatory*
- **Ana Maria Xavier**

Gerência de Comunicação / *Communication Management*
- **Heitor Studart**

Núcleo de Infraestrutura / *Infrastructure Center*
- **Fernando Castelo Branco**

Núcleo de Acesso ao Crédito / *Credit Access Center*
- **Danadette Andrade Nunes**

Núcleo de Expansão Industrial / *Industrial Expansion Center*
- **Luiz Fernando Barbosa Bezerra**

Gerência Jurídica / *Legal Counsel*
- **Renata de Souza Frota**

Núcleo de Energia / *Energy Center*

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO ESTADO DO CEARÁ – SEBRAE/CE */ SERVICE OF SUPPORT TO THE MICRO AND SMALL COMPANIES OF THE STATE OF CEARÁ – SEBRAE/CE*
- **José Ricardo Montenegro Cavalcante**

Presidente do Conselho Deliberativo / *President of the Deliberative Body*
- **Joaquim Cartaxo Filho**

Diretor Superintendente / *Superintendent Director*
- **Alci Porto Gurgel Júnior**

Diretor Técnico / *Technical Director*
- **Airton Gonçalves Júnior**

Diretor de Administração e Finanças / *Administration and Finance Director*

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE ENERGIA E DE SERVIÇOS DO SETOR ELÉTRICO DO ESTADO DO CEARÁ – SINDIENERGIA/CE */ UNION OF ENERGY AND SERVICE INDUSTRIES OF THE ELECTRICAL SECTOR OF THE STATE OF CEARÁ – SINDIENERGIA/CE*
- **Benildo Aguiar**

Presidente / *President*
- **Luiz Eduardo Barbosa Moraes**

Diretor de Geração Centralizada / *Director of Centralized Generation*
- **Ribamar Carneiro**

Gerente Executivo / *Executive Manager*

SECRETARIA DA INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO CEARÁ – SEINFRA/CE */ DEPARTMENT OF INFRASTRUCTURE OF THE STATE OF CEARÁ – SEINFRA/CE*
- **Lúcio Ferreira Gomes**

Secretário / *Secretary*
- **Adão Linhares Muniz**

Secretário Executivo de Energia e Telecomunicações / *Executive Secretary of Energy and Telecommunication*

SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E TRABALHO – SEDET */ DEPARTMENT OF LABOR AND ECONOMIC DEVELOPMENT – SEDET*
- **Francisco de Queiroz Maia Júnior**

Secretário / *Secretary*

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SEMA */ ENVIRONMENT SECRETARIAT – SEMA*
- **Artur Bruno**

Secretário / *Secretary*

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO SUPERIOR – SECITECE */ DEPARTMENT OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND HIGHER EDUCATION – SETICE*
- **Inácio Arruda**

Secretário / *Secretary*

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME */ CEARÁ RESEARCH INSTITUTE FOR METEOROLOGY AND WATER RESOURCES – FUNCEME*
- **Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins**

Presidente / *President*
- **Meiry Sayuri Sakamoto**

Gerente de Meteorologia / *Meteorology Manager*
- **Margareth Silvia Benicio de Souza Carvalho**

Gerente de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente / *Manager of Studies and Research about the Environment*
- **Manuel Rodrigues de Freitas Filho**

Supervisor da Unidade de Estudos Básicos / *Basic Studies Unit Supervisor*
- **Edson Bruno Zaranza de Sousa**

Desenvolvedor de aplicativo / *Application Developer*
- **Robson Franklin Vieira Silva**

Desenvolvedor de aplicativo / *Application Developer*

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE */ ENVIRONMENTAL STATE SUPERIDENCENCY – SEMACE*
- **Carlos Alberto Mendes Júnior**

Superintendente da SEMACE / *SEMACE Superintendent*
- **Ulisses Costa de Oliveira**

Assessor da Superintendência / *Superintendent Advisor*

EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO / *TECHNICAL TEAM OF DEVELOPMENT*

CAMARGO-SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS */ CAMARGO-SCHUBERT ASSOCIATED ENGINEERS*
- Alexander Clasen Back
- Fabiano de Jesus Lima da Silva
- Fábio Catani
- Guilherme Guebur Lima
- Isadora Limas Coimbra
- João Mendes Ortolan
- Odilon A. Camargo do Amarante
- Paulo Emiliano Piá de Andrade
- Ramon Morais de Freitas

MODELAGEM DE MESOESCALA FORNECIDA POR UL TRUEPOWER
MESOSCALE MODELING PROVIDED BY UL TRUEPOWER
- Joan Aymaní
- Michael Brower
- José Vidal

FOTOGRAFIAS */ PHOTOGRAPHY*
- Zig Koch
- Ramon F.
- José Wagner

ILUSTRAÇÕES */ ILLUSTRATIONS*
- Leo Gibran

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
GRAPHIC DESIGN AND LAYOUT
- du.ppg.br

REVISÃO DE TEXTO */ PROOFREADING*
- Roberto Santos Sobrinho
- Maria Kimie Amarante

VERSÃO EM LÍNGUA INGLESA
ENGLISH VERSION
- RC Traduções

CAPA */ COVER*
- ADECE

FOTO DA CAPA */ PHOTOGRAPHY ON THE COVER*
- Carlos Gibaja

(Usina Fotovoltaica Telles */ Telles Solar Plant)*
- Acervo Camargo-Schubert

(Complexo Eólico Faísa */ Faísa Wind Farm*)

IMPRESSÃO E ACABAMENTO
PRINTING AND FINISHING
- Tecnograf

A881 Atlas Eólico e Solar : Ceará / elaborado por Camargo Schubert Engenheiros Associados...[et al.] – Curitiba : Camargo Schubert ; Fortaleza : ADECE : FIEC : SEBRAE, 2019.
188 p.: il., mapas ; 34 x 39.5 cm.

Inclui Bibliografia
ISBN 978-85-67342-05-4

1. Energia eólica – Ceará – Mapas. 2. Ventos - Medição – Ceará. 3. Energia solar – Ceará – Mapas. 4. Medições solarimétricas – Ceará. 5. Geração de energia fotovoltaica – Ceará. 6. Energia – Fontes alternativas – Ceará. 7. Meio ambiente. I. Camargo Schubert Engenheiros Associados. II. ADECE. III. FIEC. IV. SEBRAE. V. FUNCEME. VI. SEINFRA. VII. SEMACE. VIII. SEMA. IX. SINDIENERGIA.

CDD (20.ed.) 621.47
551.518
333.92
CDU (2.ed.) 620.91 (813.1)

IMPRESSO NO BRASIL/*PRINTED IN BRAZIL*

AGRADECIMENTOS

ACKNOWLEDGMENTS

A todos que contribuíram e participaram na implementação deste trabalho. O apoio das entidades a seguir apresentadas foi de fundamental importância, desde a idealização até a efetivação deste projeto.

We would like to thank all those who contributed and participated in the implementation of this work. The support of the following entities was of uttermost importance, from the idealization to the realization of this project.

Governo do Estado do Ceará – Secretaria da Infraestrutura

Governo do Estado do Ceará – Secretaria do Meio Ambiente

Governo do Estado do Ceará – Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior

FUNCEME

sindienergia CEARÁ

CSRenováveis/CE – Câmara Setorial de Energias Renováveis – ADECE Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CPFL Renováveis

ENGIE

FCG Participações

NEWEN New Energies

Omega energia

bons ventos – Projetos Eólicos

Grupo SERVTEC – Trabalhando com Energia

Ziatech

Acelerar para desenvolver – Banco do Nordeste

Pátria Amada Brasil – Governo Federal

Muito obrigado a todos.

Thank you very much to all of you.

Sistema FIEC – FIEC SESI SENAI IEL

SEBRAE

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A.

Governo do Estado do Ceará – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

Adicionalmente, agradecemos à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME – e ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET – pela disponibilização de dados meteorológicos. Agradecemos também ao *Global Modeling and Assimilation Office* – GMAO – da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA – e ao *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF – por disponibilizar, respectivamente, as bases de dados *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2* – MERRA-2 – e *ECMWF Re-Analysis, 5th Generation* – ERA5, que foram utilizados em algumas análises apresentadas neste Atlas.

Furthermore, we would like to thank the Ceará Research Institute for Meteorology and Water Resources – FUNCEME – and the National Institute of Meteorology – INMET – for providing meteorological data. We would also like to thank the Global Modeling and Assimilation Office – GMAO – of the National Aeronautics and Space Administration – NASA – and the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF – for providing, respectively, the databases Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 – MERRA-2 – and the ECMWF Re-Analysis, 5th Generation – ERA5, which were used in some analyses presented in this Atlas.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO

THE DEVELOPMENT ATLAS

O nosso Estado tem papel relevante e foi pioneiro no país em diversas iniciativas no desenvolvimento das energias renováveis, principalmente as fontes eólica e solar. Nos últimos anos, criamos um ambiente favorável para a atração de grandes empresas do setor, com o Programa de Incentivos da Cadeia Produtiva Geradora de Energias Renováveis – PIER; a "trinca" de HUBs (aéreo, portuário e tecnológico); a Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE CEARÁ; a estabilização da situação fiscal do Estado; e o incentivo ao aumento do nível de transparência e aos novos investimentos em infraestrutura. Não medimos esforços para fomentar novos negócios, buscando desenvolver o Estado e aumentar a geração de empregos para os cearenses.

O novo Atlas Eólico e Solar, desenvolvido a partir de um convênio entre o Governo, Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará – ADECE, Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC – e Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará SEBRAE/CE, é mais uma ação pioneira do Ceará e será muito importante para promover o Ceará e atrair novos investimentos. O documento conta com informações técnicas direcionadas a profissionais do setor e identifica áreas com bom potencial para a geração de energias renováveis. Com versão impressa e online, o documento é disponibilizado em português e inglês. Não temos dúvidas de que o novo Atlas irá colaborar com o estímulo a um ambiente propício ao crescimento desse segmento em nosso Estado.

Our State plays a relevant role and was a pioneer in the country regarding various initiatives in the development of renewable energies, mainly wind and solar power sources. In recent years, we have created a favorable atmosphere to attract large companies from the industry through the Incentive Program to the Productive Chain Generating Renewable Energies – PIER; the "triplet" of HUBs *(air, port, and technological); the Ceará Export Processing Zone – CEARÁ SPA; the stabilization of the State's fiscal situation; and the incentive to increase the level of transparency and to new investments in infrastructure. We spared no efforts to foster new businesses, as we seek to develop the State and increase the generation of jobs for the* "cearenses".

The new Wind and Solar Atlas, developed from an agreement between the Government, Ceará State Development Agency – ADECE, Federation of Industries of the State of Ceará – FIEC – and Service of Support to the Micro and Small Companies of the State of Ceará – SEBRAE/CE, is another pioneer action in Ceará and it will be very important to promote Ceará and to attract new investments. The document has technical information directed at industry professionals and it identifies areas with good potential for renewable energy generation projects. Featuring printed and online versions, the document is available in Portuguese and English. We are sure that the new Atlas will collaborate with fostering a growth-oriented atmosphere for that segment in our State.

Camilo Sobreira de Santana

Governador do Estado
State Governor

APRESENTAÇÃO

PRESENTATION

O novo Atlas Eólico e Solar do Ceará coloca à disposição da sociedade e do mercado de energia uma ferramenta moderna e inovadora para subsidiar o desenvolvimento da cadeia produtiva das energias renováveis no Estado, setor no qual o Ceará historicamente tem ocupado posição de protagonismo.

O novo Atlas, que foi desenvolvido a partir de convênio entre Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará – ADECE, Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC – e Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará SEBRAE/CE, mostra o mapeamento das áreas mais promissoras para investimentos em projetos de geração eólica e solar fotovoltaica no Estado do Ceará, tem a concepção inovadora de ser híbrido, e traz consideráveis melhorias em comparação aos similares elaborados no Brasil.

Além de contar com a tradicional versão impressa, o Atlas está disponível em plataforma online e interativa na internet, com aplicativo para smartphone. Outro aspecto inovador é dispor de ferramenta de simulação voltada para a geração distribuída de energia, mercado que vem crescendo rapidamente nos últimos anos, sendo formado em mais de 90% por empresas cujo faturamento neste segmento situa-se na faixa de micro e pequenas empresas. O novo Atlas está disponível em duas línguas, português e inglês, permitindo maior facilidade para investidores e interessados na prospecção de áreas para construção de usinas para geração de energia.

Atento às tendências futuras, o Atlas traz também o mapeamento eólico offshore para indicar as regiões mais promissoras na costa do Estado, que mostram condições excepcionais para o desenvolvimento de geração eólica no mar, por dispor de elevados fatores de capacidade em uma plataforma continental de baixa profundidade. O Atlas ainda contempla análises sobre o comportamento dos ventos no Ceará e sua vantagem natural em um mercado com tendência de comercialização de energia em regime horário.

A concepção técnica do projeto foi desenvolvida pela Secretaria da Infraestrutura do Estado – SEINFRA – a partir de demandas do setor identificadas pela Câmara Setorial de Energias Renováveis do Ceará – CSRenováveis/CE – alinhada com o planejamento de longo prazo estabelecido pelo Programa Ceará 2050 do Governo do Estado do Ceará. A condução dos trabalhos foi coordenada pela FIEC e executada pela consultoria Camargo Schubert com participação da UL Truepower, empresas com reconhecida competência no setor de energias renováveis.

A priorização para a implementação deste novo Atlas Eólico e Solar foi reforçada pela Rota Estratégica de Energia, parte integrante do Observatório da Indústria da FIEC, com ampla participação dos especialistas do setor, conjugando as oportunidades identificadas com os programas de desenvolvimento regional do Governo do Estado do Ceará. Para isto, estão destacadas no Atlas as áreas do semi-árido com pouca atratividade para investimentos convencionais, mas com enorme potencial para geração de energia, com a correspondente criação de emprego e renda.

O aumento da competitividade das fontes renováveis de energia e consequentemente o aumento da participação destas na matriz energética nacional oferece grande oportunidade para negócios, investimentos e desenvolvimento. O novo Atlas está alinhado com essa realidade e vem para colaborar com a criação de ambiente propício ao crescimento desse segmento no Estado do Ceará.

The new Wind and Solar Atlas of Ceará places at the disposal of society and the energy market a modern and innovative tool to support the development of the renewable energy productive chain in the State, a segment in which Ceará has historically held a prominent position.

The new Atlas, developed based on an agreement between Ceará State Development Agency – ADECE, the Federation of Industries of the State of Ceará – FIEC – and Service of Support to the Micro and Small Companies of the State of Ceará – SEBRAE/CE, shows the mapping of the most promising areas for investments in wind and solar photovoltaic generation projects in the State of Ceará. It has an innovative hybrid design and brings substantial improvements in comparison with similar atlases prepared in Brazil.

In addition to featuring the traditional printed version, the Atlas is available on an online and interactive Internet platform, with a smartphone app. Another innovative aspect is its simulation tool aimed at distributed generation, a rapidly growing market in recent years, comprised of over 90% from companies whose turnover in the industry ranges from micro to small businesses. The new Atlas is available in two languages, Portuguese and English, making it easier for investors and interested parties to assess areas for the construction of energy power plants.

Aware of future trends, the Atlas also brings the offshore wind mapping to indicate the most promising areas on the State coast, with outstanding conditions for offshore wind generation, for having high capacity factors on a shallow continental shelf. The Atlas further contemplates analyses about wind behavior in Ceará and its natural advantage in a market featuring an energy commercialization trend in the hourly regime.

The project's technical design was developed by the State Department of Infrastructure – SEINFRA – based on industry demands identified by the Sectoral Chamber of Renewable Energies of Ceará – CSRenováveis/CE – in line with the long-term planning set forth by the Ceará State Government's Ceará 2050 Program. The works were coordinated by FIEC and carried out by the consultancy company Camargo Schubert with participation of UL Truepower, companies with acknowledged qualification in the renewable energy industry.

The prioritization in implementing this new Wind and Solar Atlas has been highlighted by the Strategic Route of Energy, which is an integral part of FIEC's Industry Observatory, with extensive participation by industry experts, combining the opportunities identified through Ceará State Government regional development programs. To that end, the Atlas highlights areas of the semiarid featuring little to none attractivity to conventional investments but have huge potential for energy generation and the resulting creation of jobs and income.

The growing competitivity of renewable energy sources and, therefore, their growing participation in the national energy matrix provides significant business, investment and development opportunities. The new Atlas is in line with that reality and has been designed to help foster a favorable growth atmosphere for this industry in the State of Ceará.

Eduardo Henrique Cunha Neves
Presidente da ADECE
President of ADECE

Jorge Alberto Vieira Studart Gomes
(Beto Studart)
Presidente da FIEC
President of FIEC

Joaquim Cartaxo Filho
Superintendente do SEBRAE/CE
Superintendent of SEBRAE/CE

Agradecimentos / *Acknowledgments* 2

Atlas do Desenvolvimento / *The Development Atlas* 4

Apresentação / *Foreword* 6

SUMÁRIO / *Table of Contents*

1 O ESTADO DO CEARÁ / *The State of Ceará* 10

1.1 Breve Histórico das Energias Renováveis no Ceará / *Brief History of Renewable Energy in Ceará* 11

1.2 Ambiente de Negócios no Ceará / *Ceará's Business Environment* 13

1.2.1 Crescimento Econômico e Solidez Fiscal / *Economic Growth and Fiscal Soundness* 13

1.2.2 Localização Estratégica e Infraestrutura / *Strategic Location and Infrastructure* 13

1.2.3 Qualificação da Mão de Obra e Políticas de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação / *Workforce Qualification and Incentive Policies for Science, Technology and Innovation* 13

1.2.4 Planejamento e Governança Setorial / *Sectoral Planning and Governance* 14

1.2.5 Cadeia Produtiva, Fomento e Incentivos / *Production Chain, Promotion and Incentives* 14

1.3 Caracterização Geográfica do Estado do Ceará / *Geographic Characterization of the State of Ceará* 15

1.3.1 Físico / *Physical* 15

1.3.2 Demografia e Consumo de Eletricidade / *Demography and Electricity Consumption* 15

1.4 Infraestrutura / *Infrastructure* 16

1.4.1 Transporte Aquaviário / *Waterway Transport* 16

1.4.2 Infraestrutura Hídrica / *Water Infrastructure* 17

1.4.3 Hub Tecnológico / *Technological Hub* 18

1.4.4 Transporte Ferroviário / *Rail Transport* 18

1.4.5 Transporte Aéreo / *Air Transport* 18

1.4.6 Transporte Rodoviário / *Road Transport* 19

1.4.7 Sistema Elétrico / *Electrical System* 22

2 CLIMATOLOGIA / *Climatology* 24

2.1 Circulação Atmosférica / *Atmospheric Circulation* 25

2.1.1 Escalas da Circulação Atmosférica / *Atmospheric Circulation Scales* 25

2.1.2 Parâmetros de Vento e Instrumentos de Medição / *Wind Parameters and Measuring Instruments* 28

2.1.3 Incerteza na Velocidade do Vento / *Wind Speed Uncertainty* 28

2.1.4 Regimes de Vento do Ceará / *Ceará Wind Regimes* 28

2.2 Radiação Solar / *Solar Radiation* 32

2.2.1 Geometria Solar / *Solar Geometry* 32

2.2.2 Espectro Solar / *Solar Spectrum* 33

2.2.3 Parâmetros de Radiação e Instrumentos de Medição / *Radiation Parameters and Measuring Instruments* 37

2.2.4 Incerteza das Medições da Radiação Solar / *Uncertainty of Solar Radiation Measurements* 37

2.2.5 Regimes de Radiação no Ceará / *Radiation Regimes in Ceará* 37

2.3 Outros Parâmetros Meteorológicos / *Other Meteorological Parameters* 40

2.3.1 Temperatura Ambiente – Tamb [°C] / *Ambient Temperature – Tamb [°C]* 40

2.3.2 Precipitação [mm] / *Precipitation [mm]* 40

2.3.3 Nebulosidade [octas] / *Cloudiness [oktas]* 40

3 MEIO AMBIENTE E ENERGIA / *Environment and Energy* 46

3.1 Introdução / *Introduction* 47

3.2 Legislação Ambiental / *Environmental Legislation* 47

3.3 Áreas Protegidas no Estado do Ceará / *Protected Areas in the State of Ceará* 47

3.3.1 Unidades de Conservação do Ceará / *Ceará Conservation Units* 47

3.3.2 Terras Indígenas, Quilombolas e Assentamentos Agrícolas / *Indigenous Lands, Quilombola Lands and Agricultural Settlements* 47

3.4 Áreas Degradadas / *Degraded Areas* 50

3.5 Impactos Ambientais / *Environmental Impacts* 52

3.5.1 Aproveitamentos Energéticos Offshore / *Offshore Energy Projects* 52

4 TECNOLOGIA / *Technology* 54

4.1 Histórico / *History* 56

4.1.1 Energia Eólica / *Wind Energy* 56

4.1.2 Energia Solar / *Solar Energy* 58

4.2 Marcos Regulatórios e Estaduais / *Regulatory and State Landmarks* 63

4.3 Tecnologias em Desenvolvimento / *Developing Technologies* 64

4.3.1 Energia Eólica / *Wind Energy* 64

4.3.2 Energia Solar / *Solar Energy* 66

5 METODOLOGIA / *Methodology* 68

5.1 Os Sistemas MesoMap e WRF / *MesoMap and WRF Systems* 69

5.2 Modelos de Terreno / *Terrain Models* 71

5.2.1 Modelo Digital de Elevação / *Digital Elevation Model* 71

5.2.2 Modelo de Rugosidade / *Roughness Model* 71

5.3 Medições Anemométricas e Solarimétricas / *Anemometric and Solarimetric Measurements* 75

5.3.1 Metodologia de Processamento / *Processing Methodology* 75

5.3.2 Estações Meteorológicas do INMET e FUNCEME / *INMET and FUNCEME Meteorological Stations* 76

5.3.3 Estações Solarimétricas e Anemométricas Privadas / *Private Solarimetric and Anemometric Stations* 77

5.3.4 Validação dos Mapas Eólicos / *Wind Map Validation* 77

5.3.5 Validação dos Mapas Solares / *Solar Map Validation* 77

5.4 Integração dos Mapas / *Map Integration* 78

6 MAPAS EÓLICOS E SOLARES / *Wind And Solar Maps* **80**

6.1 MAPAS EÓLICOS / *Wind Maps* **81**

6.1.1 Rosas dos Ventos Anuais – Frequências x Direções / *Annual Wind Roses – Frequencies x Directions* **82**

6.1.2 Rosas dos Ventos Anuais – Velocidades Normalizadas x Direções / *Annual Wind Roses – Normalized Speeds x Directions* **83**

6.1.3 Potencial Eólico Sazonal a 80 m de Altura / *Seasonal Wind Resource at 80 m Height* **84**

6.1.4 Potencial Eólico Anual a 80 m de Altura / *Annual Wind Resource at 80 m Height* **85**

6.1.5 Potencial Eólico Sazonal a 100 m de Altura / *Seasonal Wind Resource at 100 m Height* **86**

6.1.6 Potencial Eólico Anual a 100 m de Altura / *Annual Wind Resource at 100 m Height* **87**

6.1.7 Potencial Eólico Sazonal a 120 m de Altura / *Seasonal Wind Resource at 120 m Height* **88**

6.1.8 Potencial Eólico Anual a 120 m de Altura / *Annual Wind Resource at 120 m Height* **89**

6.1.9 Potencial Eólico Mensal a 120 m de Altura / *Monthly Wind Resource at 120 m Height* **90**

6.1.10 Potencial Eólico Sazonal a 150 m de Altura / *Seasonal Wind Resource at 150 m Height* **92**

6.1.11 Potencial Eólico Anual a 150 m de Altura / *Annual Wind Resource at 150 m Height* **93**

6.1.12 Regime Diurno de Vento – Média Anual / *Wind Speed Diurnal Cycle – Annual Average* **94**

6.1.13 Fator de Forma de Weibull Anual / *Annual Weibull Shape Factor* **95**

6.1.14 Densidade Média Anual do Ar / *Average Annual Air Density* **96**

6.1.15 Potencial Eólico Anual Sobre o Mar a 100 m de Altura / *Annual Offshore Wind Resource at 100 m Height* **97**

6.1.16 Potencial Eólico Anual Sobre o Mar a 150 m de Altura / *Annual Offshore Wind Resource at 150 m Height* **97**

6.2 MAPAS SOLARES / *Solar Maps* **98**

6.2.1 Irradiação Global Horizontal Sazonal / *Seasonal Global Horizontal Irradiation* **98**

6.2.2 Irradiação Global Horizontal Anual / *Annual Global Horizontal Irradiation* **99**

6.2.3 Irradiação Global Horizontal Mensal / *Monthly Global Horizontal Irradiation* **100**

6.2.4 Irradiação Difusa Horizontal Sazonal / *Seasonal Diffuse Horizontal Irradiation* **102**

6.2.5 Irradiação Difusa Horizontal Anual / *Annual Diffuse Horizontal Irradiation* **103**

6.2.6 Irradiação Difusa Horizontal Mensal / *Monthly Diffuse Horizontal Irradiation* **104**

6.2.7 Irradiação Normal Direta Sazonal / *Seasonal Direct Normal Irradiation* **106**

6.2.8 Irradiação Normal Direta Anual / *Annual Direct Normal Irradiation* **107**

6.2.9 Irradiação Normal Direta Mensal / *Monthly Direct Normal Irradiation* **108**

6.2.10 Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 10º / *Seasonal Global Irradiation on the 10º Tilted Plane* **110**

6.2.11 Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 10º / *Annual Global Irradiation on the 10º Tilted Plane* **111**

6.2.12 Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 10º / *Monthly Total Irradiation on the 10º Tilted Plane* **112**

6.2.13 Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado 10º / *Seasonal Photovoltaic Energy Yield on the 10º Tilted Plane* **114**

6.2.14 Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado 10º / *Annual Photovoltaic Energy Yield on the 10º Tilted Plane* **115**

6.2.15 Produtividade Fotovoltaica Mensal no Plano Inclinado 10º / *Monthly Photovoltaic Energy Yield on the 10º Tilted Plane* **116**

6.3 ÁREAS APTAS / *Suitable Areas* **119**

7 ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS / *Analysis and Diagnostics* **120**

7.1 Análise do Potencial Eólico e Solar do Ceará / *Analysis of Solar and Wind Resource of Ceará* **122**

7.1.1 Noroeste Cearense / *Noroeste Cearense* **126**

7.1.2 Norte Cearense e Metropolitana de Fortaleza / *Norte Cearense and Metropolitana de Fortaleza* **127**

7.1.3 Sertões Cearenses / *Sertões Cearenses* **128**

7.1.4 Jaguaribe / *Jaguaribe* **128**

7.1.5 Centro-Sul e Sul Cearense / *Centro-Sul Cearense and Sul Cearense* **129**

7.2 Análise do Potencial Eólico Offshore do Ceará / *Analysis of the Offshore Wind Resource of Ceará* **130**

7.3 Complementaridade entre os Potenciais Eólicos e Fotovoltaicos / *Complementarity Between the Wind and Photovoltaic Resources* **130**

7.4 Geração Distribuída / *Distributed Power Generation* **132**

7.4.1 Geração Distribuída Eólica / *Distributed Wind Power Generation* **132**

7.4.2 Geração Distribuída Solar / *Distributed Solar Power Generation* **132**

7.5 Potencial Eólico e Solar do Ceará X Consumo de Eletricidade / *Wind and Solar Resources of Ceará X Electrical Energy Consumption* **134**

7.6 Considerações Finais / *Final Considerations* **135**

REFERÊNCIAS / *References* **136**

APÊNDICES / *Appendices* **144**

Apêndice A – Siglas, Unidades e Glossário / *Appendix A – Acronyms, Units and Glossary* **144**

Apêndice B – Legislação Ambiental Estadual Vigente / *Appendix B – Current State Environmental Legislation* **154**

Apêndice C – Guia de Aquisição de Pequenos Projetos de Aproveitamento Solar / *Appendix C – Guide to Acquiring Small Solar Projects* **156**

Apêndice D – Potencial Eólico e Solar por Município / *Appendix D – Wind and Solar Resource per Municipality* **159**

Apêndice E – Mapas Complementares / *Appendix E – Complementary Maps* **182**

Apêndice F – Sobre o Atlas do Estado do Ceará / *Appendix F – About the Ceará Wind and Solar Atlas* **184**

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

FIGURA 1.1 Vista aérea Parque Eólico Beberibe, município de Beberibe.

FIGURE 1.1 *Aerial View of Beberibe Wind Park, municipality of Beberibe.*



FOTO/PHOTO: ZIG KOCH

1 O ESTADO DO CEARÁ

THE STATE OF CEARÁ

1.1 BREVE HISTÓRICO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CEARÁ

O Estado do Ceará possui, desde sua origem, forte relação com as fontes de energia eólica e solar. Enquanto a jangada, símbolo do Estado, é associada aos ventos regulares de sua costa, a secagem de mantas de carne, couro e da palha carnaúba, importantes atividades pertinentes aos ciclos de desenvolvimento econômico do Estado, são associadas ao sol.

A Figura 1.2 é um registro do século XVIII sobre o emprego de cataventos primitivos para o bombeamento de água no Ceará.

Diversas iniciativas e eventos recentes contribuíram para elevar a importância do Ceará no cenário das energias renováveis. Nesse sentido, os fatos históricos mais relevantes são resumidos a seguir.

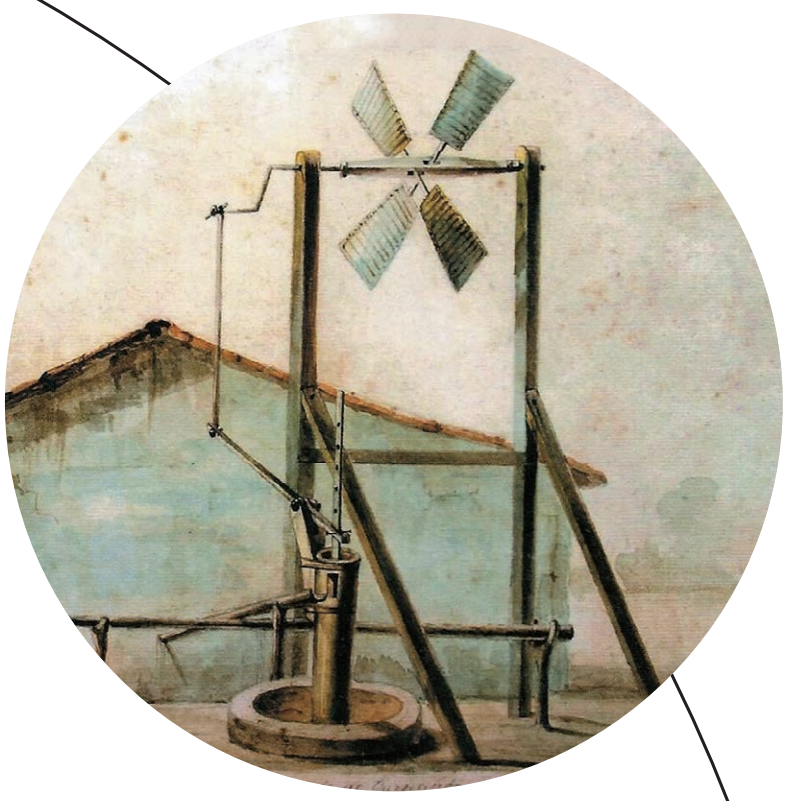
- **1979** – Inclusão, no Plano de Metas do Governo do Estado – PLAMEG, da meta de "identificar e levantar as potencialidades energéticas não-convencionais do Ceará – solar, eólica e biomassa"[1].

- **aprox. 1980~1990** – Implementação de convênios com a Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ, para a instalação de sistemas de bombeamento solar fotovoltaico em comunidades remotas, e de convênios com a GTZ e Grupo J. Macêdo, para a realização de medições anemométricas.

- **1980** – Registro da primeira patente mundial do biodiesel, inventado pelo cientista cearense Prof. Expedito Parente[2].

- **1996** – Inauguração do Parque Eólico do Mucuripe (Figura 1.3), com 4 aerogeradores de 300 kW cada, como resultado da parceria entre a Companhia Energética do Ceará – COELCE – e a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF – e de apoio do programa alemão Eldorado. Por sua localização, nas proximidades da principal área turística de Fortaleza, o parque deu visibilidade nacional à energia eólica.

- **1998** – Realização, pela COELCE, da 1ª Concorrência Nacional de Energias Renováveis, resultando na implantação das primeiras usinas eólicas comerciais do País: Prainha (10 MW) e Taíba (5 MW).



FOTO/*PHOTO*: MUSEU HISTÓRICO NACIONAL

- **2000** – Publicação do Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, o primeiro do Brasil.

- **2002** – Inauguração da fábrica de pás e torres para geração eólica da Wobben Windpower, no Complexo Industrial e Portuário do Pecém.

- **2003** – Instalação, no Ceará, de 50 MW em energia eólica, com o advento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, criado pelo Governo Federal. O montante corresponde a 35% do total contratado dessa fonte por meio desse Programa.

- **2005** – Lançamento, pelo Governo do Ceará, do Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica – PROEÓLICA, concedendo benefício fiscal a fabricantes de equipamentos utilizados na geração de energia eólica.

- **2009** – Criação, pela Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará – ADECE, da Câmara Setorial de Energia Eólica – CSEólica.

- **2010** – Lançamento, pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, do Atlas Solarimétrico do Ceará, com aplicativo para *smartphone*.

- **2010** – Inauguração da fábrica de pás eólicas da Aeris Energy, em Caucaia, ampliada posteriormente, em 2016.

- **2010** – Contratação de 150 MW distribuídos em 5 projetos eólicos no Ceará, por meio do 2º Leilão de Fontes Alternativas – LFA.

- **2011** – Instalação do 1º túnel de vento da região Nordeste, viabilizado a partir de parceria entre o Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente – CENEA – e a Universidade Estadual do Ceará – UECE.

- **2011** – Inauguração da primeira usina solar centralizada do Brasil, com 1 MW_p de capacidade instalada, em Tauá.

- **2012** – Desenvolvimento da Usina de Ondas do Pecém, a primeira da América Latina a utilizar o movimento das ondas do mar para produção de energia elétrica, por um projeto de pesquisa do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, em parceria com o Governo do Estado do Ceará.

- **2013** – Liderança do Ceará na geração distribuída no Nordeste, em número de unidades, atingida graças ao impulso proporcionado pela regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – para micro e minigeração distribuída.

- **2014** – Implementação do Núcleo de Energia na Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC, o qual tem como uma das prioridades o desenvolvimento de negócios em energias renováveis.

- **2014** – Criação, no Sindicato das Indústrias de Energia e de Serviços do Setor Elétrico do Estado do Ceará – SINDIENERGIA/CE, das diretorias de Geração Distribuída e

FIGURA 1.2 Aquarela de moinho de vento nos arrebaldes do Aracati, fabricado de carnaúba, de 1859, pertencente ao acervo do Museu Histórico Nacional, artista José dos Reis Carvalho (1798–1892).

FIGURE 1.2 *Watercolor of a windmill in the vicinities of Aracati, made from carnauba, from 1859, belonging to the collection of National History Museum, artist José dos Reis Carvalho (1798-1892).*

1.1 Brief History of Renewable Energy in Ceará

The State of Ceará has, since its origin, strong relationship with wind and solar energy sources. While the raft, the State's symbol, is associated with the regular winds of its coast, the drying of meat blankets, hides, and carnauba straw, important activities relating to the State's cycles of economic development, are associated with the sun.

Figure 1.2 is a record from the 18th century about the employment of primitive windmills for pumping water in Ceará.

Several recent initiatives and events have contributed to raise the importance of Ceará in the renewable energy scenario. In this sense, the most relevant historical facts are summarized below.

- ***1979** – Inclusion, in the State Government's Target Plan – PLAMEG, of the target of "identifying and raising non-conventional energy potentials of Ceará – solar, wind, and biomass"[1].*

- ***around 1980~1990** – Implementation of agreements with the German Agency for Technical Cooperation – GTZ, for the installation of photovoltaic solar pumping systems in remote communities, and of agreements with GTZ and the J. Macêdo Group, for performing anemometric measurements.*

- ***1980** – Record of the world's first biodiesel patent, invented by the scientist from Ceará, Prof. Expedito Parente[2].*

- ***1996** – Inauguration of the Mucuripe Wind Park (Figure 1.3), with 4 wind turbines of 300 kW each, as a result of the partnership between the Ceará Energy Company – COELCE – and the São Francisco Hydroelectric Company – CHESF – and support from the Eldorado German program. Because of its location, near Fortaleza's main tourist area, the park gave wind power national exposure.*

- ***1998** – Implementation, by COELCE, of the 1st National Renewable Energy Bid, resulting in the deployment of the country's first commercial wind power plants: Prainha (10 MW) and Taíba (5 MW).*

- ***2000** – Publication of the Wind Energy Resource Atlas of State of Ceará, the first in Brazil.*

- ***2002** – Inauguration of the Wobben Windpower's blade and tower plant for wind power generation, at the Industrial and Port Complex of Pecém.*

- ***2003** – Installation, in Ceará, of 50 MW in wind power, with the introduction of the Incentive Program for Alternative Electric Energy Sources – PROINFA, created by the Federal Government. The amount corresponds to 35% of the total contracted from this source through this Program.*

- ***2005** – Launch, by the Government of Ceará, of the Development Program of the Productive Chain Generating Wind Power – PROEÓLICA, granting tax benefits to manufacturers of equipment used in wind power generation.*

- ***2009** – Creation, by the Ceará State Development Agency – ADECE, of the Wind Power Sectoral Chamber – CSEólica.*

- ***2010** – Launch, by the Ceará Research Institute for Meteorology and Water Resources – FUNCEME, of the Ceará Solarimetric Atlas, with a smartphone app.*

- ***2010** – Inauguration of the Aeris Energy's wind blade plant, in Caucia, later expanded in 2016.*

- ***2010** – Contracting of 150 MW distributed over 5 wind power projects in Ceará, by means of the 2nd Alternative Sources Auction – LFA.*

- ***2011** – Installation of the 1st wind tunnel of the Northeast region, resulted from a partnership between the Alternative Energy and Environment Center – CENEA – and Ceará State University – UECE.*

- ***2011** – Inauguration of Brazil's first centralized solar power plant, with 1 MW_p of installed capacity, in* Tauá.

- ***2012** – Development of Pecém Wave Power Plant, the first in Latin America to use the movement of sea waves to produce electrical energy, by a research project of the Alberto Luiz Coimbra Post-Graduate Institute from Rio de Janeiro Federal University – COPPE/UFRJ, in partnership with the Ceará State Government.*

- ***2013** – Ceará leadership in distributed generation in the Northeast, in number of units, achieved thanks to the impulse provided by the regulation of the Brazilian Electricity Regulatory Agency – ANEEL – for micro and mini distributed generation.*

- ***2014** – Implementation of the Energy Center at the Federation of Industries of the State of Ceará – FIEC, which has as one of the priorities the development of business in renewable energies.*

- ***2014** – Creation, at the Union of Energy and Service Industries of the Electrical Sector of the State of Ceará – SINDIENERGIA/CE, of the*

Distributed Generation and Centralized Generation boards, incorporating, among their activities, renewable energies.

- ***2015** – Foundation, by the State Government, of the Economic Development Department – SDE, which incorporated ADECE among its linked entities.*
- ***2015** – Creation, by the State Government, of the Energy Department in the Department of Infrastructure of Ceará – SEINFRA/CE.*
- ***2015** – ADECE changes CSEólica to Sectoral Chamber of Renewable Energies of Ceará – CSRenováveis/CE.*
- ***2015** – Accession by the Government of the State of Ceará to the ICMS Agreement 16/2015, through the ICMS Agreement 52/2015[3], implementing the exemption from ICMS tax for the distributed energy generation.*
- ***2016** – Launch, by FIEC, of the Strategic Routes, integral to the project of the Industry Observatory, highlighting the Strategic Route of Energy.*
- ***2016** – Inauguration of Brazil's largest solar power plant of distributed minigeneration, with 3 MW_p, in the municipality of Pindoretama, belonging to the Telles Group.*
- ***2016** – Inauguration of the first Vestas manufacturing unit in Brazil, in Aquiraz, with expected expansion announced in 2018[4].*
- ***2016** – Implementation of the Environmental State Council of Ceará – COEMA – Resolution No. 3/2016, which exempts the environmental licensing of photovoltaic installations with up to 2 MW of power, installed on roofs or facades.*
- ***2017** – Signing of the ADECE/FIEC/SEBRAE agreement for preparing the new Ceará Wind and Solar Atlas.*
- ***2017** – Launch, by the Government of Ceará, of the Incentive Program to the Productive Chain Generating Renewable Energies – PIER.*
- ***2017** – Creation, by the Government of Ceará, of the Incentive Fund to Energy Efficiency and Distributed Generation – FIEE.*
- ***2018** – Streamlining and updating of the environmental licensing of solar (COEMA Resolution No. 06) and wind (COEMA Resolution No. 07) power generation systems.*
- ***2018/2019** – Drawing up of the new Ceará Wind and Solar Atlas by consultancy company Camargo-Schubert.*

The growth in harnessing wind power in Ceará was quite relevant until 2010, when it reached 55,9% of the total installed capacity of wind power in operation in Brazil. In the following years, although the State's absolute capacity had tripled from 519 MW at the end of 2010 to 1 775 MW* at the end of 2017 (Figure 4.5), the relative share reduced, reaching, at the end of 2018, 14,4% of the plants in operation in Brazil[5], as shown in Figure 1.4.*

Seeking to recover this relative share, the current Ceará Wind and Solar Atlas is one of the main actions identified in the Strategic Energy Route, in the plans of CSRenováveis/CE and in the Energy Priority Agenda. The first wind power mapping covering Ceará's territory was carried out in 2000 for the heights of 50 and 70 meters[6]. However, in recent years, with the advances in technology and the evolution in wind turbine sizes, it emerged the need for preparing a wind resource mapping for greater heights, such as 80, 100, 120, and 150 meters. This new mapping was made possible by the proliferation of wind measurement campaigns throughout the State, allowing the construction of an accurate and consistent database. Furthermore, with the recent cost reduction, the consequent improvement of economic feasibility of photovoltaic technology, the evolution of mapping technologies and the indicative of Ceará's potential in previous surveys, the need to develop specific studies for solar power generation has risen.



FOTO/*PHOTO*: JURANDIR PICANÇO JÚNIOR

FIGURA 1.3 Construção da Usina do Mucuripe com 4 aerogeradores de 300 kW.

FIGURE 1.3 *Construction of Mucuripe Wind Farm, with 4 turbines of 300 kW each.*

Geração Centralizada, incorporando, entre as suas atividades, as energias renováveis .

- **2015** – Fundação, pelo Governo do Estado, da Secretaria de Desenvolvimento Econômico – SDE, que incorporou a ADECE entre suas entidades vinculadas.
- **2015** – Criação, pelo Governo do Estado, da Secretaria Adjunta de Energia na Secretaria de Infraestrutura do Ceará – SEINFRA/CE.
- **2015** – A ADECE altera a CSEólica para Câmara Setorial de Energias Renováveis do Ceará – CSRenováveis/CE.
- **2015** – Adesão do Governo do Estado do Ceará ao Convênio ICMS 16/2015, através do Convênio ICMS 52/2015[3], implantando a isenção do ICMS para geração distribuída de energia.
- **2016** – Lançamento, pela FIEC, das Rotas Estratégicas, parte integrante do projeto do Observatório da Indústria, ressaltando-se a Rota Estratégica de Energia.
- **2016** – Inauguração da maior usina solar de minigeração distribuída do Brasil, com 3 MW_p, no Município de Pindoretama, de propriedade do Grupo Telles.
- **2016** – Inauguração da primeira unidade de fabricação da Vestas no Brasil, em Aquiraz, com previsão de ampliação anunciada em 2018[4].
- **2016** – Implantação da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA – n° 3/2016, que isenta o licenciamento ambiental de instalações fotovoltaicas com até 2 MW de potência, instaladas em telhados ou fachadas.
- **2017** – Assinatura do convênio ADECE/FIEC/SEBRAE para elaboração do novo Atlas Eólico e Solar do Ceará.
- **2017** – Lançamento, pelo Governo do Ceará, do Programa de Incentivos da Cadeia Produtiva Geradora de Energias Renováveis – PIER.
- **2017** – Criação, pelo Governo do Ceará, do Fundo de Incentivo à Eficiência Energética e Geração Distribuída – FIEE.
- **2018** – Simplificação e atualização do licenciamento ambiental de empreendimentos de geração solar (Resolução COEMA n° 06) e eólica (Resolução COEMA n° 07).
- **2018/2019** – Elaboração do novo Atlas Eólico e Solar do Ceará pela empresa de consultoria Camargo-Schubert.

O crescimento do aproveitamento da energia eólica no Ceará foi bastante relevante até 2010, quando atingiu 55,9% da capacidade total instalada de energia eólica em operação no Brasil. Nos anos seguintes, embora a capacidade absoluta do Estado tenha triplicado de 519 MW ao final de 2010 para 1 775 MW* ao final de 2017 (Figura 4.5), a participação relativa se reduziu, chegando, ao final de 2018, a 14,4% das usinas em operação no Brasil[5], conforme ilustrado na Figura 1.4.

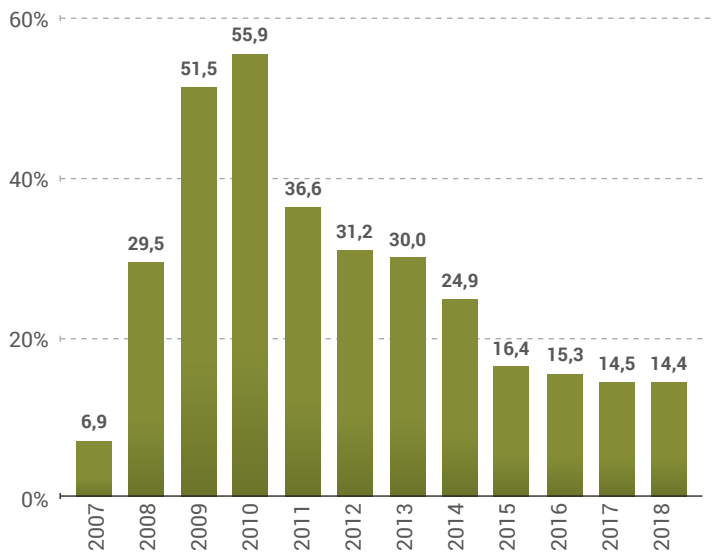


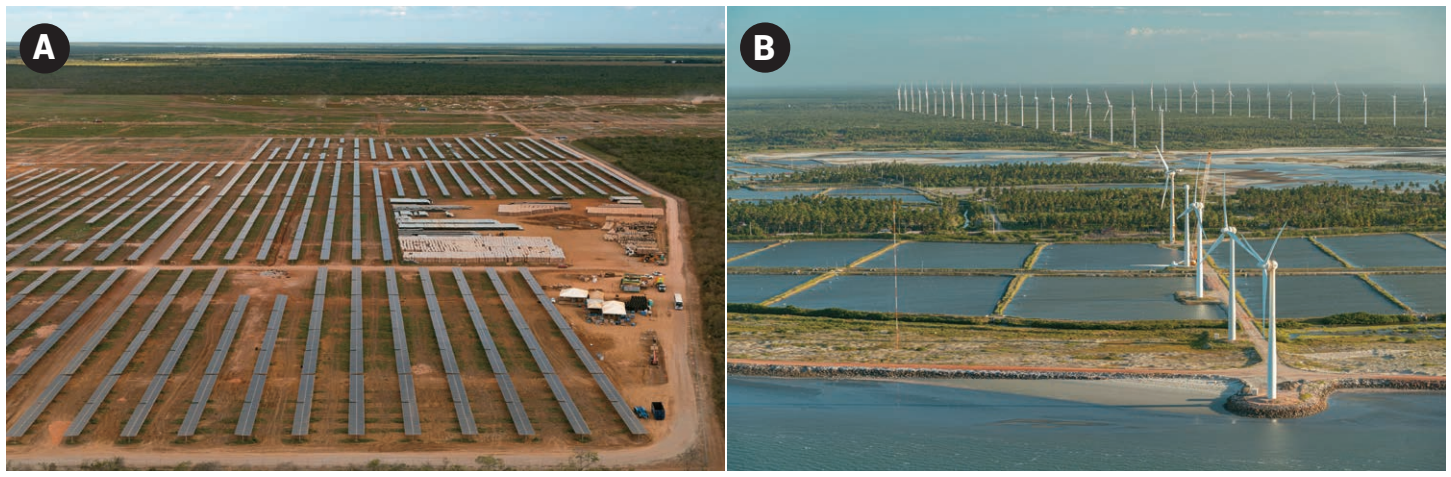
FIGURA 1.4 Evolução da participação da capacidade instalada eólica no Ceará em relação ao total brasileiro[5].

FIGURE 1.4 *Share evolution of the installed wind power capacity in Ceará, in relation to the Brazilian total[5].*

Buscando a recuperação dessa participação relativa, o presente Atlas Eólico e Solar do Ceará constitui uma das principais ações identificadas na Rota Estratégica de Energia, nos planos da CSRenováveis/CE e na Agenda Prioritária de Energia. O primeiro mapeamento eólico abrangendo o território cearense foi realizado no ano de 2000 para as alturas de 50 e 70 metros[6]. No entanto, nos últimos anos, com os avanços na tecnologia e a evolução do porte dos aerogeradores, surgiu a necessidade de se elaborar um mapeamento do recurso eólico para maiores alturas, como 80, 100, 120 e 150 metros. Esse novo mapeamento foi viabilizado pela proliferação de campanhas de medição de vento por todo o Estado, permitindo a construção de um banco de dados preciso e consistente. Ademais, com a recente redução dos custos, a consequente melhora da viabilidade econômica da tecnologia fotovoltaica, a evolução das tecnologias de mapeamento e os indicativos do potencial do Ceará em levantamentos prévios, surgiu a necessidade de se desenvolverem estudos específicos para a geração solar.

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.

** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT. FOR THE SAME REASON, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*



FOTOS/*PHOTOS:* ZIG KOCH

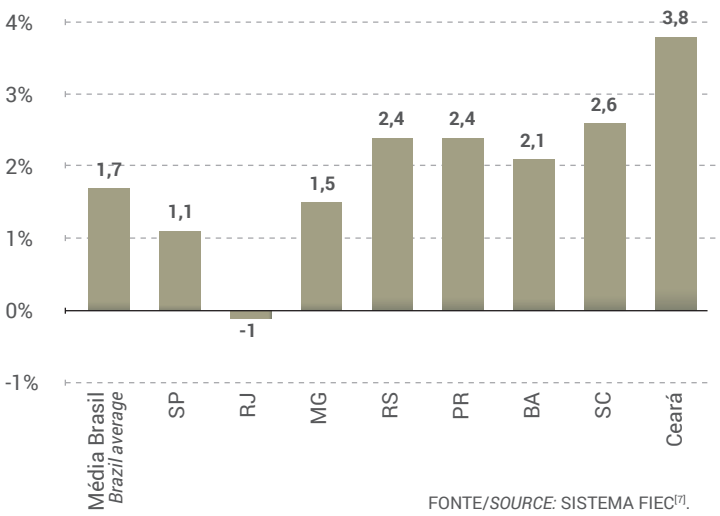
FIGURA 1.6 O Ceará é um estado com vocação natural para as energias renováveis: (a) Complexo Solar Apodi; (b) Parques Eólicos Volta do Rio, Coqueiros e Cajucoco.

FIGURE 1.6 *Ceará is a state with a natural calling for renewable energies: (a) Apodi Solar Complex; (b) Volta do Rio, Coqueiros and Cajucoco Wind Parks.*

1.2 AMBIENTE DE NEGÓCIOS NO CEARÁ

1.2.1 Crescimento Econômico e Solidez Fiscal

O Ceará tem se destacado nacionalmente por recente e rápida mudança no seu cenário econômico. Além de apresentar taxa de crescimento do Produto Interno Bruto – PIB – anual duas vezes maior que a média do País, o Estado exibe o maior ritmo de crescimento em comparação com as doze principais economias brasileiras[7], conforme ilustrado na Figura 1.5.



FONTE/*SOURCE:* SISTEMA FIEC[7].

FIGURA 1.5 Taxa de crescimento anual do PIB das principais UFs brasileiras (2007 - 2016).

FIGURE 1.5 *GDP annual growth rate of the main Brazilian States (2007 - 2016).*

Solidez fiscal é um critério utilizado em gestão pública que caracteriza equilíbrio nas contas governamentais e serve como indicador de segurança aos investidores. O Ceará apresenta-se, por esse critério, na segunda melhor posição do *ranking* entre os estados brasileiros, segundo estudo realizado pelo Centro de Liderança Pública – CLP, em parceria com a Tendências Consultoria e a *Economist Intelligence Group*[8]. O estudo é publicado anualmente desde 2015 e o critério baseia-se em indicadores de capacidade de investimento, resultado nominal, solvência fiscal, sucesso da execução orçamentária, autonomia fiscal e resultado primário. A política fiscal do Ceará o posicionou com o maior percentual de receita direcionado a investimentos por três anos consecutivos e permitiu a realização de obras necessárias para melhorias na infraestrutura[8].

1.2.2 Localização Estratégica e Infraestrutura

O Ceará possui localização geográfica privilegiada por estar relativamente próximo aos grandes mercados da Europa e América do Norte. A infraestrutura de transportes tem recebido recentes melhorias, contando, na gestão de seus principais terminais portuários e aeroportuários, com a participação de importantes empresas da área de logística, com experiência e relevância no mercado global.

A Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE CEARÁ – é a única em funcionamento do País e integra o Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Neste, localiza-se o principal polo siderúrgico do Nordeste, responsável por cerca de 10% de todas as exportações da região[9].

1.2.3 Qualificação da Mão de Obra e Políticas de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação

As políticas educacionais adotadas no Ceará têm-se evidenciado assertivas, com impacto positivo na oferta de mão de obra qualificada.

O Estado situa-se entre os três melhores nas avaliações do Ministério da Educação para o ensino fundamental, abrigando 41 das 50 escolas públicas mais bem avaliadas do país[10]. O bom desempenho em português e matemática melhora a qualificação desses alunos e facilita sua colocação no mercado de trabalho.

Segundo o Ministério da Educação, a rede de ensino técnico e profissionalizante do Ceará se expandiu em 34% nos últimos cinco anos. A rede contou em 2018 com mais de 87 mil matrículas distribuídas em 2 624 turmas, das quais mais de 4 000 matrículas em 135 turmas vinculavam-se a cursos técnicos correlacionados à área de energia, permitindo a qualificação de profissionais para a cadeia produtiva[11].

No que se refere ao ensino superior, vale mencionar que o Estado sedia universidades bem posicionadas no *ranking* das melhores da América Latina. Por mérito da oferta educacional diversificada, o Estado é capaz de abrigar mais de 218 mil alunos distribuídos em 980 cursos de graduação. Dezenove desses cursos tem correlação com o setor de energia e atendem a mais de três mil estudantes[11].

No que se refere ao ensino de pós-graduação, o Ceará obteve a melhor posição no *ranking* de qualidade desse setor entre os estados nordestinos, nas áreas de Ciências, Tecnologia, Engenharias

1.2 Ceará's Business Environment

1.2.1 ECONOMIC GROWTH AND FISCAL SOUNDNESS

Ceará has gained national prominence due to a recent and quick change in its economic scenario. In addition to displaying a Gross Domestic Product – GDP – growth rate two times higher than the country's average, the State displays the highest growth rate in comparison with the twelve main Brazilian economies[7], as shown in Figure 1.5.

Fiscal soundness is a criterion used in public management that characterizes balance in government accounts and serves as a security indicator for investors. Ceará ranks, by this criterion, in the second best position among the Brazilian states, according to a study performed by the Public Leadership Center – CLP, in partnership with Tendências Consultoria *and the Economist Intelligence Group[8]. The study has been published annually since 2015, and the criterion is based on indicators of investment capacity, nominal result, fiscal solvency, budget execution success, fiscal autonomy, and primary result. The fiscal policy of Ceará positioned it with the greatest percentage of revenue directed to investments for three consecutive years and allowed the execution of works needed for infrastructure improvements[8].*

1.2.2 STRATEGIC LOCATION AND INFRASTRUCTURE

Ceará has privileged geographical location for being relatively close to the major markets of Europe and North America. The transport infrastructure has received recent improvements, featuring, in the management of its main port and airport terminals, the participation of important companies in the area of logistics, with experience and relevance in the global market.

Ceará Export Processing Zone – CEARÁ SPA – is the only one in operation in the country and integrates the Industrial and Port Complex of Pecém. The main steel pole of the Northeast is located there, responsible for approximately 10% of all the region's exports[9].

1.2.3 WORKFORCE QUALIFICATION AND INCENTIVE POLICIES FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION

The educational policies adopted in Ceará have proven to be assertive, with a positive impact on the supply of skilled labor.

The State is among the top three in evaluations performed by the Ministry of Education for primary education, housing 41 of the country's 50 better evaluated schools[9]. The good performance in Portuguese and Mathematics improves the qualification of these students and facilitates their placement in the job market.

According to the Ministry of Education, Ceará's technical and vocational education network has expanded 34% over the last five years. In 2018, the network had over 87 thousand enrollments distributed in 2 624 classes, from which more than 4 000 enrollments in 135 classes were related to technical courses correlated to the area of energy, allowing the qualification of professionals for the production chain[11].

As regards to higher education, it is worth mentioning that the State hosts universities well positioned in the ranking of Latin America's best. By virtue of the diversified educational offer, the State is able to host more than 218 thousand students distributed in 980 undergraduate courses. Nineteen of these courses are correlated with the energy sector and service more than three thousand students[11].

As regards to postgraduate education, Ceará has achieved the best position in the quality ranking of this sector among the Northeastern states, in the areas of Sciences, Technology, Engineering, and Mathematics. It is

worth mentioning that, among the 183 postgraduate programs offered, 9 of them have correlation with the energy sector[11].

With respect to labor, it has been ascertained that its cost in Ceará is 38% lower than the national average. The graph in Figure 1.7, drawn up by the Industry Observatory based on data from the Ministry of Economy, shows that, considering only top-level professionals in all economic activities, labor costs are, on average, 26% lower in Ceará than in the rest of the country[12].

Completing the conducive scenario to technological development in Ceará, there is a diverse support network towards innovation composed by various instruments and invitations to bid promoted by the State Government, in addition to joint programs and projects of the Service of Support to the Micro and Small Companies of the State of Ceará – SEBRAE/CE, FIEC System, incubators and accelerators, also standing out the Banco do Nordeste's *Innovation Hub.*

1.2.4 SECTORAL PLANNING AND GOVERNANCE

The management policy adopted in Ceará includes, in the government level, long-term development plans specific for renewable energies, such as "Fortaleza 2040"[13] and "Ceará 2050"[14]. The "Strategic Route of Energy" (see Item 1.1) is an initiative of the FIEC System and SEBRAE/CE, consisting in strategic actions built by the productive sector, the government, academia and society with views towards the future time horizon of 2025[15].

ADECE's CSRenováveis/CE (see Appendix F) further contributes to the business environment, being a collaborative governance structure specific for renewable energies, chaired by representatives from the production sector and methodologically supported by the Energy Center and the Industry Observatory.

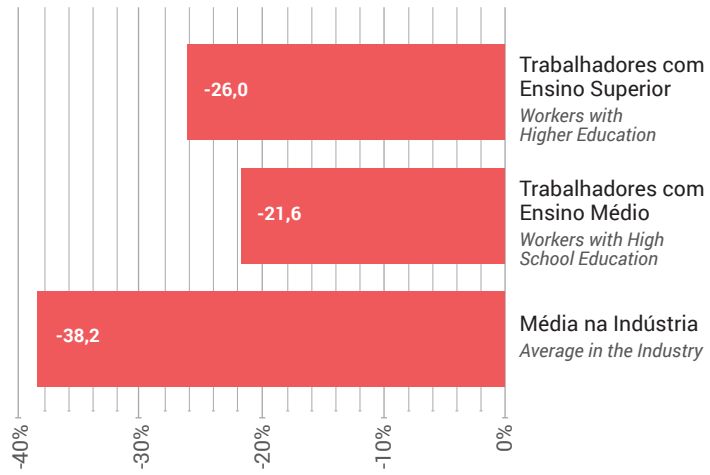
The methodology applied for the creation and the implementation of the Strategic Route had as result the design, management and articulation of a portfolio of projects of relevant impact for the development of renewable energies in Ceará, wherein the present publication is inserted in it. The methodology allowed for an efficient coordination of efforts in multidisciplinary teams, identification of difficulties and their respective resolutive actions. In this regard, it is worth highlighting the award that FIEC/CE received for the implementation of the Strategic Route of the Economy of the Sea, granted by the international consulting firm PricewaterhouseCoopers – PWC[16].

1.2.5 PRODUCTION CHAIN, PROMOTION AND INCENTIVES

The renewable energy production chain follows in consolidation process with the presence of large-scale companies, with emphasis on the international market. According to the International Business Center of Ceará – CIN/CE, the State is presently the national leader in the export of wind turbines, in addition to having totaled U$ 64,9 million in exports of renewable energy equipment between January and April 2019[17].

e Matemática. Vale mencionar que, dentre os 183 programas de pós-graduação oferecidos, 9 têm correlação com o setor de energia[11].

Com relação à mão de obra, verifica-se que o seu custo no Ceará é 38% menor que a média nacional. O gráfico da Figura 1.7, elaborado pelo Observatório da Indústria com base em dados do Ministério da Economia, mostra que, considerando-se apenas profissionais de nível superior em todas as atividades econômicas, os custos da mão de obra são, em média, 26% menores no Ceará que no restante do país[12].



FONTE/*SOURCE:* SISTEMA FIEC[12].

FIGURA 1.7 Diferença percentual entre o custo de mão de obra no Ceará e a média do País (dez/2017).

FIGURE 1.7 *Percentage difference between labor costs in Ceará and the country's average (Dec/2017).*

Completando o cenário favorável ao desenvolvimento tecnológico no Ceará, está uma diversificada rede de apoio à inovação composta por diversos instrumentos e editais promovidos pelo Governo Estadual, além de programas e projetos conjuntos do Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará – SEBRAE/CE, Sistema FIEC, incubadoras e aceleradoras, destacando-se também o *Hub* de Inovação do Banco do Nordeste.

1.2.4 Planejamento e Governança Setorial

A política de gestão adotada no Ceará contempla, em âmbito governamental, planos de desenvolvimento de longo prazo específicos para as energias renováveis, tais como o "Fortaleza 2040"[13] e o "Ceará 2050"[14]. A "Rota Estratégica de Energia" (ver Item 1.1) é iniciativa do Sistema FIEC e do SEBRAE/CE, consistindo em ações estratégicas construídas pelo setor produtivo, governo, academia e sociedade com vistas ao horizonte futuro de 2025[15].

Contribui ainda com o ambiente de negócios a CSRenováveis/CE da ADECE (ver Apêndice F), a qual é uma estrutura de governança colaborativa específica para energias renováveis, presidida por representantes do setor produtivo e apoiada metodologicamente pelo Núcleo de Energia e o Observatório da Indústria.

A metodologia aplicada para a criação e realização da Rota Estratégica teve como resultado a concepção, gestão e articulação de um portfólio de projetos de relevante impacto para o desenvolvimento das energias renováveis no Ceará, nele inserindo-se a presente publicação. A metodologia permitiu uma eficiente coordenação dos esforços em equipes multidisciplinares, identificação de dificuldades e suas respectivas ações resolutivas. Nesse sentido, vale destacar a premiação que a FIEC/CE recebeu pela implementação da Rota Estratégica da Economia do Mar, concedida pela consultoria internacional PricewaterhouseCoopers – PWC[16].

1.2.5 Cadeia Produtiva, Fomento e Incentivos

A cadeia produtiva de energias renováveis segue em processo de consolidação com a presença de empresas de grande porte, com destaque para o mercado internacional. De acordo com o Centro Internacional de Negócios do Ceará – CIN/CE, o Estado é atualmente líder nacional na exportação de aerogeradores, além de haver totalizado U$ 64,9 milhões em exportações de equipamentos de energias renováveis entre janeiro e abril de 2019[17].

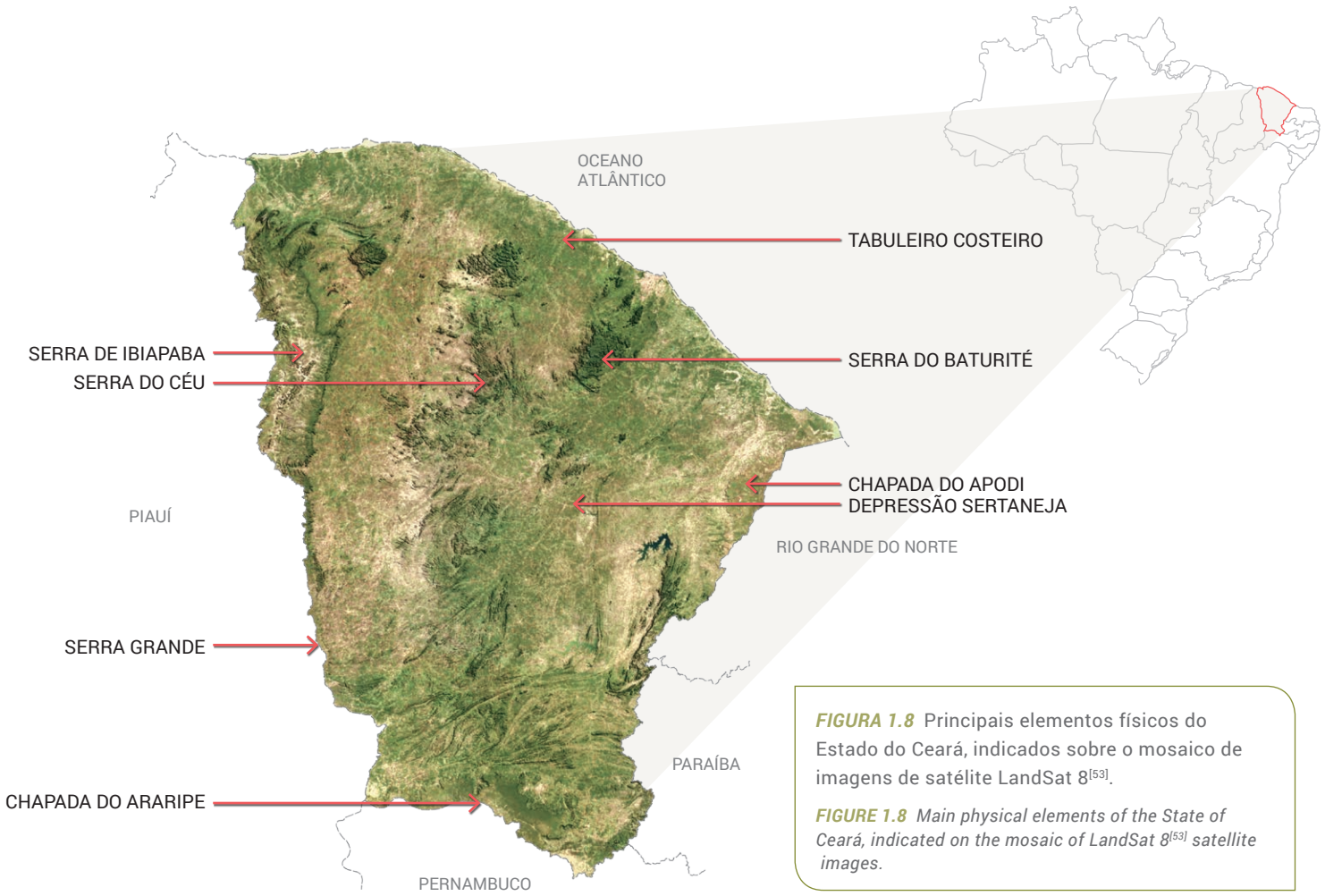


FIGURA 1.8 Principais elementos físicos do Estado do Ceará, indicados sobre o mosaico de imagens de satélite LandSat 8[53].

FIGURE 1.8 *Main physical elements of the State of Ceará, indicated on the mosaic of LandSat 8[53] satellite images.*

O Estado possui implantada uma política de incentivos fiscais a partir do Fundo de Desenvolvimento Industrial – FDI, o qual inclui um programa específico para a cadeia produtiva de energias renováveis. O Banco do Nordeste e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE – disponibilizam linhas de crédito e incentivos para novos investimentos no Estado, complementando os instrumentos estaduais de apoio.

Além disso, a FIEC disponibiliza serviços de apoio a investidores, com o intuito de orientar a alocação de investimentos a partir de informações estratégicas sobre o Estado e seus municípios em diversas temáticas.

Ressaltam-se também recentes ações de cunho administrativo tomadas pelo governo estadual, visando a modernização e a desburocratização das licenças ambientais.

1.3 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ESTADO DO CEARÁ

1.3.1 Físico

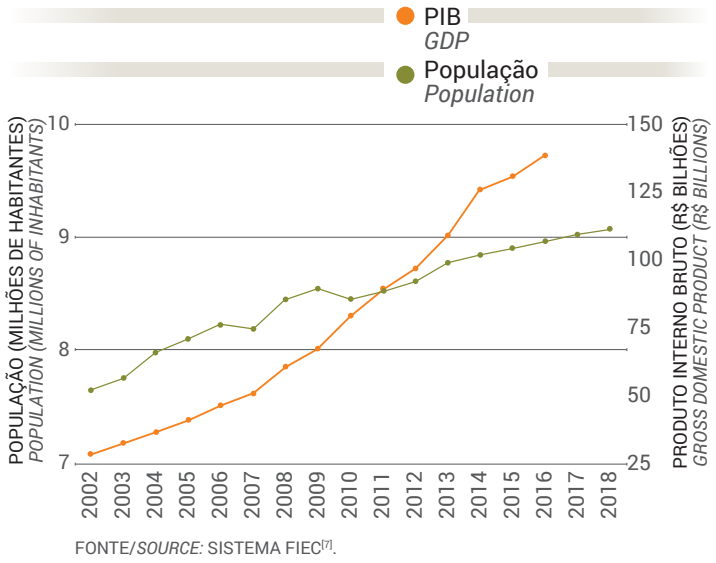
O Estado do Ceará faz divisa com os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba a leste, Pernambuco ao sul, Piauí a oeste e Oceano Atlântico ao norte[18]. O litoral é caracterizado por extensas dunas, praias longas e clima úmido. Já no interior predominam as altitudes inferiores a 200 metros, com o centro do Estado marcado pela Depressão Sertaneja, cujo o clima é mais seco. A Depressão é circundada por regiões de maiores elevações, próximas aos limites estaduais: Serra da Ibiapaba e Serra Grande, a oeste; Chapada do Araripe, ao sul; e Chapada do Apodi, a leste. Das depressões no interior também afloram áreas de planalto, abrigando serras de menores extensões, tais como a Serra do Céu e o Maciço de Baturité[18] (Figura 1.8). De um modo geral, as áreas de maior altitude são marcadas por ventos mais intensos e acentuados à noite pelas brisas vale-montanha.

A vegetação de maior predominância é a caatinga, que, de acordo com o Inventário Florestal Nacional do Ceará – IFN-CE[19], cobre 88% do território cearense. Vale ressaltar que a vegetação nativa encontra-se bastante alterada[20].

1.3.2 Demografia e Consumo de Eletricidade

O Ceará, cuja área total é de 148 920,47 km², abrigava, em julho de 2018, 9 075 649 habitantes, em seus 184 municípios organizados em 14 regiões de planejamento[21], [22].

A população cearense, dividida entre 73% urbana e 27% rural, cresceu, até a primeira década do século, à taxa média de 1,3% a.a. Quatro em cada sete habitantes, ou seja, 57,1% da população, concentra-se nas regiões metropolitanas de Fortaleza (44,9%), Cariri (6,7%) e Sobral (5,5%). O município de Fortaleza reúne, por si só, 29,1% dos cearenses[21].



FONTE/*SOURCE:* SISTEMA FIEC[7].

FIGURA 1.9 Evolução do PIB nominal e população do Ceará 2002-2018.

FIGURE 1.9 *Evolution of the nominal GDP and population of Ceará 2002-2018.*



FOTOS/*PHOTOS:* ZIG KOCH

FIGURA 1.10 Concentrações demográficas, que coincidem com grandes centros consumidores de eletricidade no Estado do Ceará, em: (a) Fortaleza; (b) Sobral; (c) Crato; e (d) Juazeiro do Norte.

FIGURE 1.10 *Demographic concentrations, which coincide with major consumer centers of electricity in the State of Ceará, in: (a) Fortaleza; (b) Sobral; (c) Crato; and (d) Juazeiro do Norte.*

The State has implemented a tax incentive policy from the Industrial Development Fund – FDI, which includes a specific program for the renewable energy production chain. Banco do Nordeste *and the Superintendency for the Development of the Northeast – SUDENE – offer lines of credit and incentives for new investments in the State, complementing the state support instruments.*

In addition, FIEC offers support services to investors, with the objective to guide the allocation of investments based on strategic information about the State and its municipalities in various themes.

Being emphasized as well are recent actions of administrative nature taken by the State government, aiming at the modernization and debureaucratization of environmental licenses.

1.3 Geographic Characterization of the State of Ceará

1.3.1 PHYSICAL

The State of Ceará is bordered by the states of Rio Grande do Norte and Paraíba to the East, Pernambuco to the South, Piauí to the West and the Atlantic Ocean to the North[18]. The coastline is characterized by extensive dunes, long beaches and humid climate. In the interior, altitudes below 200 meters prevail, with the Depressão Sertaneja *("Southern Depression") predominating at the center of the State, where the climate is drier. The* Depressão *is surrounded by regions of higher elevations, adjacent to state limits:* Serra da Ibiapaba *("Ibiapaba Sierra") and* Serra Grande *("Great Sierra"), to the West;* Chapada do Araripe *("Araripe Plateau"), to the South; and* Chapada do Apodi *("Apodi Plateau"), to the East. From the depressions in the interior, high plain areas emerge, sheltering sierras of shorter extensions, such as* Serra do Céu *("Sky Sierra") and* Maciço de Baturité[18] *("Baturité Massif"), Figure 1.8. Generally, the areas of higher altitude have more intense winds, accentuated at night by the mountain-valley breezes.*

The vegetation of greater predominance is the caatinga *(thorny shrubs and stunted trees), which, according to the National Forest Inventory of Ceará – INF-CE[19], covers 88% of the State of Ceará territory. It is worth mentioning that the native vegetation has changed a lot[20].*

1.3.2 DEMOGRAPHY AND ELECTRICITY CONSUMPTION

Ceará, whose total area is 148 920,47 km², housed, in July 2018, 9 075 649 inhabitants, in its 184 municipalities organized in 14 planning regions[21], [22].

The population of Ceará, divided into 73% urban and 27% rural, grew until the first decade of the century at an average rate of 1,3% per year. Four out of every seven inhabitants, i.e., 57,1% of the population, is concentrated in the metropolitan regions of Fortaleza (44,9%), Cariri (6,7%), and Sobral (5,5%). The city of Fortaleza, alone, gathers 29,1% of those who live in Ceará[21].

Ceará's GDP was of R$ 138,4 billion in 2016, resulting in a per capita *income of R$ 15 437,75. The share fractions of the major sectors of the economy in the GDP are: Services (52,8%), Public Administration (23,3%), Industry (19,2%), and Agriculture and Livestock (4,7%). The State was responsible for 2,21% of the Brazilian GDP in that year, which ranks it as the country's 11th largest economy and the 3rd among the states of the Northeast region*[23].

Ceará's electrical energy consumption was of approximately 11 800 GWh in 2017[22],[24],[25]. *It is estimated that the residential class is responsible for 34,5% of this electrical energy consumption, followed by the industrial class (22,7%), commercial (19,0%), rural (11,3%) and the various classes of public consumption (12,4%). Approximately one third of the electrical energy produced in Ceará in that year was exported to other states connected to the National Interconnected System – SIN*[24].

In Chapter 7, the electricity consumption is analyzed in relation to the State's solar and wind resources assessed by this work. The annual evolution of electrical energy consumption in Ceará between 2001 and 2017 is presented in the graph in Figure 7.16.

1.4 Infrastructure

Map 1.1, prepared by FIEC based on IBGE data, illustrates the State's main circulation infrastructures and renewable energy component suppliers, showing the most relevant information for the industrial expansion and investment allocation policies in the State. Maps 1.2 and 1.3 show Ceará's infrastructure in more detail, with the electrical system – generation, transmission and substations, road network, ports and airports. These maps, when overlaid to solar and wind resource maps, as presented in Chapter 6, form an important tool to support studies, planning and projects from these energy sources.

1.4.1 WATERWAY TRANSPORT

There are two main ports in Ceará: Port of Mucuripe, in the capital city of Fortaleza, and the Port of Pecém, coupled to the Industrial and Port Complex of Pecém, in the municipality of São Gonçalo do Amarante[26],[27].

PORT OF MUCURIPE:

With more than half a century of activity, the Port of Mucuripe, also known as Port of Fortaleza, is one of the country's most important maritime terminals. Its privileged location, in the North Brazilian coast, places it in relative proximity to the markets of North America and Europe, allowing the provision of services to shipping companies with regular lines, as well as itineraries to other Brazilian ports through coasting navigation.

O PIB cearense foi de R$ 138,4 bilhões em 2016, resultando numa renda *per capita* de R$ 15 437,75. As frações de participação dos grandes setores da economia no PIB são: Serviços (52,8%), Administração Pública (23,3%), Indústria (19,2%) e Agropecuária (4,7%). O Estado foi responsável por 2,21% do PIB brasileiro naquele ano, o que o posiciona como a 11ª maior economia do País e a 3ª maior dentre os estados da região Nordeste[23].

O consumo de energia elétrica no Ceará foi de aproximadamente 11 800 GWh em 2017[22],[24],[25]. Estima-se que a classe residencial é responsável por 34,5% do consumo de energia elétrica, seguido pela classe industrial (22,7%), comercial (19,0%), rural (11,3%) e as diversas classes de consumo público (12,4%). Cerca de um terço da energia elétrica produzida no Ceará naquele ano foi exportada para outros estados conectados ao Sistema Interligado Nacional – SIN[24].

No Capítulo 7, o consumo de eletricidade é analisado em relação aos potenciais solar e eólico estaduais avaliados pelo presente trabalho. Apresenta-se no gráfico da Figura 7.16 a evolução do consumo anual de energia elétrica no Ceará, entre 2001 e 2017.

1.4 INFRAESTRUTURA

O Mapa 1.1, elaborado pela FIEC com base em dados do IBGE, ilustra as principais estruturas de circulação do Estado e fornecedoras de componentes para energias renováveis, mostrando as informações mais relevantes para as políticas de expansão industrial e alocação de investimentos no Estado. Os Mapas 1.2 e 1.3 mostram a infraestrutura cearense em mais detalhes, com o sistema elétrico – geração, transmissão e subestações, malha viária, portos e aeroportos. Esses últimos mapas, quando sobrepostos aos mapas de potencial eólico e solar, como apresentados no Capítulo 6, formam uma importante ferramenta para subsidiar estudos, planejamento e projetos a partir dessas fontes energéticas.

1.4.1 Transporte Aquaviário

São dois os principais portos cearenses: porto do Mucuripe, na capital Fortaleza, e porto do Pecém, atrelado ao Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no município de São Gonçalo do Amarante[26],[27].

PORTO DO MUCURIPE:

Com mais de meio século de atividade, o porto do Mucuripe, também conhecido como Porto de Fortaleza, é um dos terminais marítimos de maior importância para o País. Sua localização privilegiada, na costa norte brasileira, o coloca em relativa proximidade com os mercados da América do Norte e da Europa, permitindo o atendimento a empresas de navegação com linhas regulares, além de itinerários para outros portos brasileiros por meio da navegação de cabotagem.

MAPA/MAP 1.1

Principais Infraestruturas de Circulação e Fornecedoras de Componentes para Energias Renováveis

MAIN CIRCULATION INFRASTRUCTURES AND COMPONENT SUPPLIERS FOR RENEWABLE ENERGY



BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[42], FIEC[28].

Sua área de influência abrange os estados do Ceará, Piauí, Maranhão, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba, estendendo-se também às regiões Norte, Centro-Oeste e ao Vale do São Francisco.

No porto do Mucuripe, encontra-se um dos maiores polos moageiros do País, o qual beneficia-se de uma infraestrutura equipada para permitir a movimentação de diversos tipos de mercadorias. Segundo o Ministério da Infraestrutura, o porto figurou em 2018 na 14ª posição no *ranking* de movimentação entre os portos organizados do País, superando, inclusive, os portos das capitais Salvador e Recife. Entre as principais mercadorias movimentadas pelo porto do Mucuripe estão: derivados de petróleo, trigo e escórias de alto forno[28].

TERMINAL PORTUÁRIO DO PECÉM:

O Terminal Portuário do Pecém tem a função de elo na cadeia logística do transporte marítimo ao permitir a integração de atividades portuárias e industriais, o que o caracteriza como porto industrial. Consiste em um terminal de uso privado, com administração compartilhada entre o Governo Estadual e a empresa gestora *Port of Rotterdam*, que também administra o porto homônimo, o 6º maior do mundo.

Inaugurado em 2002, o Terminal Portuário do Pecém encontra-se na finalização de sua segunda expansão, que inclui ampliação do quebra-mar, construção de nova ponte de acesso e dos berços de atracação 7, 8 e 9, com investimentos da ordem de R$ 1 bilhão[29].

O porto do Pecém tem crescido significativamente em movimentação de cargas, saltando da 19ª para a 11ª posição no *ranking* do país em movimentação de cargas, e destacando-se como o 5º mais importante terminal portuário para carga geral, categoria que inclui componentes de energia eólica[28].

Ligado ao porto, o Complexo Industrial e Portuário do Pecém possibilita a instalação de indústrias de diversos setores, sendo dotado da infraestrutura necessária para garantir a sua sustentabilidade. Ademais, o Complexo possui acessos rodoviários e ferroviários livres que evitam confinamentos tipicamente provocados por centros urbanos.

O Complexo também abriga a ZPE CEARÁ. Esta consiste em um distrito industrial incentivado, único do tipo em funcionamento do País, no qual as indústrias operam com benefícios tributários, cambiais e administrativos, que atraem companhias com atividades voltadas à exportação[30].

1.4.2 Infraestrutura Hídrica

O Estado do Ceará possui ampla infraestrutura hídrica, com mais de 247 açudes construídos, 130 adutoras totalizando

Its area of influence covers the states of Ceará, Piauí, Maranhão, Rio Grande do Norte, Pernambuco and Paraíba, extending also to the North, Midwest and the Vale do São Francisco *("São Francisco River Valley") regions.*

In the Port of Mucuripe, we find one of the country's largest milling poles, which benefits from the infrastructure, equipped to allow the handling of various types of goods. According to the Ministry of Infrastructure, in 2018, the Port ranked 14th in handling among the country's organized ports, surpassing even the ports at the capitals of Salvador and Recife. Among the main goods handled by the Port of Mucuripe we find: petroleum derivatives, wheat and blast furnace slag[28].

PORT TERMINAL OF PECÉM:

The Port Terminal of Pecém acts as a link in the logistics chain of maritime transport to allow the integration of port and industrial activities, which characterizes it as an industrial port. It consists of a terminal for private use, with administration shared between the State Government and the operating company Port of Rotterdam, which also manages the namesake port, the world's 6th largest.

Inaugurated in 2002, the Port Terminal of Pecém is currently finalizing its second expansion, which includes the expansion of the breakwater, construction of a new access bridge and mooring berths 7, 8 and 9, with investments of R$ 1 billion[29].

The Port of Pecém has grown significantly in cargo handling, moving from the 19th to the 11th position in the country's cargo handling ranking, as well as standing out as the 5th most important port terminal for general cargo, a category that includes wind power components[28].

Connected to the port, the Industrial and Port Complex of Pecém enables the installation of industries from various sectors, possessing the necessary infrastructure to ensure their sustainability. In addition, the Complex has clear road and rail access, avoiding the constraints typically caused by urban centers.

The Complex also houses CEARÁ SPA. It consists of an incentivized industrial district, the only one of the kind in operation in the country, in which industries operate with tax, exchange and administrative benefits, which attract companies with activities focused on export[30].

1.4.2 WATER INFRASTRUCTURE

The State of Ceará has a large water infrastructure, with more than 247 dams, 130 aqueducts totaling 1 700 km of extension, integration axis



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 1.11 Obras de transposição do Rio São Francisco, no Cariri.
FIGURE 1.11 *Transposition works of the São Francisco River, in Cariri.*



FIGURA 1.12 Subestação Banabuiú 230/69 kV.
FIGURE 1.12 *Banabuiú Substation 230/69 kV.*

between the main dams and rivers, as well as approximately 12 900 wells drilled between 1987 and 2018[31],[32].

The Orós (Figure 1.13) and Castanhão dams stand out due to their large dimensions, having been built to regulate the water supply from the Jaguaribe River, for activities such as agriculture and fish farming. Dams and reservoirs provide the opportunity of being used for floating solar power generation, with applications to electricity production and water pumping[33],[34],[35].

1.4.3 TECHNOLOGICAL HUB

Benefiting from its geographical location, the capital of Ceará is the world's 2nd largest hub of undersea fiber optic cables. Twelve undersea cables arrive at the city, connecting it to the USA, Europe and Africa. The number of connections has attracted investments from technology companies such as Angola Cables, which built its data center in a 3 000 m² area to receive undersea cables interconnected with the Americas and Africa[36],[37].

Ceará Digital Belt – CDC – is Brazil's largest public broadband network, with over 8 060 kilometers of fiber optic cables and connecting 116 cities in Ceará. The CDC provides Internet access to all state public agencies and provides the population with access to digital services[38].

1.4.4 RAIL TRANSPORT

The railroad network of the State of Ceará, granted to Transnordestina Railway Logistics – TNL, unfolds into two main lines. The first connects Ceará to Piauí and Maranhão and handles mainly steel products, coke and clinker[39].

The second line will be the new Transnordestina Railway, which will interconnect the Port of Pecém to Salgueiro (PE) and Eliseu Martins (PI), an important grain production area. With expected resumption of the works and completion of the Ceará stretch scheduled for 2021, it has already received investments of R$ 6,4 billion[28].

1.4.5 AIR TRANSPORT

The State is serviced by airports operated by private initiative

FIGURA 1.13 Reservatório de Orós.

FIGURE 1.13 *Orós Reservoir.*



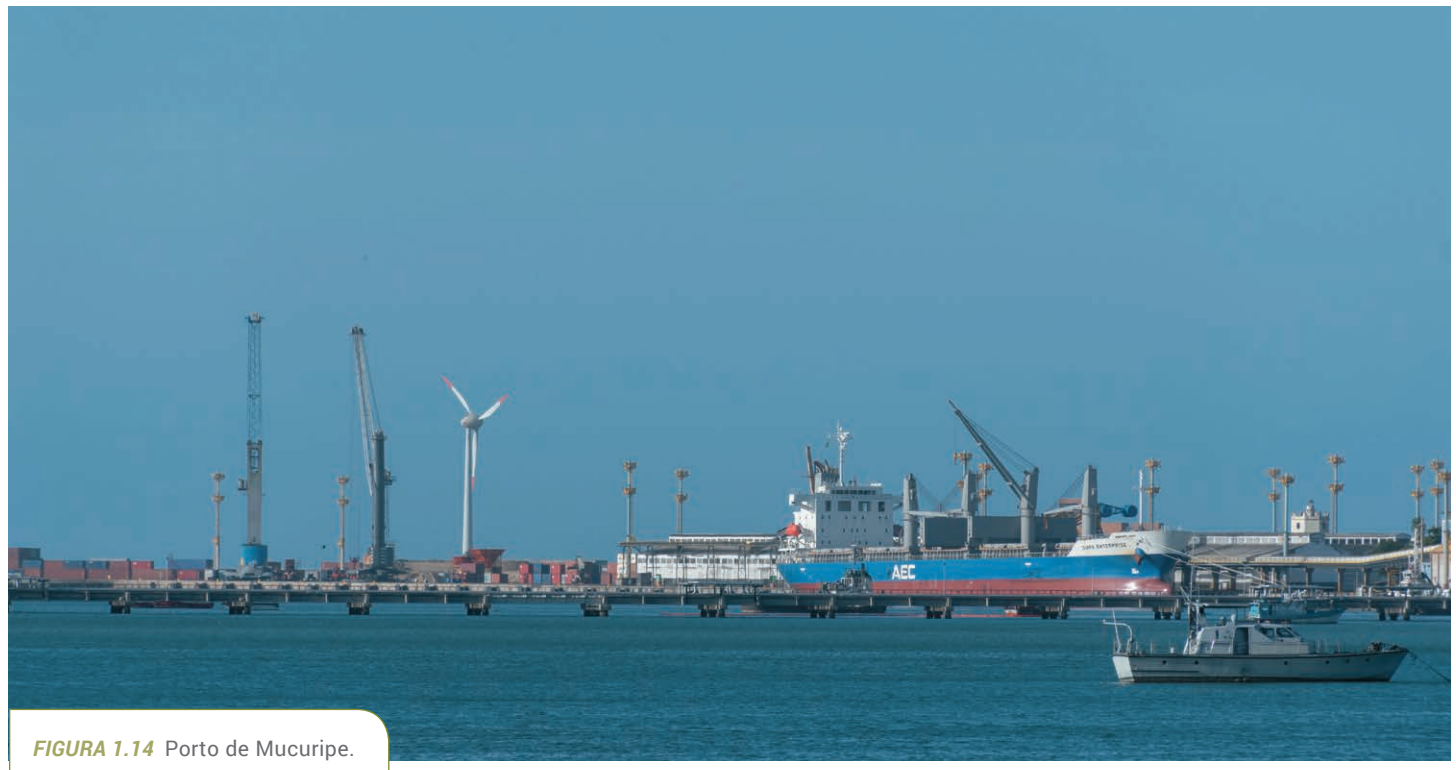


FIGURA 1.14 Porto de Mucuripe.

FIGURE 1.14 *Port of Mucuripe.*

FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

1 700 km de extensão , eixos de integração entre os principais açudes e rios e cerca de 12 900 poços perfurados entre 1987 e 2018[31],[32] .

Os açudes de Orós (Figura 1.13) e Castanhão destacam-se por suas grandes dimensões, tendo sido construídos para regularizar o fornecimento de água pelo Rio Jaguaribe, para atividades como agricultura e piscicultura. Açudes e reservatórios apresentam a oportunidade de serem aproveitados para a geração solar flutuante, com aplicação para produção de eletricidade e para bombeamento de água[33],[34],[35].

1.4.3 Hub *Tecnológico*

Beneficiando-se de sua localização geográfica, a capital do Ceará é o 2º maior *hub* de cabos submarinos de fibra ótica do mundo. Doze cabos submarinos chegam à cidade, conectando-a aos EUA, Europa e África. A quantidade de conexões tem atraído investimentos de empresas na área de tecnologia, tais como a *Angola Cables*, que edificou o seu centro de dados em uma área de 3 000 m² para receber os cabos submarinos interligados com Américas e África[36],[37].

O Cinturão Digital do Ceará – CDC – é a maior rede pública de banda larga do Brasil, com mais de 8 060 quilômetros de cabos de fibra óptica e conectando 116 cidades cearenses. O CDC proporciona acesso à internet a todos os órgãos públicos estaduais e possibilita o acesso da população a serviços digitais[38].

1.4.4 Transporte Ferroviário

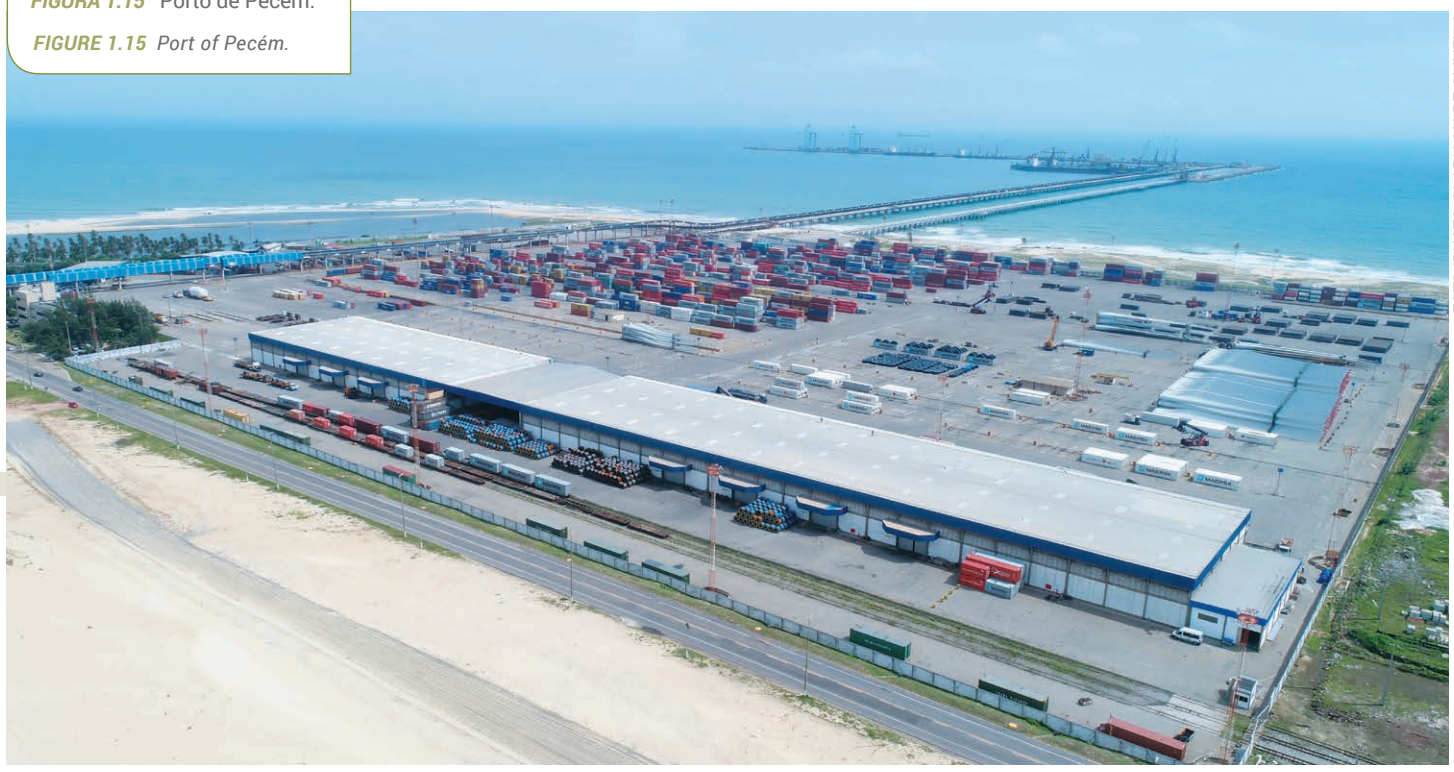
A malha ferroviária cearense, concedida à Ferrovia Transnordestina Logística – TNL, desdobra-se em duas linhas principais. A primeira conecta o Ceará ao Piauí e Maranhão e movimenta principalmente produtos siderúrgicos, coque e clínquer[39].

O segundo desdobramento será a nova Ferrovia Transnordestina, que interligará o Porto do Pecém a Salgueiro (PE) e Eliseu Martins (PI), importante área de produção de grãos. Com a expectativa de retomada das obras e a previsão de conclusão do trecho de interesse do Ceará em 2021, já recebeu investimentos de R$ 6,4 bilhões[28].

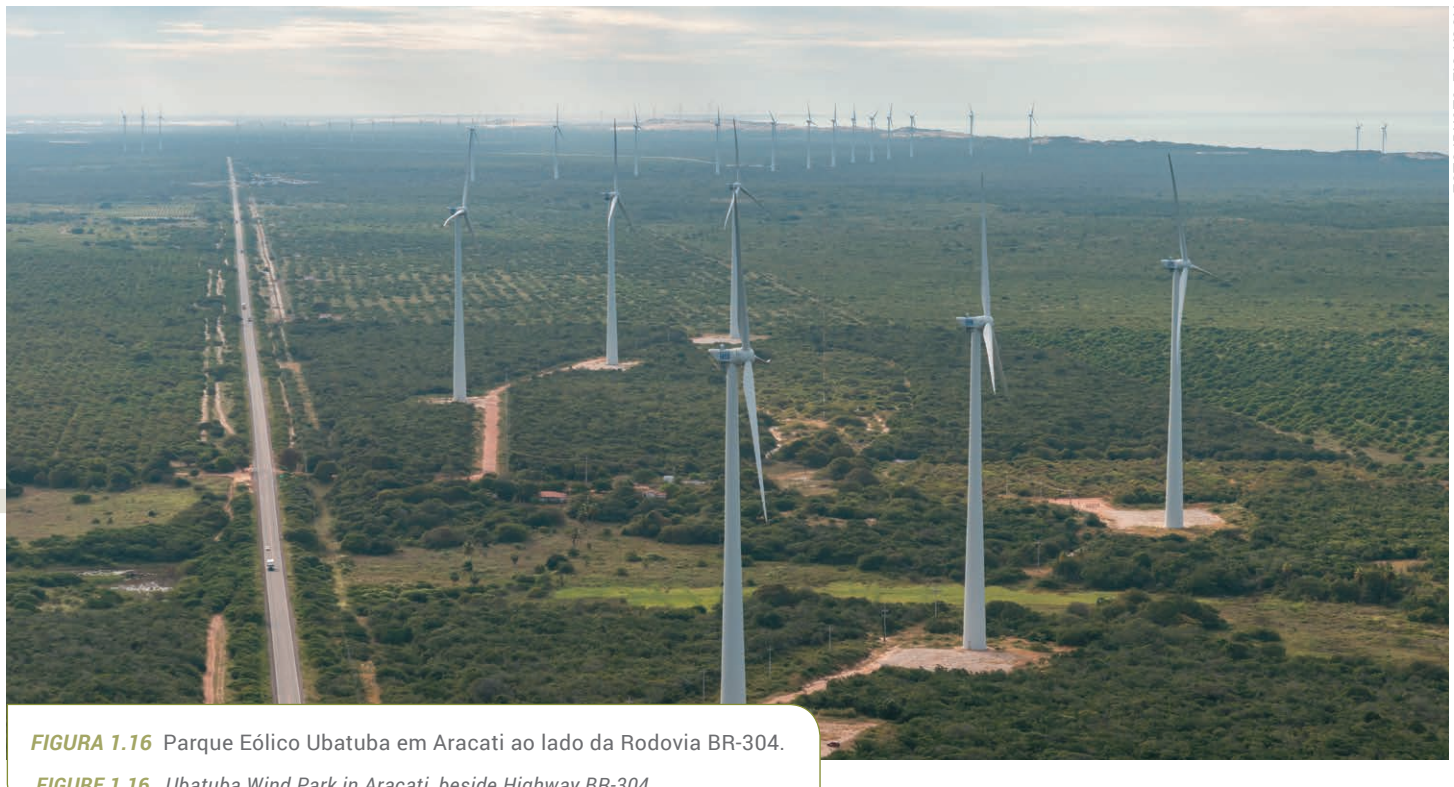
1.4.5 Transporte Aéreo

O Estado é atendido por aeroportos operados pela iniciativa

FIGURA 1.15 Porto de Pecém.
FIGURE 1.15 *Port of Pecém.*



FOTO/*PHOTO*: GLADISON DE OLIVEIRA



FOTO/*PHOTO*: ZIG KOCH

FIGURA 1.16 Parque Eólico Ubatuba em Aracati ao lado da Rodovia BR-304.
FIGURE 1.16 *Ubatuba Wind Park in Aracati, beside Highway BR-304.*

privada (Fortaleza e Juazeiro), assim como pelo Governo do Estado (Aracati, Camocim, Campos Sales, Canindé, Crateús, Iguatu, Itapipoca, Jericoacoara, Limoeiro do Norte, Quixadá, Russas, São Benedito, Sobral e Tauá) e abriga, adicionalmente, outros 27 campos de pouso[39].

O Aeroporto Internacional de Fortaleza foi concedido em 2017 à empresa Fraport Brasil – Fortaleza, subsidiária da alemã *Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide*. A nova gestão prevê a ampliação do terminal de passageiros, adequações no sistema viário e das vias de taxiamento e expansão de pista de pouso e decolagem, entre outras intervenções.

O aeroporto serve a várias companhias internacionais, algumas das quais sediando o seu próprio centro de conexões, como Air France, KLM e Gol (no Nordeste). O aeroporto triplicou o número de voos oriundos do exterior entre 2017 e 2019[28].

Com relação aos aeroportos domésticos, em 2018 e 2019 foram iniciadas as operações com voos regulares dos aeroportos de Jericoacoara e Aracati, respectivamente, para estados das regiões Sudeste e Nordeste.

1.4.6 Transporte Rodoviário

O Ceará possui uma malha rodoviária pavimentada de 10 630 km, dos quais 75,5% são mantidos pelo Governo Estadual, 20,7% pelo Governo Federal e os restantes 3,8% pelos poderes municipais[39].

A Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transportes e Logística- CNTTL – classifica cerca de 40% da pavimentação das rodovias estaduais como "em ótimo estado", e 46% como "em situação boa ou regular"[28].

Nos últimos cinco anos, foram investidos pelo Governo Estadual R$ 2 bilhões em infraestrutura rodoviária, destacando-se as melhorias dos acessos rodoviários aos portos cearenses. As melhorias tiveram o objetivo de, sob a ótica do sistema de transporte multimodal, reduzir os custos e melhorar a competitividade das indústrias do Estado[40].

(Fortaleza and Juazeiro), as well as by the State Government (Aracati, Camocim, Campos Sales, Canindé, Crateús, Iguatu, Itapipoca, Jericoacoara, Limoeiro do Norte, Quixadá, Russas, São Benedito, Sobral and Tauá) and houses, additionally, another 27 airfield[39].

The Fortaleza International Airport was granted, in 2017, to Fraport Brazil – Fortaleza, a subsidiary of the German Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide. The new management envisages the expansion of the passenger terminal, adaptations in the road system and taxiing routes, and expansion of the landing and taking off runways, among other interventions.

The airport serves several international companies, some of which feature their own connection center, as Air France, KLM, and Gol (in the Northeast). The airport has tripled the number of international flights between 2017 and 2019[28].

With respect to the domestic airports, in 2018 and 2019, operations started with regular flights from the airports of Jericoacoara and Aracati, respectively, to states in the Southeast and Northeast regions.

1.4.6 ROAD TRANSPORT

Ceará has a paved road network of 10 630 km, from which 75,5% are maintained by the State Government, 20,7% by the Federal Government and the remaining 3,8% by the municipalities[39].

The National Workers Confederation in Transport and Logistics- CNTTL – classifies approximately 40% of the pavement of the state roads as "in excellent condition", and 46% as "in good or regular condition"[28].

Over the last five years, the State Government invested R$ 2 billion in road infrastructure, wherein the improvements to road accesses to the ports of Ceará stand out. Such improvements had the objective of, under the perspective of the multimodal transport system, reduce costs and improve the competitiveness of State's industries[40].

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Porto
Port

Balsa
Ferryboat

Aeroporto, campo de pouso
Airport, airfield

Estrada duplicada
Highway

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

Vila
Village

MAPA/MAP 1.2 .

Infraestrutura de Transporte
TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[41],[42], ANA[43], DER-CE[44], MTPA[45].

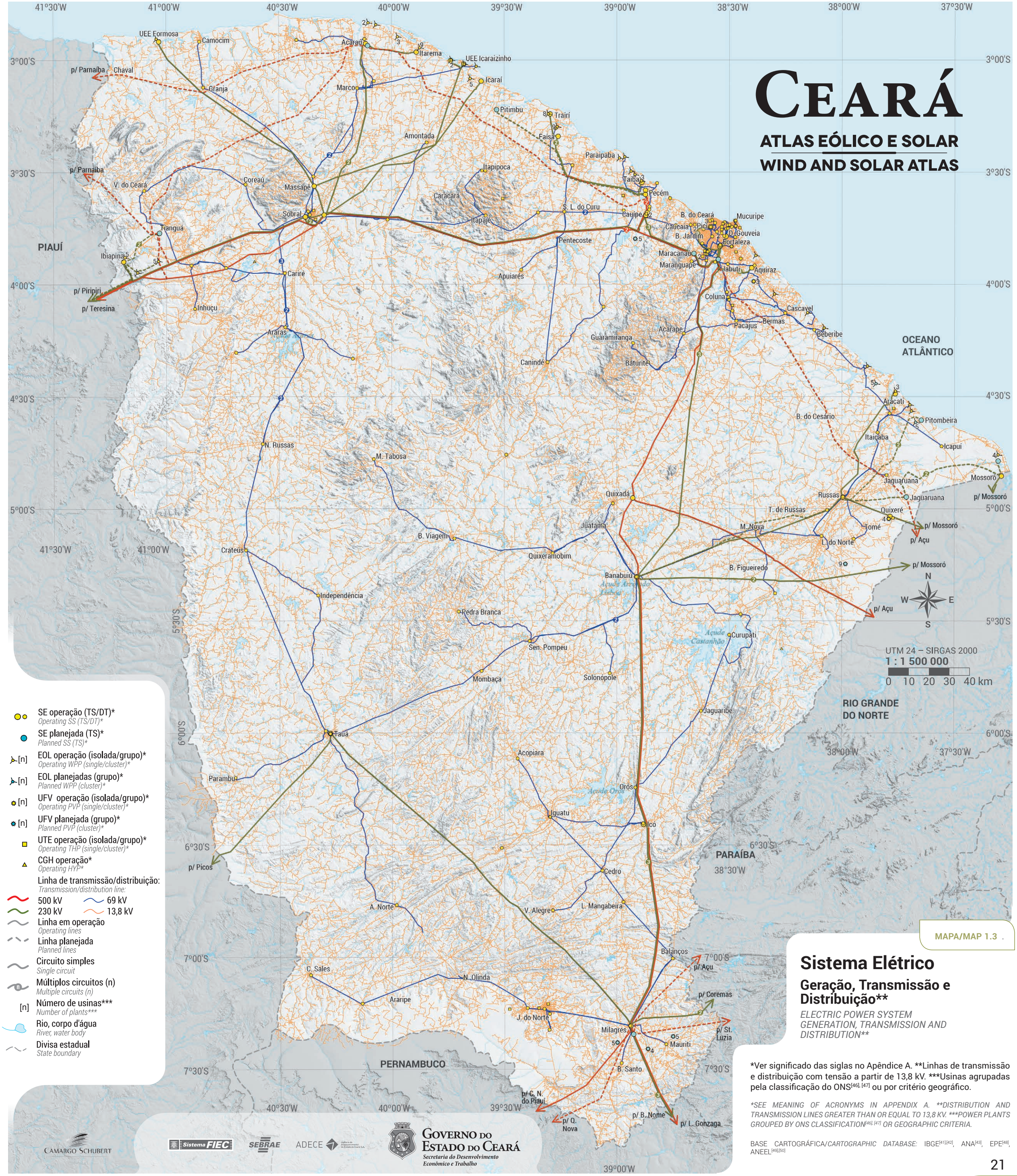
CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
  - 13,8 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*
- Circuito simples — *Single circuit*
- Múltiplos circuitos (n) — *Multiple circuits (n)*
- [n] Número de usinas*** — *Number of plants****
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*

MAPA/MAP 1.3 .

Sistema Elétrico

Geração, Transmissão e Distribuição**

*ELECTRIC POWER SYSTEM GENERATION, TRANSMISSION AND DISTRIBUTION***

*Ver significado das siglas no Apêndice A. **Linhas de transmissão e distribuição com tensão a partir de 13,8 kV. ***Usinas agrupadas pela classificação do ONS[46], [47] ou por critério geográfico.

**SEE MEANING OF ACRONYMS IN APPENDIX A. **DISTRIBUTION AND TRANSMISSION LINES GREATER THAN OR EQUAL TO 13,8 KV. ***POWER PLANTS GROUPED BY ONS CLASSIFICATION[46], [47] OR GEOGRAPHIC CRITERIA.*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[41],[42], ANA[43], EPE[48], ANEEL[49],[50]

CAMARGO SCHUBERT
Sistema FIEC SEBRAE ADECE
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

1.4.7 Sistema Elétrico

O Ceará é atendido pela malha de transmissão da rede básica de energia, principalmente pela CHESF, e pela rede de distribuição da Enel Distribuição Ceará. A energia elétrica é produzida por 129 usinas, totalizando 4 433 MW de potência, equivalente a 2,7% da capacidade instalada nacional. Dessas usinas, 81 são eólicas e adicionam 2 054,9 MW ao SIN, e três são fotovoltaicas (geração centralizada) e adicionam 218 MW ao Sistema[51]. A geração distribuída, em julho de 2019, totalizava 42,5 MW de capacidade instalada fotovoltaica e 10 MW em eólica, com mais de 2 633 unidades geradoras (99% fotovoltaicas) e 3 484 unidades consumidoras que recebem créditos energéticos[39].

No ano de 2018, o Estado produziu 13 959 GWh de energia elétrica, dos quais 41% (5 736 GWh) foram por geração eólica, 0,3% (38 GWh) por usinas solares e o restante a partir de fontes térmicas[24],[52].

As Tabelas 1.1 a 1.6 relacionam as principais usinas atualmente em operação e construção no Estado do Ceará.

1.4.7 ELECTRICAL SYSTEM

Ceará is serviced by the transmission grid of the basic grid, mainly by CHESF, and by the Enel Distribuição Ceará *utility grid. The electrical energy is produced by 129 power plants, totaling 4 433 MW of power, equivalent to 2,7% of the national installed capacity. Eighty-one of these plants are wind power plants and add 2 054,9 MW to the SIN, and three are photovoltaic (centralized generation) and add 218 MW to the System[51]. The distributed generation, in July 2019, totaled 42,5 MW of photovoltaic installed capacity and 10 MW in wind power, with more than 2 633 generating units (99% photovoltaic) and 3 484 consuming units that receive energy credits.*

In 2018, the State produced 13 959 GWh of electricity, of which 41% (5 736 GWh) was by wind generation, 0,3% (38 GWh) by solar power plants and the remainder from thermal sources[24],[52].

Tables 1.1 to 1.6 list the main power plants currently in operation and construction in the State of Ceará.

FIGURA 1.17 Parque Eólico Itarema IX.

FIGURE 1.17 *Itarema IX Wind Park.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

Nome da Usina *Power Plant Name*	Município *Municipality*	Combustível *Fuel*	Potência (MW) *Capacity (MW)*
Porto do Pecém I	São Gonçalo do Amarante	Carvão Mineral *Coal*	720,3
Porto do Pecém II	São Gonçalo do Amarante	Carvão Mineral *Coal*	365,0
Fortaleza	Caucaia	Gás Natural *Natural Gas*	326,6
Termoceará	Caucaia	Gás Natural *Natural Gas*	220,0
CSP	São Gonçalo do Amarante	Gás de Alto Forno *Blast Furnace Gas*	218,0
Maracanaú I	Maracanaú	Óleo Combustível *Fuel Oil*	168,0
Caucaia	Caucaia	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	14,8
Enguia Pecém	São Gonçalo do Amarante	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	14,8
Iguatu	Iguatu	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	14,8
Juazeiro do Norte	Juazeiro do Norte	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	14,8
Crato	Crato	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	13,1
Aracati	Aracati	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	11,5
Baturité	Baturité	Óleo Diesel *Diesel Fuel*	11,5
24 outras termelétricas *24 other thermoelectric power plants*		Outros *Other*	45,8
			TOTAL 2 159,0

TABELA 1.1 Usinas térmicas em operação no Ceará.
TABLE 1.1 Operating thermoelectric power plant in Ceará.

Nome da usina *Power plant name*	Rio *River*	Potência (kW) *Capacity (kW)*
Figueiredo	Figueiredo	403
Taquara	Jaibaras	860
	TOTAL	**1 263**

TABELA 1.2 Centrais geradoras hidrelétricas em operação no Ceará.
TABLE 1.2 Operating hydroelectric power plant in Ceará.

Nome do conjunto ou da usina *Group or power plant name*	Nº de usinas *No of power plants*	Município *Municipality*	Potência (MW) *Capacity (MW)*
Sol do Futuro*	3	Aquiraz	81,0
Calcário*	4	Quixeré	132,0
MPX Tauá	1	Tauá	1,0
		TOTAL	**214,0**

TABELA 1.3 Usinas fotovoltaicas em operação no Ceará.
TABLE 1.3 Operating photovoltaic power plants in Ceará.

Nome do conjunto ou da usina *Group or power plant name*	Nº de usinas *No of power plants*	Município *Municipality*	Potência (MW) *Capacity (MW)*
Faísa*	9	Trairi	227,8
Trairí*	8	Trairi	212,6
Itarema V*	9	Itarema	207,0
Icaraí*	5	Amontada	140,7
Aracati II*	3	Aracati	138,5
Santa Rosália*	5	Tianguá e Ubajara	130,1
Santo Inácio*	4	Icapuí	98,7
Papagaios*	3	Acaraú e Itarema	87,0
Cacimbas*	5	Ibiapina e Ubajara	86,1
Acaraú II*	2	Acaraú	70,8
Taíba*	3	São Gonçalo do Amarante	56,7
Pedra Cheirosa*	2	Itarema	48,3
Pitombeira*	5	Aracati	98,7
Beberibe	1	Beberibe	105,0
Eólica Canoa Quebrada	1	Aracati	54,6
Cataventos Aca-raú I	1	Acaraú	42,0
Dunas de Paracuru	1	Paracuru	28,8
Enerce Pindore-tama	1	Pindoretama	28,0
Eólica Taíba	1	São Gonçalo do Amarante	25,6
Foz do Rio Choró	1	Beberibe	25,5
Icaraí	1	Amontada	25,2
Icaraizinho	1	Amontada	25,2
Lagoa do Mato	1	Aracati	3,2
Malhadinha I	1	Ibiapina	23,1
Mucuripe	1	Fortaleza	2,4
Paracuru	1	Paracuru	16,8
Praia Formosa	1	Camocim	16,5
Praias de Parajuru	1	Beberibe	10,5
Prainha	1	Aquiraz	10,0
Quixaba	1	Aracati	5,0
Taíba Albatroz	1	São Gonçalo do Amarante	4,5
		TOTAL	**2 054,9**

TABELA 1.4 Usinas eólicas em operação no Ceará.
TABLE 1.4 Operating wind farms in Ceará.

Nome do conjunto ou da usina *Group or power plant name*	Nº de usinas *No of power plants*	Município *Municipality*	Potência (MW) *Capacity (MW)*
Alex	8	Limoeiro do Norte e Tabuleiro do Norte	278,4
Lavras	5	Caucaia	135,0
Mauriti	9	Mauriti/Milagres	343,7
Milagres**	5	Milagres	163,7
		TOTAL	**920,8**

TABELA 1.5 Usinas fotovoltaicas em construção ou com outorga no Ceará.
TABLE 1.5 Photovoltaic power plants under construction or granted in Ceará.

Nome do conjunto ou da usina *Group or power plant name*	Nº de usinas *No of power plants*	Município *Municipality*	Potência (MW) *Capacity (MW)*
Energia dos Ventos*	5	Fortim	120,0
Serrote	8	Trairi	205,8
Papagaios	4	Acaraú	99,0
Ventos de Sta. Rosa, Ventos de São Geraldo, Ventos de Santo Inácio e Ventos de Sebastião	4	Tianguá	120,0
		TOTAL	**544,8**

TABELA 1.6 Usinas eólicas em construção ou com outorga no Ceará.
TABLE 1.6 Wind farms under construction or granted in Ceará.

FONTE/*SOURCE*: ANEEL[51]

*USINAS AGRUPADAS CONFORME ONS[46], [47], OU DE ACORDO COM A LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.
** CONJUNTO VENCEDOR DO 29° LEILÃO DE ENERGIA NOVA (A-4), EM PROCESSO DE OBTENÇÃO DE OUTORGA
** POWER PLANTS GROUPED ACCORDING TO ONS[46], [47] OR TO GEOGRAPHIC LOCATION.*
*** WINNER GROUP OF THE 29° NEW ENERGY AUCTION (A-4), IN GRANTING PROCESS*

FIGURA 2.1 Complexo Eólico Tianguá, município de Tianguá.

FIGURE 2.1 *Tianguá Wind Complex, municipality of Tianguá.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

2 CLIMATOLOGIA

CLIMATOLOGY

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY

2.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

O aquecimento não homogêneo da superfície da Terra pelo sol, decorrente da inclinação do seu eixo de rotação e do seu movimento de translação, induz o movimento das massas de ar na atmosfera, redistribuindo a energia excedente do equador para os pólos, formando os ventos[1]. A circulação atmosférica ocorre em diferentes escalas temporais e espaciais, classificadas como global (macroescala), regional (mesoescala) e local (microescala).

2.1.1 Escalas da Circulação Atmosférica

De forma simplificada, a circulação atmosférica **global** pode ser aproximada ao modelo de três células: Hadley, Ferrel e Polar (Figura 2.2). Na célula de Hadley, o ar quente em superfície ascende no equador (0°), formando uma zona de baixa pressão – B, a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, e desloca-se em direção ao pólos, subsidindo próximo às latitudes de 30°, onde é gerada uma zona de alta pressão – A em superfície (Alta Subtropical). Parte do ar subsidente segue em direção ao Equador em superfície, formando os ventos alísios, os quais, devido à força de Coriolis, são defletidos no sentido oposto à rotação da Terra, resultando nas direções de sudeste no Hemisfério Sul e de nordeste no Hemisfério Norte. A outra parcela do ar subsidente denomina-se Ventos de Oeste e move-se em direção aos pólos, formando a Célula de Ferrel. Esses ventos seguem até aproximadamente as latitudes de 60°, onde encontram massas polares e convergem sobre a região conhecida por Frente Polar (baixa pressão – B). Por fim, na célula polar, o ar em superfície desloca-se dos pólos, onde as condições são mais frias, para a Frente Polar, onde as condições são menos frias, dando origem aos Ventos de Leste, conduzidos pelo gradiente de temperatura[2],[3].

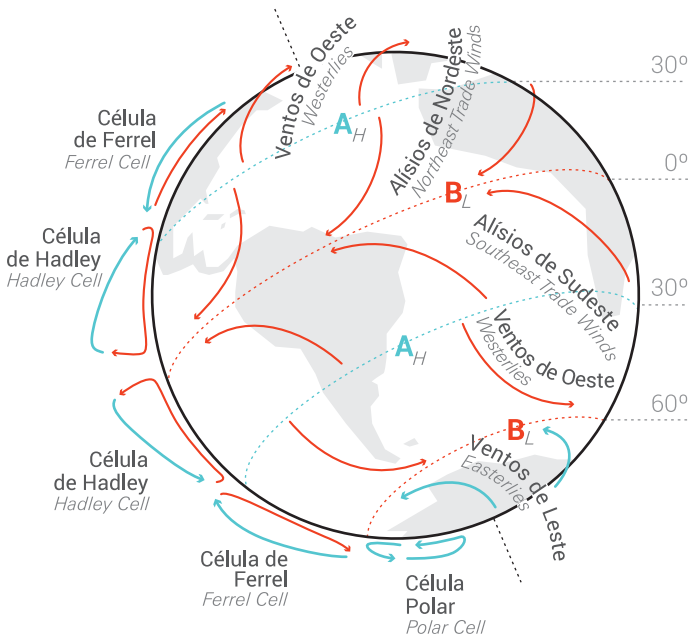
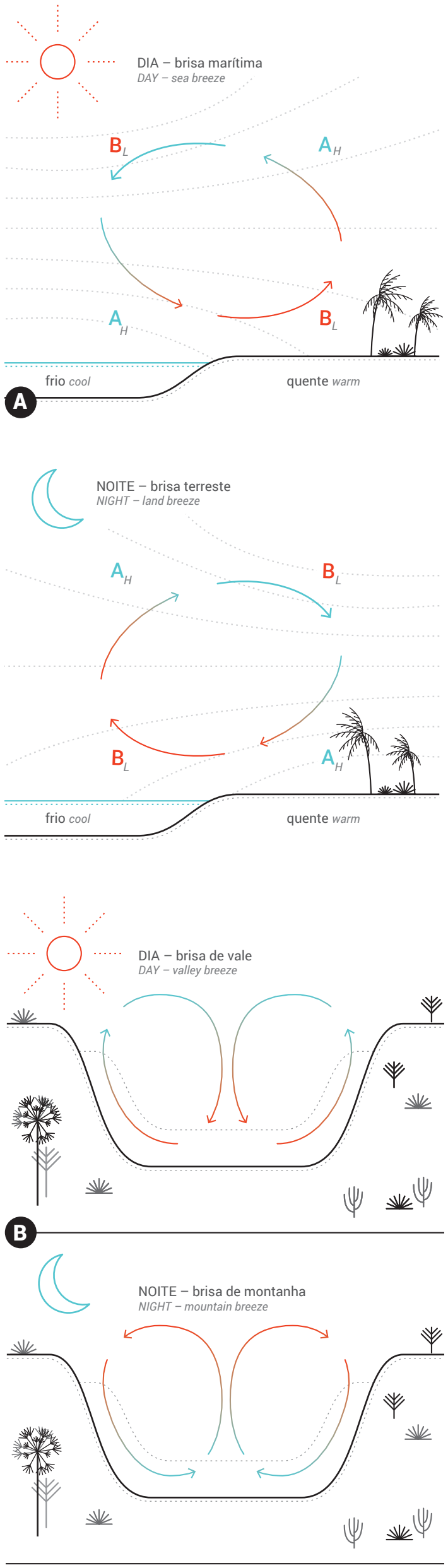


FIGURA 2.2 Circulação atmosférica global.

FIGURE 2.2 *Global atmospheric circulation.*

As circulações de **mesoescala** ocorrem nos níveis mais baixos da atmosfera, entre as altitudes de 1 a 10 km. Nesses níveis, o vento passa a ser influenciado pelas características da superfície, interagindo com a orografia local, podendo ser induzidos por gradientes térmicos, como entre mar e terra (brisa marítima e terrestre, Figura 2.3a) e entre vale e montanha (brisa de vale e de montanha, Figura 2.3b).



ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

2.1 Atmospheric Circulation

The inhomogeneous heating of the surface of the Earth by the Sun, due to the inclination of its axis of rotation and its translation movement, induces the movement of air masses in the atmosphere. This redistributes the surplus energy from the equator to the poles, forming the winds[1]. Atmospheric circulation occurs at different temporal and spatial scales, classified as global (macroscale), regional (mesoscale), and local (microscale).

2.1.1 ATMOSPHERIC CIRCULATION SCALES

*In a simplified way, **global** atmospheric circulation can be approximated to the three-cell model: Hadley, Ferrel, and Polar (Figure 2.2). In the Hadley Cell, surface hot air rises at the equator (0°), forming a low-pressure zone – L, the Intertropical Convergence Zone – ITCZ, and moves toward the poles, subsiding near the 30° latitudes, where a high-pressure zone – H is generated at the surface (Subtropical High). Part of the subsident air moves toward the equator at the surface, forming trade winds, which, due to the Coriolis force, are deflected in the opposite direction to the Earth's rotation, resulting in the southeast direction in the Southern Hemisphere and the northeast direction in the Northern Hemisphere. The other portion of the subsident air is called Western Winds and moves toward the poles, forming the Ferrel Cell. These winds move to approximately the 60° latitudes, where they meet polar air masses and converge on the region known as the Polar Front (low pressure – L). Finally, in the polar cell, the surface air moves from the poles, where conditions are colder, to the Polar Front, where conditions are less cold, giving rise to the Eastern Winds, driven by the temperature gradient[2],[3].*

***Mesoscale** circulations occur at the lowest levels of the atmosphere, between altitudes of 1 to 10 km. At these levels, the wind starts to be influenced by surface characteristics, interacting with the local orography, and they may be induced by thermal gradients, such as between the sea and land (sea and land breeze, Figure 2.3a) and between valley and mountain (valley and mountain breeze, Figure 2.3b).*

*Lastly, **microscale** phenomena, such as turbulent motion and gusts, have a temporal scale from seconds to minutes and occur at atmospheric levels below 1 km.*

FIGURA 2.3 Circulações atmosféricas de mesoescala: (a) brisa marítima e brisa terrestre, (b) brisa de vale e brisa de montanha.

FIGURE 2.3 *Mesoscale atmospheric circulations: (a) sea and land breeze, (b) valley and mountain breeze.*

FIGURA 2.4 Parâmetros e instrumentos utilizados para caracterizar o vento.

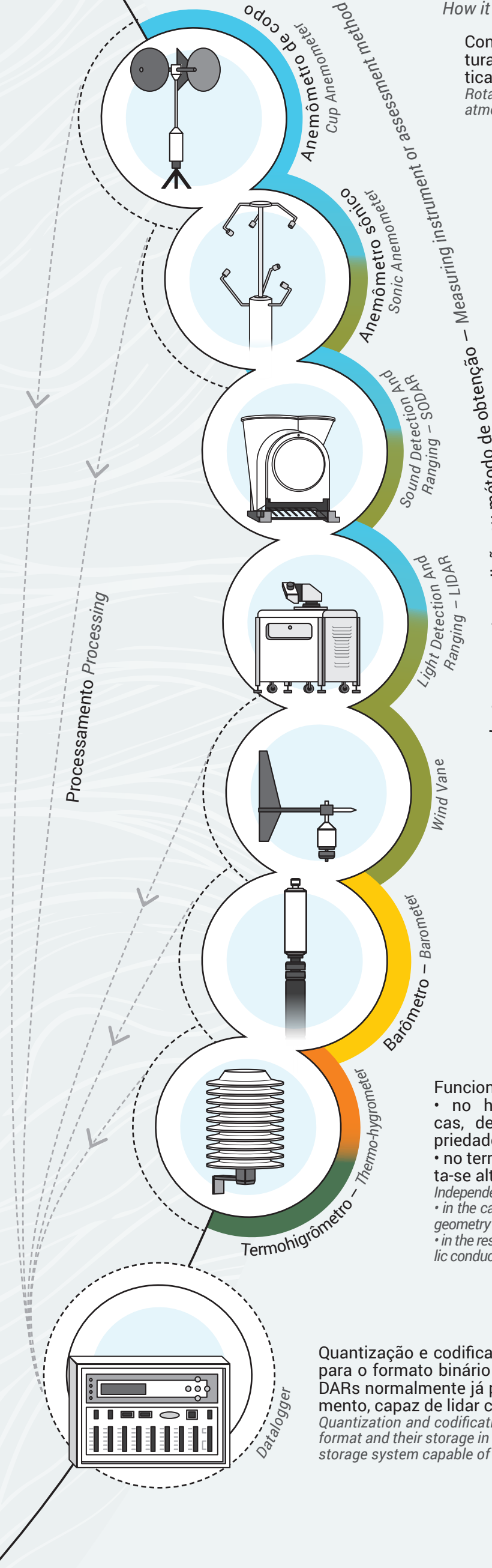
FIGURE 2.4 *Parameters and instruments used for wind assessment.*

FONTE/*SOURCE:* HALLIDAY et al[10], OMM[11], AMONIT[12], CAMARGO-SHCHUBERT[13]

Descrição *Description*	Utilização *Application*	Parâmetros Eólicos *Wind Parameters*
Quantificação escalar do movimento de massas de ar devido a gradientes de pressão horizontais ou verticais. *Scalar quantification of air masses movement due to horizontal or vertical pressure gradients.*	Determinar a energia cinética do vento e estimar a produção de energia em projetos eólicos. *Determine wind kinetic energy and estimate energy production in wind projects.*	Velocidade do vento [m/s] *Wind speed [m/s]*
Ângulo horizontal entre o vetor fluxo atmosférico e o norte geográfico. *Honrizontal angle between the atmospheric flow vector and the geographical north.*	Dimensionar o espaçamento e orientação dos aerogeradores em projetos eólicos, a partir das direções de maior incidência do vento. *Dimension the spacing and orientation of turbines in wind projects, based on prevailing wind directions.*	Direção do vento [°] *Wind direction [°]*
Razão entre o peso da coluna de ar atmosférico por unidade de área. *Ratio between the weight of the atmospheric air column per area unit.*		Pressão atmosférica [Pa] *Atmospheric pressure [Pa]*
Quantificação do movimento aleatório das moléculas do ar. *Assessment of random motion of air molecules.*	Calcular a densidade do ar, a qual é um parâmetro diretamente proporcional à energia cinética do vento. *To calculate air density, which is a parameter directly proportional to the wind kinetic energy.*	Temperatura do ar [°C] *Air temperature [°C]*
Razão entre a quantidade de água existente no ar e a máxima quantidade que poderia haver no ar na mesma temperatura e pressão (ponto de saturação). *Ratio between the amount of water in the air and the maximum amount that could exist in the air at equal temperature and pressure (saturation point).*		Umidade relativa do ar [%] *Air relative humidity [%]*

Obtenção do parâmetro
Parameter assessment

ELABORAÇÃO/*PREPARATION:* CAMARGO-SCHUBERT



Como funciona
How it works

Contagem das rotações de uma estrutura de copos montados sobre eixo vertical, movidos pelo fluxo atmosférico.
Rotations count in a multicup structure moved by the atmospheric flow and built on a vertical shaft.

Medição do tempo que um pulso sonoro se propaga entre extremidades do sensor. O tempo de propagação do pulso ultrassônico possui relação direta com a direção e módulo da velocidade do vento.
Time measurement upon which a sound pulse travels between different sensor ends. The ultrasonic pulse travel time is directly related to the wind speed direction and module.

Dedução da velocidade e direção do vento a partir da mudança na frequência de múltiplos pulsos sonoros emitidos e refletidos por partículas de aerossol (efeito Doppler).
Deduction of wind speed and direction from the change in frequency of multiple pulses of sound emitted and reflected by aerosol particles (Doppler effect).

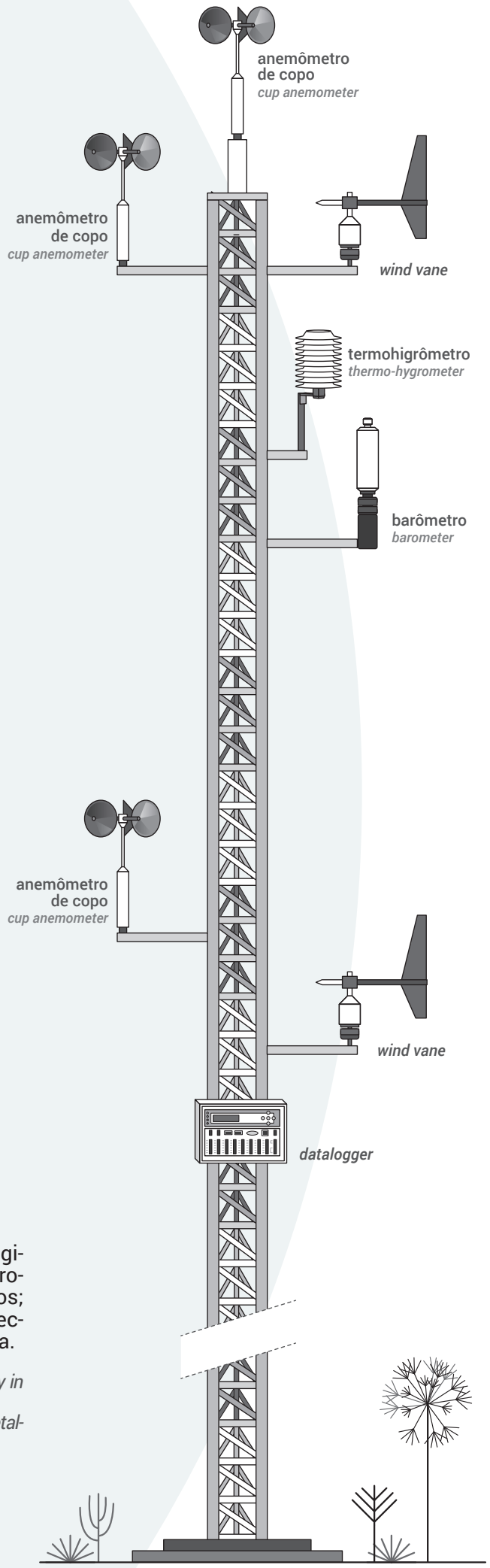
Dedução da velocidade e direção do vento a partir da mudança na frequência de múltiplos pulsos luminosos emitidos e refletidos por partículas de aerossol (efeito Doppler).
Deduction of wind speed and direction from the change in frequency of multiple light pulses emitted and reflected by aerosol particles (Doppler effect).

Indicação da posição do eixo em relação a um referencial por meio de um resistor variável. O eixo livre de resistência possui uma aleta que se alinha à direção do vento.
Indication of the shaft position in relation to a reference by means of a variable resistor. The resistance-free shaft has a fin that is aligned to the wind direction.

Medição da variação da tensão elétrica gerada por cristais como resposta a uma tensão mecânica (efeito piezoelétrico).
Measurement of the change in electric tension generated by crystals in response to a mechanical stress (piezoelectric effect).

Funcionamento independente de dois sensores:
• no higrômetro capacitivo, comumente utilizado em estações meteorológicas, detecta-se alterações causadas pela umidade na geometria e nas propriedades dielétricas de um material posicionado entre dois eletrodos;
• no termômetro resistivo, comumente utilizado em estações meteorológicas, detecta-se alterações na resistividade de condutores metálicos sensíveis à temperatura.
Independent operation of two sensors:
• in the capacitive hygrometer, commonly used in meteorological stations, changes caused by humidity in geometry and dielectric properties of a material positioned between two electrodes are detected;
• in the resistive thermometer, commonly used in meteorological stations, changes in the resistivity of metallic conductors sensitive to temperature are detected.

Quantização e codificação de sinais analógicos de instrumentos e sensores para o formato binário e seu armazenamento em meio digital. LIDARs e SODARs normalmente já possuem acoplados um sistema próprio de amarzenamento, capaz de lidar com grandes volumes de dados.
Quantization and codification of analogic signals from instruments and sensors to binary format and their storage in digital environment. LIDARs and SODARs usually have their own storage system capable of dealling with large data volumes.



ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

FIGURA 2.5 Estação anemométrica típica.
FIGURE 2.5 *Typical anemometric station.*

Por fim, os fenômenos de **microescala**, tais como movimentos turbulentos e rajadas, apresentam escala temporal de segundos a minutos e ocorrem nos níveis atmosféricos inferiores a 1 km.

Apesar de ser categorizado segundo sua abrangência espacial ou temporal, o vento em um local é formado pela composição das circulações atmosféricas em diferentes escalas, sendo moldado pela interação com a superfície do solo e orografia[4].

2.1.2 Parâmetros de Vento e Instrumentos de Medição

A energia elétrica convertida a partir da energia cinética das massas de ar em movimento é chamada de energia eólica. A caracterização do potencial eólico de uma região baseia-se, consequentemente, em medições da velocidade e direção do vento, além de parâmetros meteorológicos específicos para o cálculo da energia cinética do ar, tais como pressão, temperatura e umidade relativa. Essas medições são utilizadas ao longo de todas as fases de desenvolvimento de um projeto eólico, desde a prospecção de lugares favoráveis à geração eólica, a determinação das características de projeto de um parque (tamanho, *layout*, escolha das turbinas), até a alimentação de modelos de previsão e análises estatísticas para comercialização, operação e manutenção das usinas.

Apresenta-se na Figura 2.4 os principais parâmetros medidos em campanhas de medição anemométrica, relacionados aos seus respectivos instrumentos de medição ou métodos de obtenção ou de cálculo. Na Figura 2.5, é mostrado o esquema de uma estação anemométrica típica, com os principais sensores. No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE – regulamenta a especificação dessas estações para a participação dos projetos nos Leilões de Energia Elétrica[5] e publica um guia de boas práticas para a sua instalação[6]. Outras recomendações são publicadas pela norma da *International Electrotechnical Commission* – IEC 61400-12-1[7],[8], em que constam recomendações sobre os sensores de medição, a correta posição e instalação na torre anemométrica, parâmetros de qualidade dos dados, entre outras informações. Já a *Measuring Network of Wind Energy Institutes* – MEASNET apresenta diretrizes a serem utilizadas no processo de avaliação das condições locais do vento, com foco nos dados medidos, além de procedimentos e diretrizes para a calibração de anemômetros em túnel de vento e a acreditação de institutos de medição em diversos países[9].

2.1.3 Incerteza na Velocidade do Vento

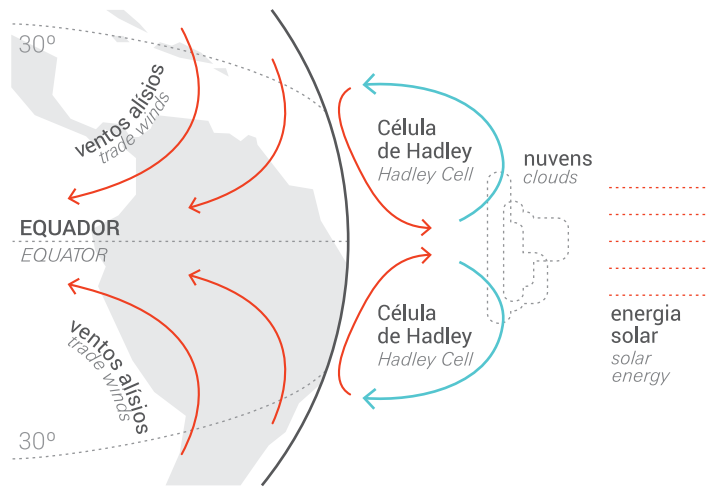
Um requisito fundamental para o sucesso de um empreendimento eólico é a correta quantificação das incertezas na estimativa de produção energética[14]. A incerteza na avaliação do recurso eólico constitui a principal fonte de incerteza na estimativa de produção de energia desses projetos, e resulta da combinação das seguintes parcelas: incertezas de medição (anemométrica e configuração de instalação na torre), incerteza na variabilidade do regime de vento, incerteza na estimativa de longo prazo e climatologia e incertezas na distribuição do recurso eólico a partir das torres de medição (extrapolação horizontal e vertical para o local e altura de rotor de cada aerogerador que compõe o parque[15]. A incerteza na estimativa de produção energética é calculada pelas contribuições das incertezas do vento convertidas em energia (dependente das curvas de desempenho das turbinas e da distribuição local do vento), combinadas à incerteza na curva de potência e à incerteza no cálculo das perdas por interferência aerodinâmica entre turbinas.

Como a produção energética de uma usina eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento, as incertezas na medição do recurso tem grande impacto no retorno financeiro desses empreendimentos. Erros associados aos equipamentos de medição são estimados pela classificação e calibração dos sensores, além da avaliação da disposição de instalação na torre anemométrica. Atualmente, a classe dos anemômetros de copo é regulamentada pela IEC 61400-12-1[7],[8], e a sua calibração deve ser realizada por uma instituição que adota os procedimentos de calibração definidos pela MEASNET[16]. A IEC dispõe de diretrizes para a instalação e montagem dos equipamentos na torre anemométrica, visando quantificar e mitigar as influências externas nas medições. Quanto à modelagem do regime de vento na área do projeto (extrapolações horizontal e vertical das medições pontuais da torre para o local e altura de nacele das turbinas), deve-se utilizar modelos numéricos que resolvam adequadamente o escoamento atmosférico, considerando a modelagem dos mecanismos de mesoescala e microescala (topografia e rugosidade) em resolução compatível com a complexidade do terreno e os efeitos térmicos na camada-limite atmosférica.

2.1.4 Regimes de Vento do Ceará

Situado na região Tropical e próximo à Linha do Equador, o Estado do Ceará tem seu clima influenciado principalmente pela ZCIT (Figura 2.6), em escala global, e pela proximidade do Oceano Atlântico ao longo dos seus 573 km litorâneos, em escala regional. Com menor intensidade, ocorrem influências de mesoescala em locais de topografia complexa, como na Serra da Ibiapaba e na Chapada do Araripe, nas divisas oeste e sul do Estado, respectivamente.

A ZCIT é o mais importante sistema gerador de precipitação da região equatorial e é responsável pela modulação dos ventos alísios e caracterização da estação chuvosa no Estado. Definida como uma banda de nuvens na região de convergência entre os ventos alísios de nordeste e sudeste, apresenta movimento sazonal, posicionando-se mais ao norte do Atlântico Equatorial entre os meses de agosto e setembro e mais ao sul durante março e abril, em anos considerados normais[17]. Na Figura 2.7, observa-se a modulação mensal da ZCIT, conforme dados médios mensais de velocidade do vento a 50 m de altura do *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2* – MERRA2[18], para o período de 1980 a 2018.



ILUSTRAÇÃO/*ILLUSTRATION*: LEO GIBRAN

FIGURA 2.6 Zona de Convergência Intertropical.

FIGURE 2.6 *Intertropical Convergence Zone.*

A migração da ZCIT faz com que os ventos alísios enfraqueçam ou se intensifiquem sobre o Ceará. Conhecida também como uma zona de ventos calmos (*doldrums*), tende a reduzir a velocidade do vento quando se aproxima do Estado, e a intensificá-la quando se afasta.

Similarmente, o regime de chuvas no Ceará está ligado ao movimento sazonal da ZCIT. Tratando-se de uma banda de convecção com altos índices de precipitação, provoca chuvas generalizadas,

Despite being categorized according to its spatial or temporal scope, the wind in one place is formed by the composition of atmospheric circulations at different scales, being shaped by the interaction with the land surface and orography[4].

2.1.2 WIND PARAMETERS AND MEASURING INSTRUMENTS

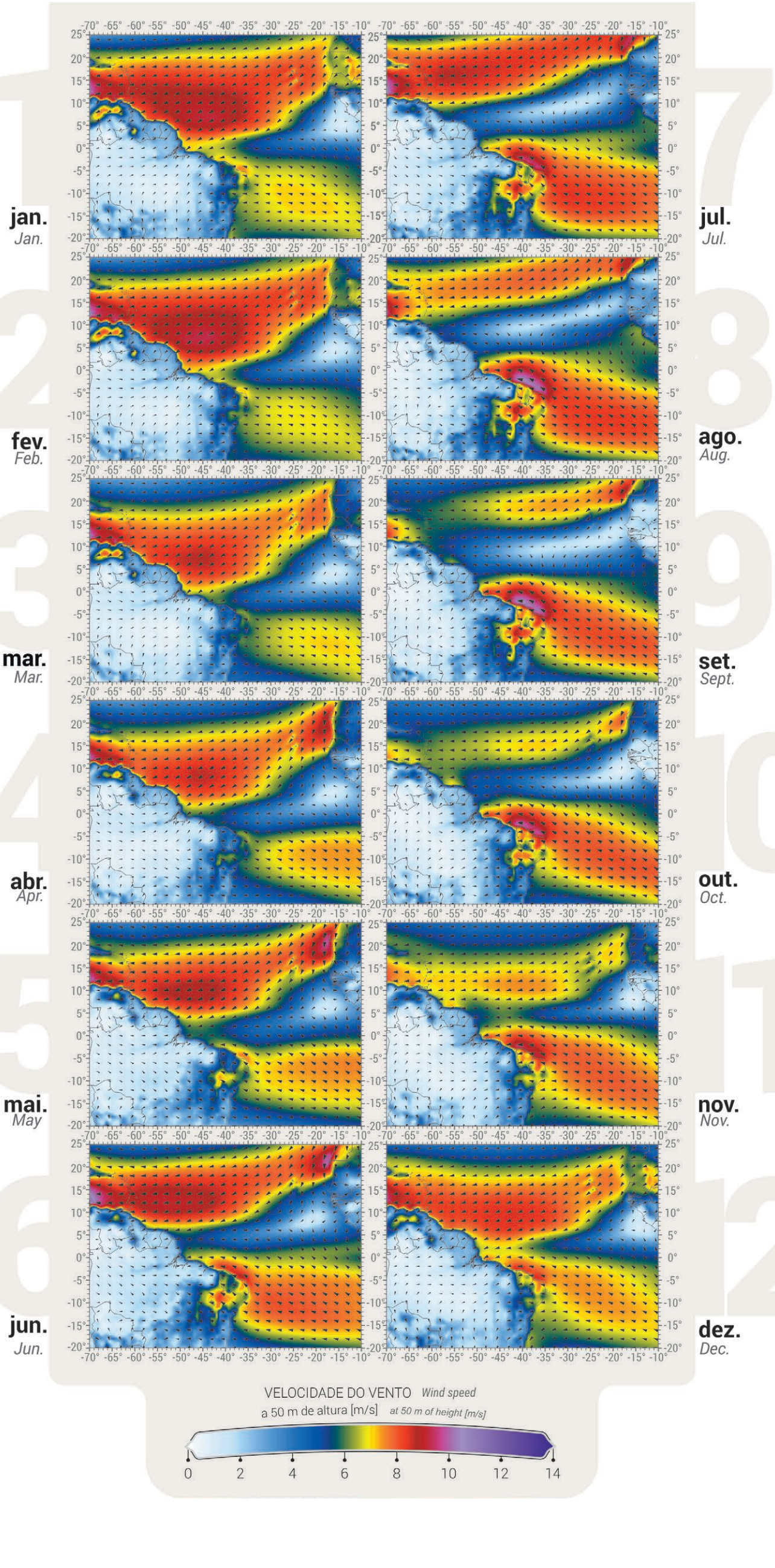
The electrical energy converted from the kinetic energy of the moving air masses is called wind energy. The assessment of a region's wind energy potential is, therefore, based on measurements of wind speed and direction, in addition to specific meteorological parameters for calculating the kinetic energy of the air, such as pressure, temperature, and relative humidity. These measurements are used throughout all phases of the development of a wind energy project, from prospecting favorable sites to wind energy generation, to determining the design characteristics of a wind farm (size, layout, choice of turbines), to providing data for forecasting models and statistical analysis for the commercialization, operation, and maintenance of the power plants.

Figure 2.4 shows the main parameters measured in wind measurement campaigns, related to their respective measuring instruments, or collection or calculation methods. Figure 2.5 shows the schematic of a typical anemometric station with the main sensors. In Brazil, the Energy Research Office – EPE – regulates the specification of these stations for the participation of projects in the Electricity Auctions[5] and publishes a good practices guide for their installation[6]. Other recommendations are published by the International Electrotechnical Commission – IEC – 61400-12-1 standard[7],[8], which contains recommendations on measuring sensors, the correct position and installation on the anemometric tower, data quality parameters, among other information. While the Measuring Network of Wind Energy Institutes – MEASNET presents guidelines to be used in the process of assessing local wind conditions, focusing on measured data, as well as procedures and guidelines for wind tunnel anemometer calibration and the accreditation of measurement institutes in several countries[9].

2.1.3 WIND SPEED UNCERTAINTY

A fundamental requirement for the success of a wind energy project is the correct quantification of uncertainties in estimating energy production[14]. Uncertainty in wind resource assessment is the main source of uncertainty in estimating the energy production of these projects, and it results from the combination of the following portions: measurement uncertainties (anemometric and tower installation configuration), uncertainty in wind regime variability, uncertainty in long-term estimation and climatology, and uncertainties in wind resource distribution from measurement towers (horizontal and vertical extrapolation to the site and rotor height of each wind turbine that comprises the park)[15]. The uncertainty in estimating energy production is calculated by the contributions of wind uncertainties converted into energy (dependent on the turbine performance curves and local wind distribution), combined with the power curve uncertainty and the uncertainty in calculating losses due to aerodynamic interference losses between turbines.

As the energy production of a wind power plant is proportional to the wind speed cubed, the uncertainties in measuring the resource have a major impact on the financial return of these projects. Errors associated with measuring equipment are estimated by sensor classification and calibration, as well as the evaluation of the installation arrangement on the anemometric tower. The class of cup anemometers is currently regulated by IEC 61400-12-1[7],[8], and their calibration must be performed by an institution that adopts the calibration procedures defined by MEASNET[16]. IEC has guidelines for the installation and assembly of equipment on the anemometric tower, aiming to quantify and mitigate external influences on measurements. As for the modeling of the wind regime in the project area (horizontal and vertical extrapolations from spot measurements from the tower to the site and the turbines' nacelle height), numerical models that adequately solve the atmospheric flow should be used, considering the modeling of the mesoscale and microscale mechanisms (topography and roughness) with a resolution compatible with the complexity of the terrain and the thermal effects on the atmospheric boundary layer.



2.1.4 CEARÁ WIND REGIMES

Situated in the tropical region and close to the equatorial line, the State of Ceará has its climate influenced mainly by the ITCZ (Figure 2.6), on a global scale, and by the proximity of the Atlantic Ocean along its 573 km coastline, on a regional scale. With less intensity, mesoscale influences occur in complex topography locations, such as in the Serra da Ibiapaba *and the* Chapada do Araripe*, in the western and southern borders of the State, respectively.*

The ITCZ is the most important precipitation generating system of the equatorial region and it is responsible for the modulation of trade winds and the characterization of the rainy season in the State. Defined as a cloud band in the region of convergence between the northeast and southeast trade winds, it presents seasonal movement, positioning itself further north of the Equatorial Atlantic between August and September and further south during March and April, in years considered normal[17]. Figure 2.7 shows the monthly modulation of the ITCZ, according to monthly average wind speed data at a height of 50 m from the Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 – MERRA2[18], for the period from 1980 to 2018.

ITCZ migration weakens or intensifies trade winds over Ceará. Also known as a zone of light winds (doldrums), it tends to reduce wind speed when approaching the State, and to intensify it when moving away.

Similarly, the rainfall regime in Ceará is linked to the seasonal movement of the ITCZ. Since it is a convective band with high precipitation rates, it causes widespread rainfall, especially on the coast, when it moves to its southernmost position. In another moment, when it moves away from the State, it creates not particularly favorable conditions to the occurrence of precipitation and cloud formation.

Precipitation and cloudiness also affect solar radiation levels. In the rainy season, these levels are lower, mainly in the northern region of the State.

Regarding mesoscale circulations, the action of sea breezes on the wind regime on the coast of Ceará is relatively low, due to the predominance of trade winds, and it is almost always observed through a small variation in wind direction and speed[19]. Similarly, in continental regions, the direction of trade winds is only slightly altered because of the local orography, e.g., the mountainous regions.

The first half of the year in Ceará is, therefore, marked by rainfall, greater cloudiness and low wind and solar radiation intensity, while in the second half of the year prevail higher wind speeds, higher radiation rates, lower cloudiness, and low rainfall[20].

FIGURA 2.7 Velocidade média do vento a 50 m, elaborado a partir de dados do MERRA2[18] de jan/1980 a dez/2018.

FIGURE 2.7 *Average wind speed at 50 m, elaborated from MERRA2[18] data, from Jan/1980 to Dec/2018.*

FIGURA 2.8 .

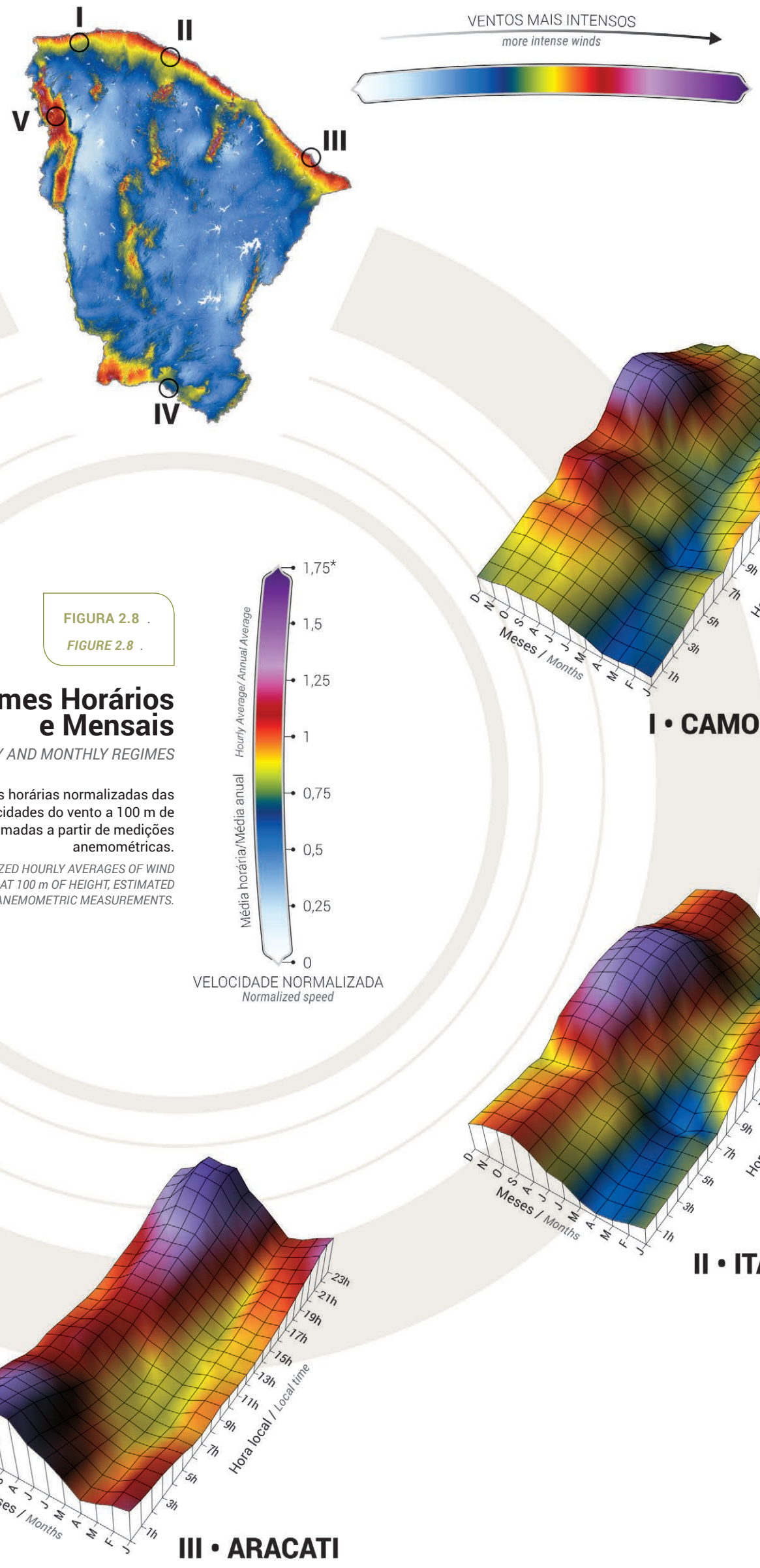
FIGURE 2.8 .

Regimes Horários e Mensais

HOURLY AND MONTHLY REGIMES

Médias horárias normalizadas das velocidades do vento a 100 m de altura, estimadas a partir de medições anemométricas.

NORMALIZED HOURLY AVERAGES OF WIND SPEED AT 100 m OF HEIGHT, ESTIMATED FROM ANEMOMETRIC MEASUREMENTS.



** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT.*

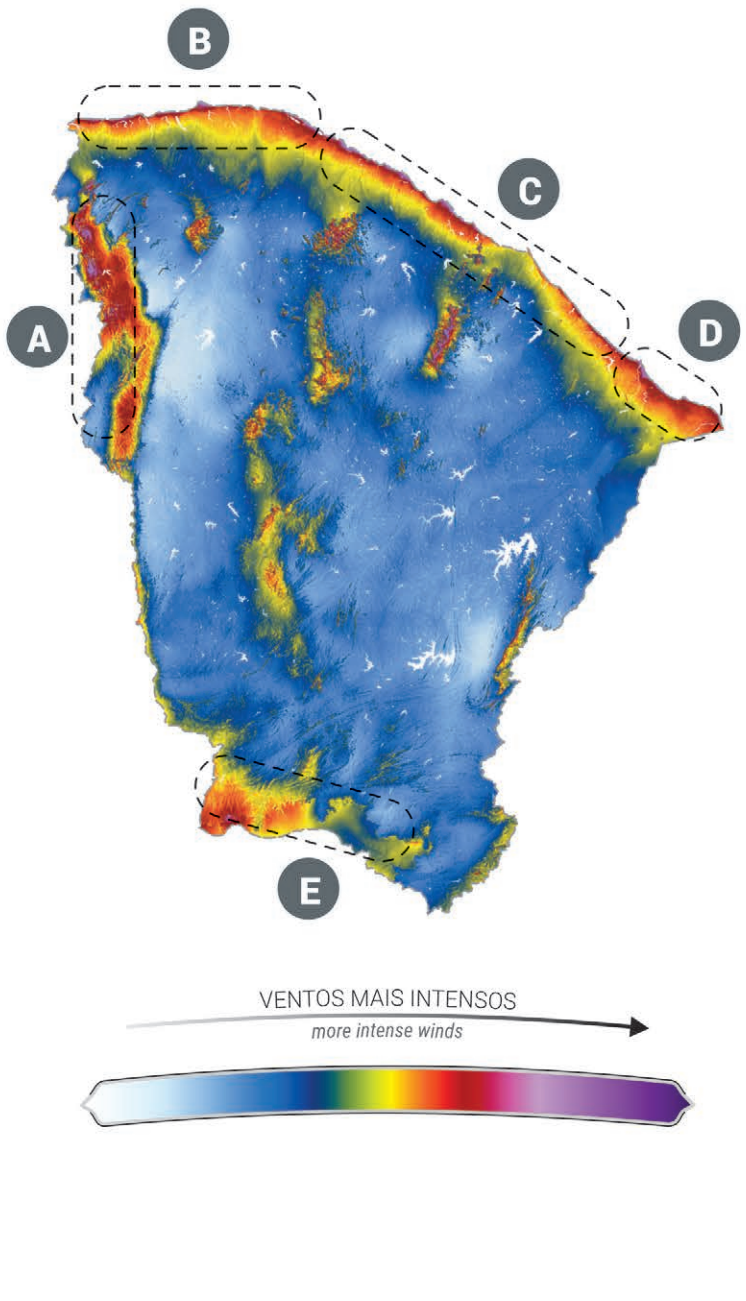
FIGURA 2.9 .
FIGURE 2.9 .

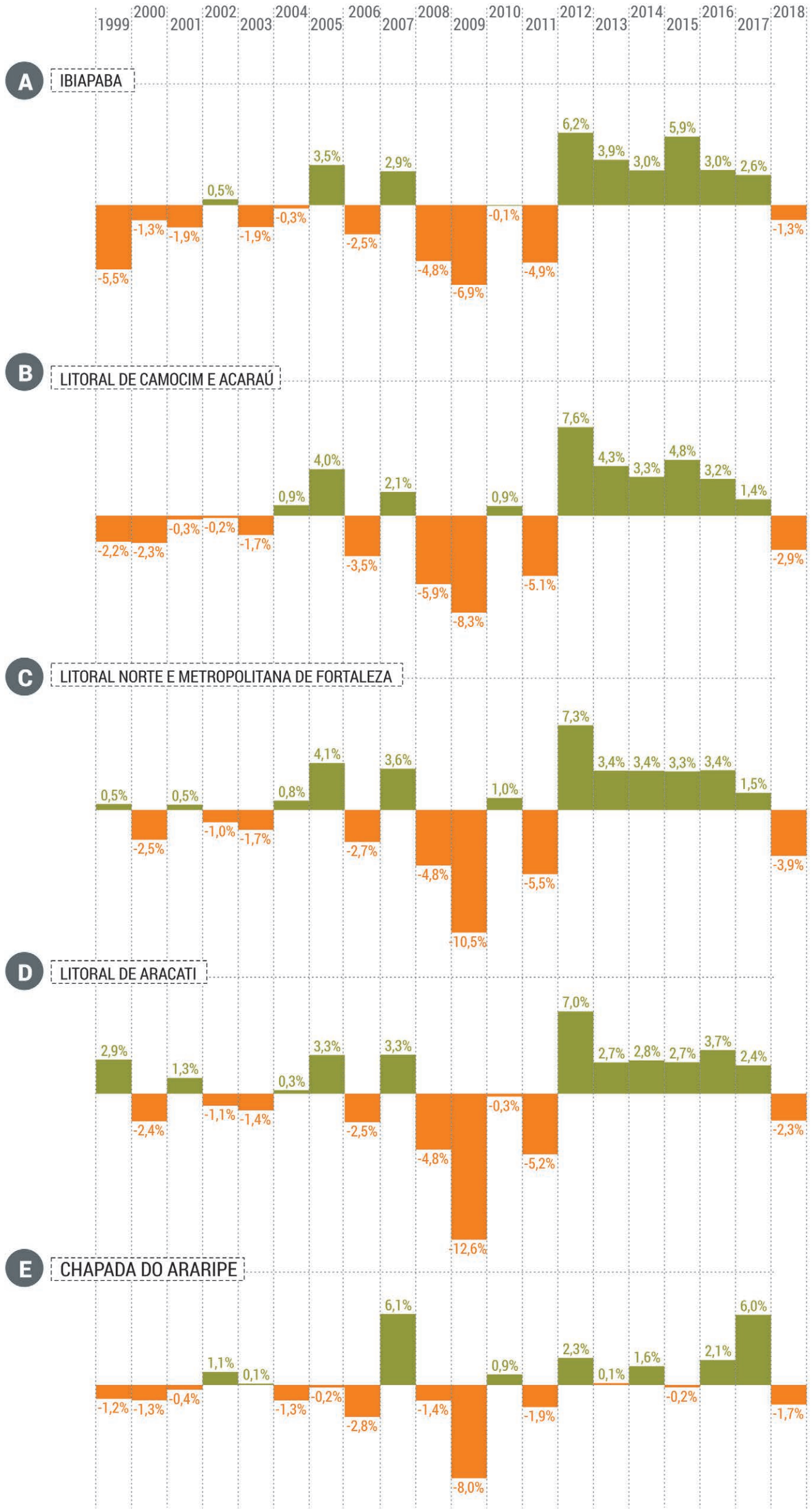
Regimes Interanuais

INTERANNUAL VARIABILITY

Variabilidade interanual da velocidade média do vento a 50 m de altura, calculado a partir de dados do MERRA2 (jan/1999 a dez/2018).

INTERANNUAL VARIABILITY OF THE AVERAGE WIND SPEED AT 50 m OF HEIGHT, CALCULATED FROM MERRA2 DATA (JAN/1999 TO DEC/2018).





principalmente no litoral, quando se desloca para sua posição mais austral. Em outro momento, quando se afasta do Estado, cria condições pouco favoráveis à ocorrência de precipitação e formação de nuvens.

A precipitação e a nebulosidade afetam também os níveis de radiação solar. Na estação chuvosa, esses níveis são menores, principalmente na região norte do Estado.

Com relação às circulações de mesoescala, a ação das brisas marinhas sobre o regime de vento no litoral do Ceará é relativamente baixa, devido à predominância dos ventos alísios, sendo quase sempre observada através de uma pequena variação na direção e velocidade do vento[19]. Similarmente, em regiões continentais, a direção dos ventos alísios é apenas levemente alterada como consequência da orografia local, p. ex. das regiões serranas.

O primeiro semestre do ano no Ceará é, portanto, marcado por chuvas, maior nebulosidade e baixa intensidade de vento e radiação solar, enquanto no segundo semestre prevalecem velocidades do vento mais altas, maiores índices de radiação, menor nebulosidade e baixa precipitação[20].

REGIMES HORÁRIOS

A Figura 2.8 apresenta, para diferentes regiões do Estado, os regimes horários médios normalizados da velocidade do vento a 100 m de altura em cada mês do ano, elaborado a partir de medições anemométricas.

As circulações de mesoescala tendem a intensificar os ventos nas regiões serranas (brisas vale-montanha), principalmente no período noturno. Medições em Ubajara, localizada na Serra da Ibiapaba, e em Crato, na Chapada do Araripe, indicam aceleração do vento após o pôr do sol e intensificação ao longo das primeiras horas do dia até o alvorecer do dia seguinte, quando a velocidade do vento decai com a instabilidade térmica da atmosfera.

Nas medições litorâneas em Camocim e Itapipoca, observam-se ventos com maior intensidade nos horários da tarde e início da noite, em decorrência da sobreposição dos ventos alísios (globais) com a brisa marítima (mesoescala), e menor intensidade no período noturno, com a sobreposição da brisa terrestre. De maneira oposta, há indícios de que características orográficas locais no litoral de Aracati, a leste do Estado, como a proximidade do Rio Jaguaribe, propiciem a ocorrência das maiores velocidades do vento à noite e no início da manhã, com a atuação da circulação atmosférica local conhecida como Vento Aracati[21].

REGIMES MENSAIS E SAZONAIS

Sazonalmente, o Ceará apresenta maiores velocidades do vento no segundo semestre do ano, quando a ZCIT encontra-se mais afastada em relação à sua posição na primeira metade do ano. Os ventos no Estado exibem altas velocidades médias durante o período seco, predominantemente de setembro a dezembro, e menores médias mensais no ápice do período chuvoso, de março a abril.

Mensalmente, as velocidades do vento distribuem-se como mostrado na Figura 2.8. Nas regiões litorâneas e de Ubajara, na Serra da Ibiapaba, observam-se, nos meses de setembro e outubro, as maiores velocidades médias mensais, e no mês de abril, as menores velocidades. Em Crato, localizado na região do Araripe, o pico máximo da velocidade ocorre em agosto e o mínimo em março.

Com relação à direção dos ventos, a variação temporal e espacial é relativamente baixa ao longo do território cearense, devido à predominância dos ventos alísios. Registram-se as maiores freqüências nos setores entre 60° e 120°, com tendência a maiores incidências de leste no norte do Estado e de sudeste no extremo sul.

As análises sobre a Figura 2.8 baseiam-se nas medições locais de torres anemométricas. Como o vento é sensivelmente influenciado pela topografia e vegetação em suas proximidades, características distintas podem ser observadas mesmo em regiões próximas aos pontos das medições, onde efeitos locais podem predominar sobre os de mesoescala.

No Capítulo 6, são apresentados os mapas eólicos representando as velocidades médias anuais a 80, 100, 120 e 150 m de altura. Os mapas foram calculados a partir de simulações de meso e microescala e representam a distribuição espacial do potencial eólico do Estado.

VARIABILIDADE INTERANUAL

Fenômenos globais acarretam variações interanuais no regime de circulação dos ventos. Alterações anômalas da temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico, como os eventos El Niño e La Niña ou as Oscilações Decadais do Pacífico, e do Oceano Atlântico, como o Dipolo do Atlântico[17],[22], acarretam variações no regime de circulação atmosférica.

A variabilidade interanual do regime de ventos no Ceará é apresentada na Figura 2.9. Os gráficos fundamentam-se em dados de reanálise do modelo global MERRA2[18], representando cinco regiões do Estado no período de 1999 a 2018. Os dados indicam variações mais significativas da velocidade do vento nas regiões litorâneas e na Serra da Ibiapaba, em comparação com a região da Chapada do Araripe.

Variações interanuais no regime de ventos podem impactar significativamente a produção eólica, como verificado em 2009, ano com grandes volumes de precipitação no Ceará, quando a velocidade média anual do vento atingiu um desvio negativo de 12% em algumas regiões (Figura 2.9), o que representaria um desvio negativo entre 20% e 25% na produção de energia de um parque eólico.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

2.2.1 Geometria Solar

Os movimentos da Terra em relação ao Sol (ou os movimentos aparentes do Sol em relação à Terra), determinam a quantidade de energia solar que chega à superfície terrestre (Figura 2.10). O entendimento dessa mecânica é, portanto, fundamental para se determinar a orientação dos sistemas de aproveitamento solar, o posicionamento dos painéis, assim como para se estimar a produtividade e dimensionar o tipo de tecnologia a ser aplicada, entre outras atividades vinculadas ao planejamento de aproveitamentos solares.

A porção da superfície terrestre sobre a qual incide radiação solar tem sua localização variável com o tempo, devido à rotação da Terra, no sentido de oeste para leste, definindo-se dias e noites. A inclinação do eixo a 23°27', em conjunto com o movimento de translação em torno do Sol, delimita os períodos do ano em que os hemisférios recebem quantidades distintas de radiação, denominados estações. Marca-se o início da primavera e do outono pelos equinócios e do verão e do inverno, pelos solstícios, conforme esquema da Figura 2.10.

HOURLY REGIMES

Figure 2.8 presents, for different regions of the State, the wind speed normalized average hourly regimes at a height of 100 meters in each month of the year, elaborated from anemometric measurements.

Mesoscale circulations tend to intensify winds in mountainous regions (valley-mountain breezes), especially in the nocturnal period. Measurements in Ubajara, located in the Serra da Ibiapaba*, and in Crato, in the* Chapada do Araripe*, indicate wind acceleration after sunset and intensification over the early hours of the day until the next day dawn, when wind speed decreases with the thermal instability of the atmosphere.*

In the coastal measurements in Camocim and Itapipoca, winds with higher intensity are observed in the afternoon and early evening hours, due to the overlapping of trade winds (global) with the sea breeze (mesoscale), and lower intensity in the nocturnal period, with the overlapping of the land breeze. Conversely, there are indications that local orographic characteristics on the Aracati coast, east of the State, such as the proximity of the Jaguaribe River, lead to higher wind speeds at night and early morning, with the action of the local atmospheric circulation known as Aracati Wind[21].

MONTHLY AND SEASONAL REGIMES

Seasonally, Ceará has higher wind speeds in the second half of the year, when the ITCZ is further away from its position in the first half of the year. The winds in the State exhibit high average speeds during the dry season, predominantly from September to December, and lower monthly averages at the height of the rainy season, from March to April.

Monthly, wind speeds are distributed as shown in Figure 2.8. In the coastal and Ubajara regions, the latter at Serra da Ibiapaba*, in the months of September and October, the highest monthly average speeds are observed, and in April, the lowest ones. In Crato, located in the Araripe region, the maximum speed peak occurs in August and the minimum in March.*

Regarding wind direction, the temporal and spatial variation is relatively low throughout the Ceará territory, due to the predominance of trade winds. The highest frequencies are recorded in the sectors between 60° and 120°, with a tendency to higher eastern incidences in the north of the State and southeastern in the extreme south.

The analyses on Figure 2.8 are based on local measurements of anemometric towers. As wind is noticeably influenced by the surrounding topography and vegetation in its proximities, distinct characteristics can be observed even in regions near the measurement points, where local effects may predominate over those of the mesoscale.

Chapter 6 presents wind maps that represent the average annual speeds at heights of 80, 100, 120, and 150 m. The maps were calculated from meso and microscale simulations and represent the spatial distribution of the wind resource of the State.

INTERANNUAL VARIABILITY

Global phenomena lead to interannual variations in the wind circulation regime. Anomalous surface temperature changes of the Pacific Ocean, such as the El Niño and La Niña events, or the Pacific Decadal Oscillations, and of the Atlantic Ocean, such as the Atlantic Dipole[17],[22], cause variations in the atmospheric circulation regime.

The interannual variability of the wind regime in Ceará is presented in Figure 2.9. The graphs are based on reanalysis data from the MERRA2 global model[18], representing five regions of the State from 1999 to 2018. The data indicate more significant wind speed variations in the coastal regions and in the Serra da Ibiapaba*, compared to the* Chapada do Araripe *region.*

Interannual variations in the wind regime can significantly impact wind power production, as observed in 2009, year with high volumes of precipitation in Ceará, when the average annual wind speed reached a negative deviation of 12% in some regions (Figure 2.9), which would represent a negative deviation between 20% and 25% in energy production of a wind farm.

2.2 Solar Radiation

2.2.1 SOLAR GEOMETRY

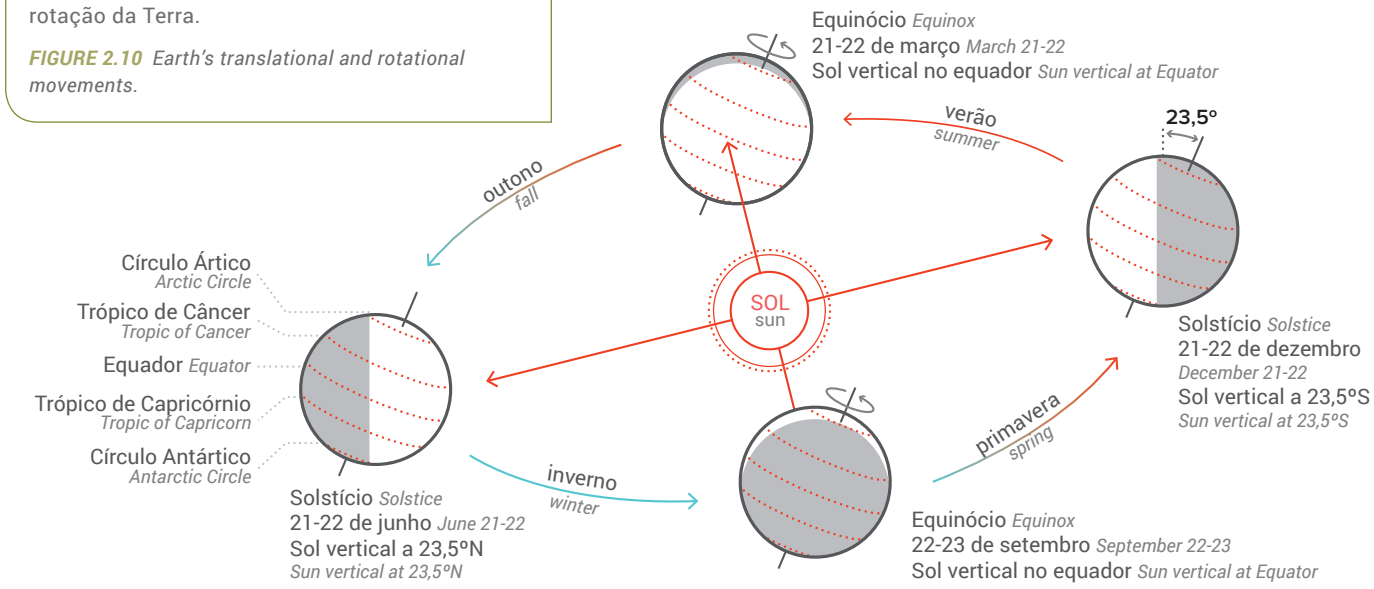
Earth's movement in relation to the Sun (or the apparent movements of the Sun in relation to the Earth) determine the amount of solar energy that reaches the surface of the Earth (Figure 2.10). The understanding of this mechanics is, therefore, crucial to determine the orientation of solar power systems, panel positioning, as well as to estimate productivity and determine the type of technology to be applied, among other activities related to the planning of solar projects.

The location at the Earth's surface on which solar radiation falls on varies over time due to the Earth's rotation, from west to east, thus defining days and nights. The inclination of the axis at 23°27', together with the translational movement around the Sun, delimits the periods of the year when the hemispheres receive distinct amounts of radiation, called seasons. The beginning of spring and fall is set by the equinoxes, and summer and winter by the solstices, as shown in the schematic in Figure 2.10.

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY

FIGURA 2.10 Movimentos de translação e de rotação da Terra.

FIGURE 2.10 *Earth's translational and rotational movements.*

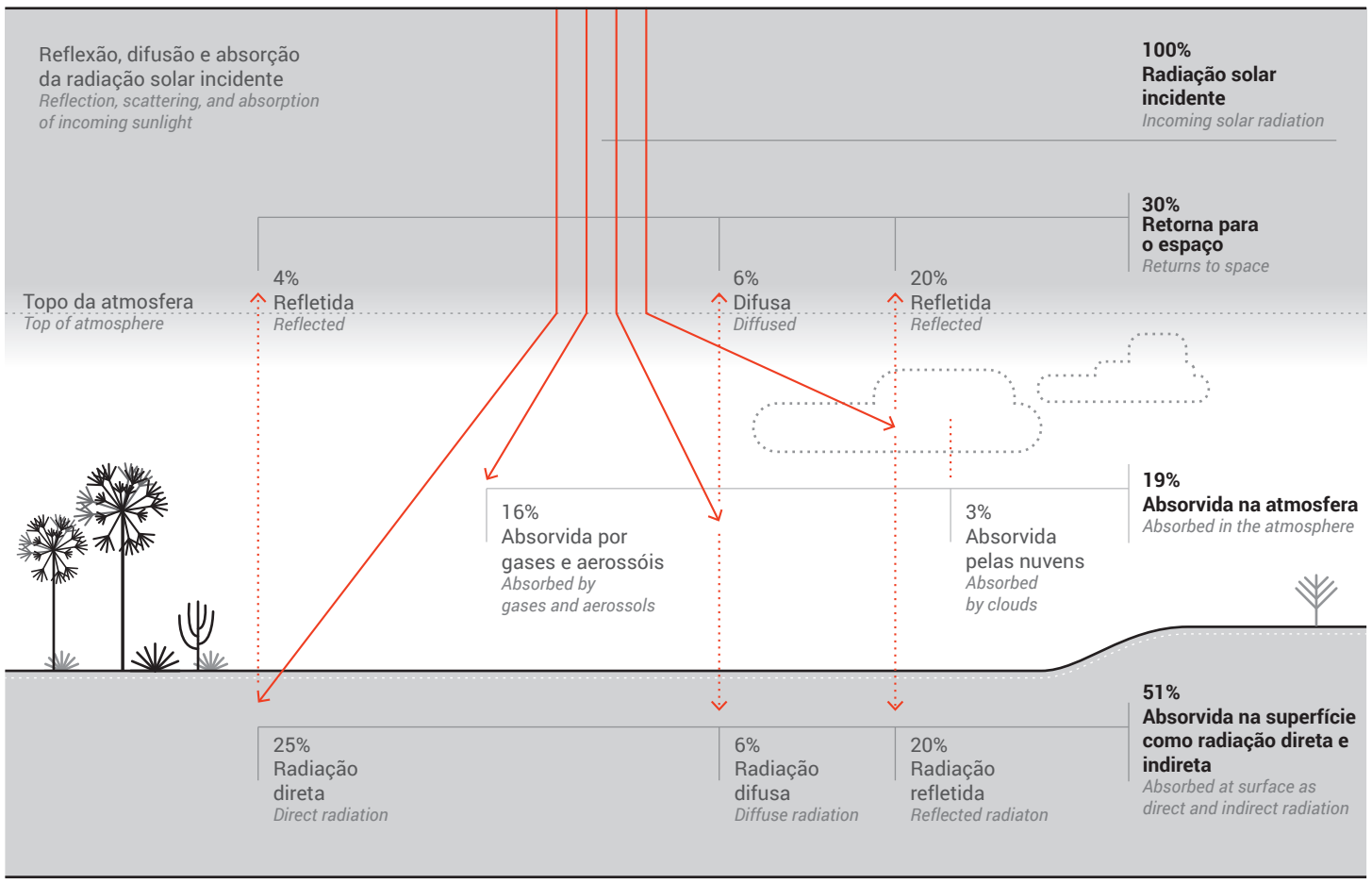


ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

FONTE / ***SOURCE***: ADAPTADO DE / ***ADAPTED FROM*** PEREIRA ET AL.[23]

FIGURA 2.11 Balanço da radiação solar*.

FIGURE 2.11 *Solar radiation balance**.



*VALORES PODEM VARIAR DE ACPRDO COM POSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS LOCAIS. ****VALUES MAY VARY ACCORDING TO POSITION AND LOCAL CHARACTERISTICS.***
FONTE / ***SOURCE***: ADAPTADO DE / ***ADAPTED FROM*** OKLAHOMA CLIMATOLOGICAL SURVEY[25].

2.2.2 Espectro Solar

A energia radiante do Sol, originária das reações de fusão nuclear no seu interior, é emitida na forma de ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos. Estas ondas variam, predominantemente, do ultravioleta – UV, passando por todo o espectro da radiação visível, ao infravermelho. Apresenta-se na Figura 2.12 a distribuição espectral da radiação solar que incide no topo da atmosfera e seu decaimento devido à absorção por elementos encontrados no meio, como o ozônio (O_3), o oxigênio (O_2), o vapor d'água (H_2O) e o gás carbônico (CO_2). A radiação solar que chega à superfície terrestre depende da concentração desses elementos e, portanto, das condições meteorológicas[24].

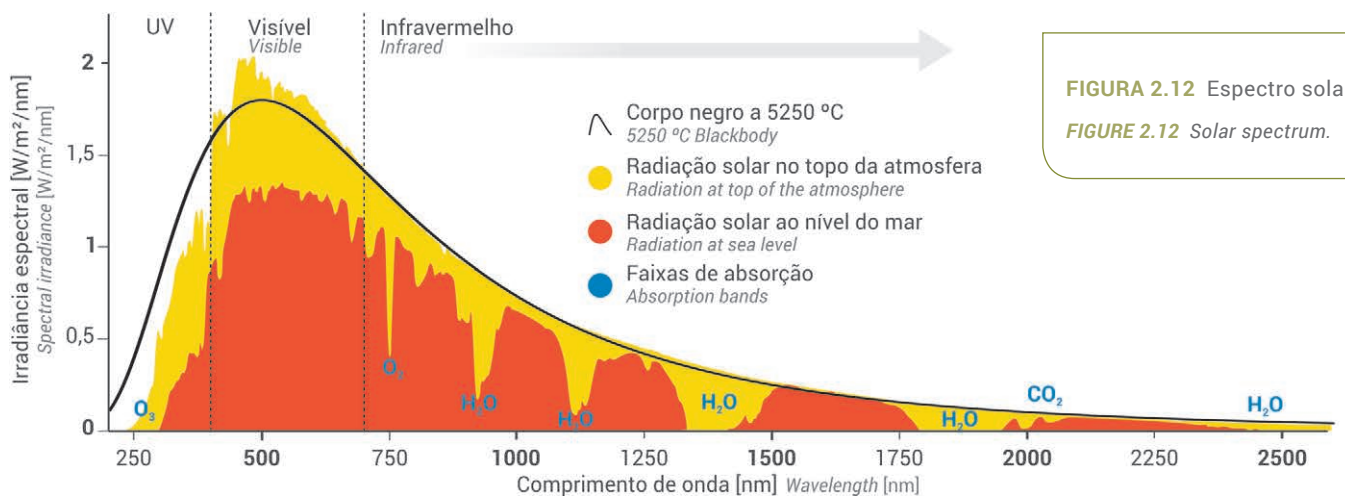


FIGURA 2.12 Espectro solar.

FIGURE 2.12 *Solar spectrum.*

2.2.2 SOLAR SPECTRUM

The Sun's radiant energy, originating from nuclear fusion reactions within it, is emitted as electromagnetic waves of different lengths. These waves vary predominantly from ultraviolet – UV, through the entire spectrum of visible radiation, to infrared. Figure 2.12 shows the spectral distribution of solar radiation that falls on the top of the atmosphere and its decay due to absorption by elements found therein, such as ozone (O_3), oxygen (O_2), water vapor (H_2O) and carbon dioxide (CO_2). The solar radiation that reaches the surface of the Earth depends on the concentration of these elements and, therefore, meteorological conditions[24].

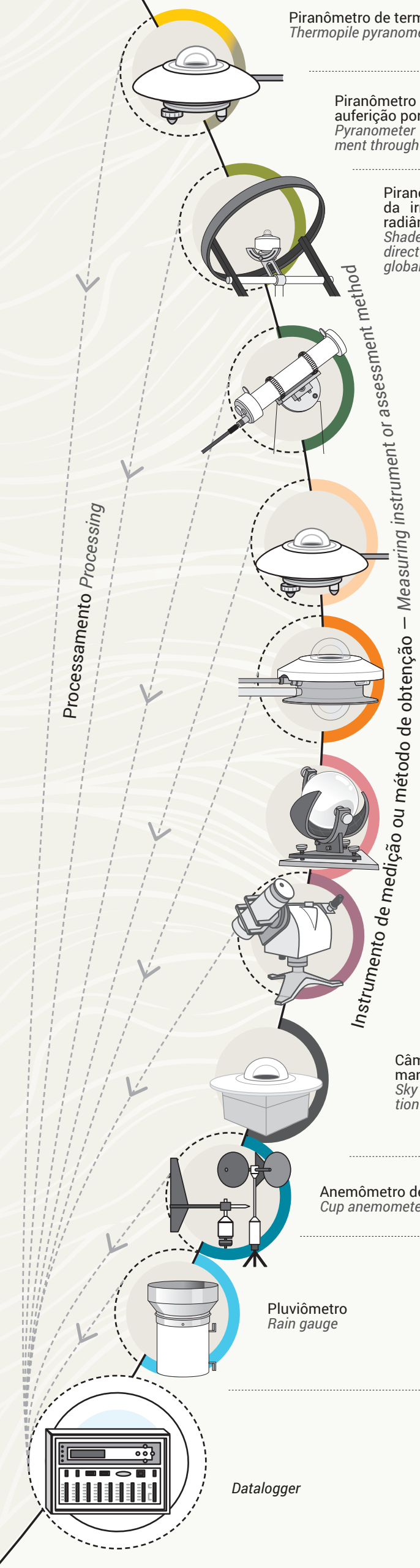
FIGURA 2.13 Parâmetros e instrumentos utilizados para caracterizar a radiação solar.

FIGURE 2.13 *Parameters and instruments used to assess solar radiation.*

FONTE/*SOURCE:* HALLIDAY et al[10], OMM[11], AMONIT[12], CAMARGO-SCHUBERT[13]

Descrição *Description*	Utilização *Application*	Parâmetros de Radiação Solar *Solar Radiation Parameters*
Radiação solar total incidente em uma unidade de área de superfície horizontal; soma da irradiância normal direta e da irradiância difusa horizontal. *Total solar radiation incident on an area unit of horizontal surface; sum of the direct normal irradiance and the diffuse horizontal irradiance.*	Caracterizar o recurso para projetos de aproveitamento solar. *Assess the resource for solar energy projects.*	Irradiância Global Horizontal – GHI [W/m²] *Global Horizontal Irradiance – GHI [W/m²]*
Radiação solar total incidente em uma unidade de área de superfície inclinada. *Total solar radiation incident on an area unit of inclined surface.*	Determinar a inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos para maximizar a captação da irradiação solar, a qual varia, por sua vez, com a localização e o layout do projeto. *Determine the ideal inclination of the photovoltaic modules to maximize the capture of solar irradiation, which varies by the project location and layout.*	Irradiância Total no Plano Inclinado – POA [W/m²] *Global Irradiance on a Tilted Plane – POA [W/m²]*
Radiação solar difusa incidente em uma unidade de área de superfície horizontal. *Diffuse solar radiation incident on an area unit of horizontal surface.*	Auxiliar na escolha da tecnologia de aproveitamento solar mais adequada e estimar as componentes global, direta e difusa da irradiância. *Help selecting the most suitable solar energy technology and estimate the global, direct and diffuse irradiance components.*	Irradiância Difusa Horizontal – DHI [W/m²] *Diffuse Horizontal Irradiance – DHI [W/m²]*
Radiação solar diretamente incidente em uma unidade de área normal (perpendicular) aos raios solares. *Solar radiation directly incident on an area unit normal (perpendicular) to solar rays.*	Dimensionar os sistemas heliotérmicos – CSP – ou fotovoltaicos de concentração – CPV. *Dimension CSP or concentrator photovoltaic – CPV – systems.*	Irradiância Normal Direta – DNI [W/m²] *Direct Normal Irradiance – DNI [W/m²]*
Porção da radiação incidente na Terra que é emitida pela superfície na forma de radiação infravermelha distante. *Portion of the radiation incident on Earth that is emitted by the surface in the form of distant infrared radiation.*	Influencia na radiação trocada entre o meio ambiente e o equipamento de conversão de energia, quando em alta temperatura. Há aplicações também em ciências ambientais e em estudos de balanço de energia. *Influences the radiation exchanged between the environment and the energy conversion equipment, when it is at high temperature. There are further applications in environmental sciences and energy budget studies.*	Radiação de Onda Longa *Longwave Radiation*
Razão entre a irradiância refletida por uma superfície e a irradiância total incidente. Varia de zero (absorção total) a 1 (reflexão total) e é função da frequência e direção da radiação solar incidente. Pode ser descrito em dois tipos: direcional, ou de céu negro (refletância de uma superfície exposta a uma radiação direta), e hemisférico, ou de céu branco (refletância de uma superfície exposta à radiação solar difusa). *Ratio between the irradiance reflected by a surface and the total incident irradiance. It ranges from zero (total absorption) to 1 (total reflection) and it is a function of the frequency and direction of the incident solar radiation. It can be described in two types: directional, or dark-sky (reflectance of a surface exposed to direct radiation), and hemispheric, or white sky (reflectance of a surface exposed to diffuse solar radiation).*	Caracterizar a radiação refletida que incide sobre os equipamentos de conversão de energia. *Assess the reflected radiation with incidence on the energy conversion equipment.*	*Albedo[%]*
Diferença entre a irradiância total incidente e a irradiância refletida por uma superfície. *Difference between the total incident irradiance and the irradiance reflected by a surface.*		Radiação Solar Líquida [W/m²] *Net Solar Radiation [W/m²]*
Número de horas, durante o dia, que a irradiância solar direta em uma região é superior a 120 W/m². *Number of hours in daytime upon which direct solar irradiance in a region exceeds 120 W/m².*	Quantificar a insolação solar e servir de base para aplicações em agrometeorologia, biologia e meteorologia. *Quantify the solar insolation and serve as basis for agrometeorology, biology and meteorology applications.*	Horas de sol ou insolação total *Sunshine duration or daily sunshine hours*
Capacidade dos aerossóis (partículas sólidas ou líquidas em suspensão) de absorver e espalhar a radiação incidente no meio em que estão inseridos. *Capability of aerosols (solid or liquid particles in suspension) to absorb and spread the incident radiation in the media into which they are inserted.*	Utilizada na parametrização de modelos numéricos e inversos para estimativa da radição difusa na atmosfera. *Used in the parameterization of numerical and inverse models to estimate the diffuse radiation in the atmosphere.*	Profundidade Óptica de Aerossóis – AOD *Aerosol Optical Depth – AOD*
Fração da cúpula celeste coberta por nuvens visíveis. *Fraction of the celestial dome covered by visible clouds.*	Servir de base para estudos e pesquisas específicos. Para aplicações em energia solar, o impacto da nebulosidade já é incorporado por medidas de outros sensores. *Serve as basis for specific studies and research. For solar energy applications, the impact of cloudiness is already incorporated in the measurements made by other sensors.*	Nebulosidade [oktas ou %] *Cloud cover [oktas or %]*
Ver Figura 2.4 *See Figure 2.4*	Estimar o fluxo de arrefecimento de equipamentos de conversão fotovoltaicos, para melhora da eficiência. Estimar as perdas térmicas e dimensionamento estrutural em sistemas heliotérmicos. *Estimate the cooling flow in photovoltaic conversion equipment to improve efficiency. Estimate thermal losses and structural dimensions in CSP systems.*	Velocidade [m/s] e direção do vento [°] na altura do solo *Wind speed [m/s] and direction [°] at ground level*
Quantificação das chuvas em determidado período de tempo. *Quantification of the rainfall at a given time.*	Complementar a caracterização climática através de correlações com a nebulosidade, temperatura e com os níveis de insolação. *Complement the climatic characterization through correlations with the cloud cover, temperature and insolation levels.*	Precipitação [mm] *Rainfall [mm]*

Obtenção do parâmetro
Parameter assessment



	Como funciona *How it works*
Piranômetro de termopilha *Thermopile pyranometer*	Variação diferencial das correntes ou tensões em uma termopilha (termopares em série) com junções expostas ao sol e à sombra, tomada como referência. *Differential variation of currents or tensions in a thermopile (thermocouples in series) with junctions exposed to sunlight and shade, taken as reference.*
Piranômetro sobre superfície inclinada, ou auferição por modelos matemáticos. *Pyranometer on tilted surface, or measurement through mathematical models.*	
Piranômetro sombreado ou subtração da irradiância normal direta da irradiância global horizontal. *Shaded pyranometer or subtraction of direct normal irradiance from horizontal global irradiance.*	Sistema de sombreamento acoplado a um piranômetro para bloquear a radiação solar direta. *Shading system coupled to a pyranometer to block direct solar radiation.*
Pireliômetro, ou inferição a partir dos dados de GHI e DHI. *Pyreliometer or inference from GHI and DHI data.*	Termopilha exposta na direção dos raios solares com o auxílio de um rastreador. Ou a relação dos dados de GHI e DHI com o ângulo solar zenital: *Thermopile exposed in the direction of solar rays aided by a tracker. Or the relation of GHI and DHI data to zenith solar angle:* $DNI = \frac{GHI - DHI}{\cos\theta_z}$ (Ver descrição do ângulo zenital na Figura 2.15) *(See description of zenith angle in Figure 2.15)*
Pirgeômetro *Pyrgeometer*	Termopilha sensível apenas à radiação com comprimento de onda aproximadamente maior que 4,5 µm. *Thermopile sensitive only to radiation with a wavelength greater than 4,5 µm, approximately.*
Albedômetro ou medições indiretas por satélite e modelos matemáticos. *Albedometer or indirect satellite measurements and mathematical models.*	Dois piranômetros posicionados em orientações opostas (um virado para cima para captar a radiação incidente e outro para baixo para captar a radiação refletida pela superfície). *Two pyranometers positioned in opposite directions (one facing up to capture the incident radiation and the other down to capture the radiation reflected by the surface).*
Heliógrafo de Campbell Stokes *Campbell Stokes heliograph*	Queima de uma fita de papel ao longo de seu comprimento, pela radiação solar concentrada por uma esfera de vidro. *Burning of a paper tape along its length through solar radiation concentrated by a glass sphere.*
Radiômetro de filtro e fotômetro solar *Filter radiometer and solar photometer*	Sensor posicionado para captar a radiação solar direta em diferentes comprimentos de onda, com o auxílio de um rastreador e filtros óticos. *Sensor positioned to capture direct solar radiation at different wavelengths, aided by a tracker and optical filters.*
Câmera do céu, fotografias, observação manual ou análises de imagens de satélite. *Sky camera, photographs, manual observation or satellite imagery analysis.*	Divisão da cúpula celeste em partes (oktas ou porcentagem) e classificação do céu de acordo com a escala da Figura 2.18. *Division of the celestial dome into parts (oktas or percentage) and classification of the sky according to the scale in Figure 2.18.*
Anemômetro de copo e wind vane *Cup anemometer and wind vane*	Ver Figura 2.4 *See Figure 2.4*
Pluviômetro *Rain gauge*	No pluviômetro automático, atualmente utilizado em estações meteorológicas, a chuva é coletada por um funil e depositada e descarregada alternadamente pelas divisões de um recipiente basculante. *In the automatic rain gauge, currently used in meteorological stations, rain is collected through a funnel, then it is dropped and discharged alternately by divisions in a tilting vessel.*
Datalogger	Ver Figura 2.4 *See Figure 2.4*

ELABORAÇÃO/*PREPARATION*: CAMARGO-SCHUBERT

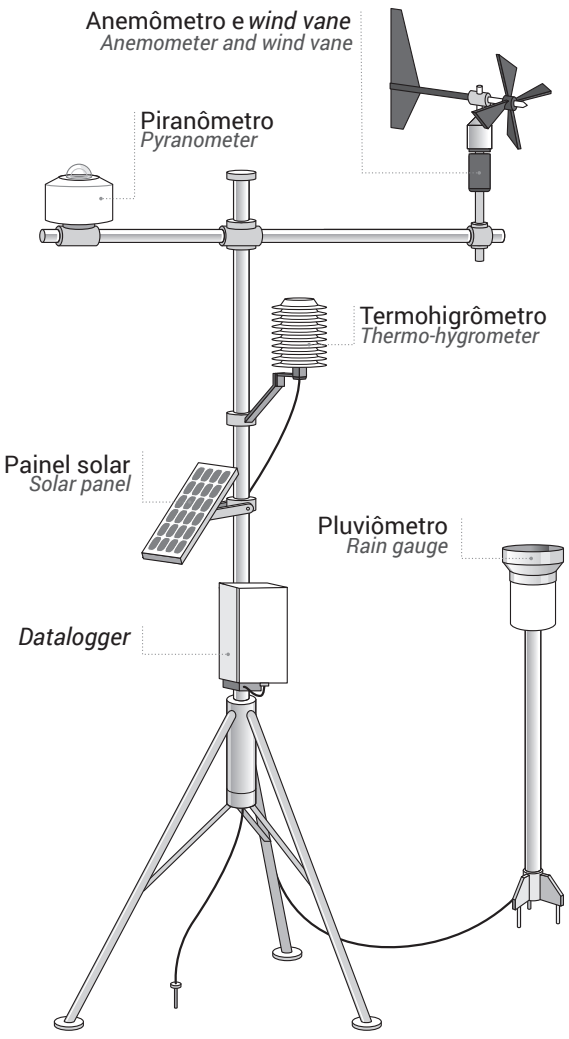
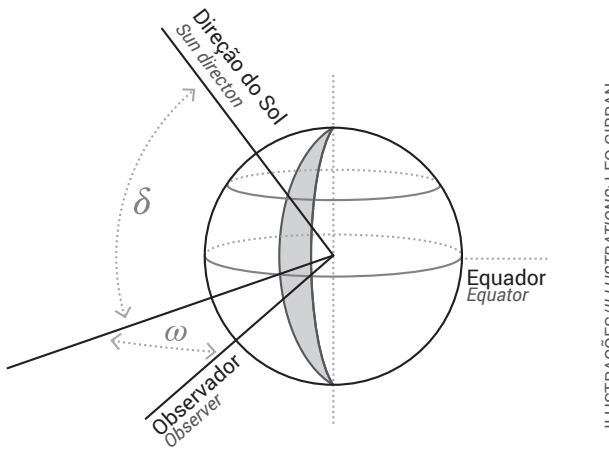


FIGURA 2.14 Estação solarimétrica típica.
FIGURE 2.14 *-Typical solarimetric station.*



ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

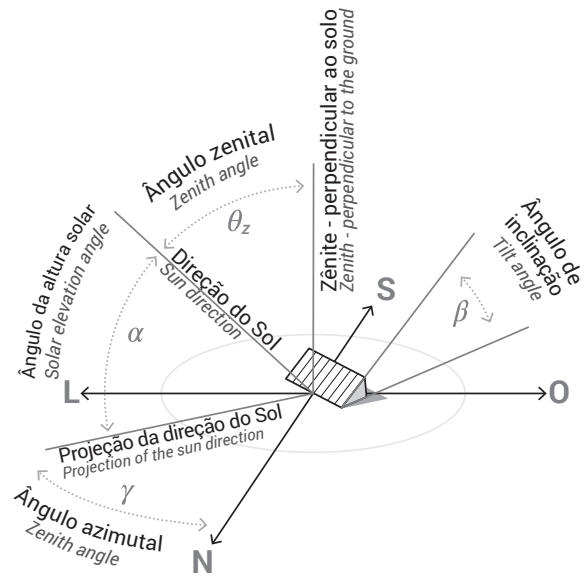
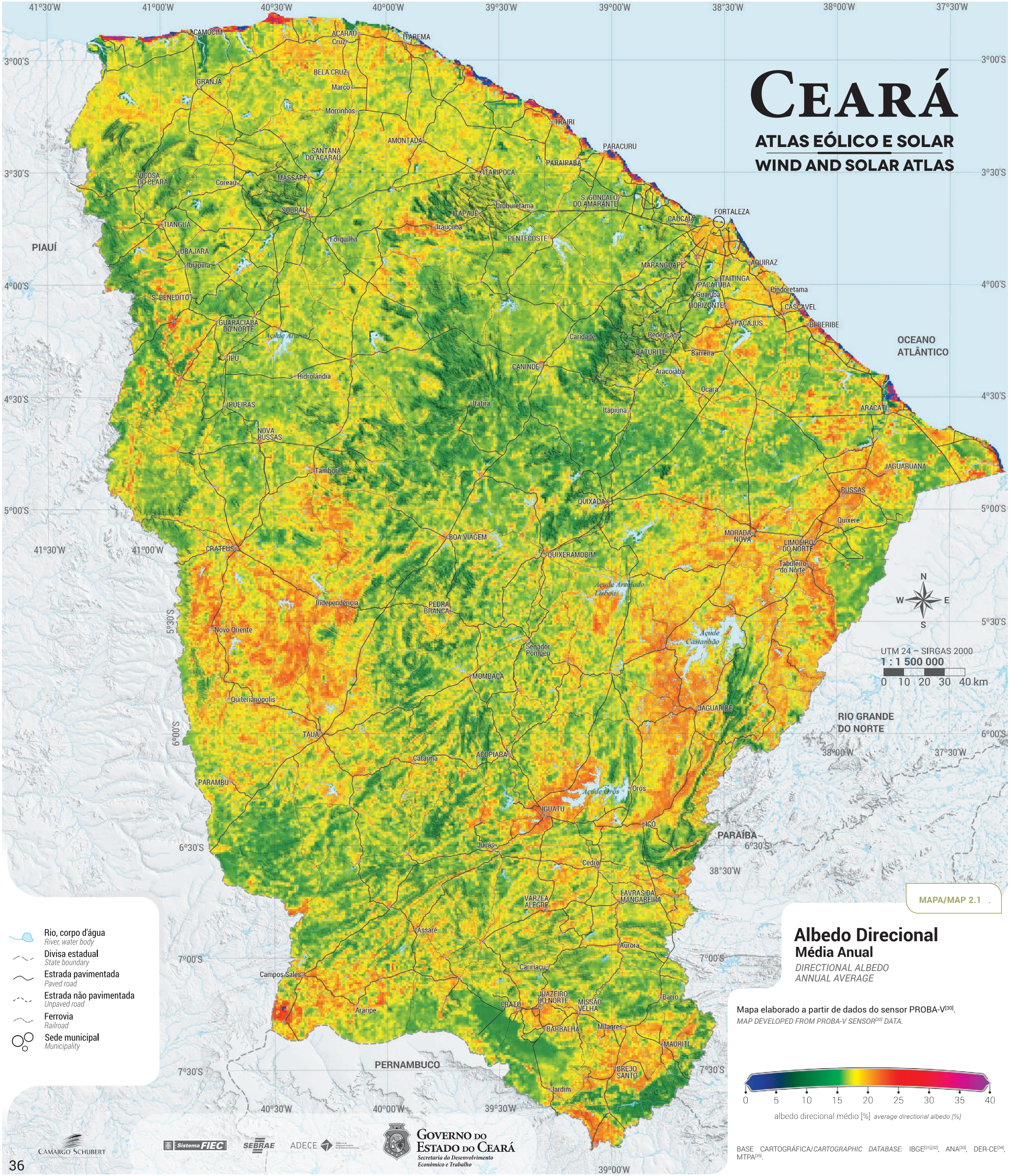


FIGURA 2.15 Ângulos notáveis em energia solar.
FIGURE 2.15 *Notable angles in solar energy.*

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 2.1 .

Albedo Direcional
Média Anual

DIRECTIONAL ALBEDO
ANNUAL AVERAGE

Mapa elaborado a partir de dados do sensor PROBA-V[30].
MAP DEVELOPED FROM PROBA-V SENSOR[30] DATA.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[31],[32], ANA[33], DER-CE[34], MTPA[35].

CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY

2.2.3 Parâmetros de Radiação e Instrumentos de Medição

Parte da radiação solar que chega no topo da atmosfera é absorvida por gases, aerossóis e nuvens (19%). Uma segunda parte é refletida (aprox. 30%) e uma terceira (51%) é absorvida pela superfície, conforme mostra a Figura 2.11[25].

A quantidade de energia incidente do Sol que atinge uma unidade de área de uma superfície é chamada de irradiância – G, sendo definida em [W/m²], e pode ser expressa através de três componentes principais: Irradiância Normal Direta – DNI, Irradiância Difusa Horizontal – DHI e Irradiância Global Horizontal – GHI. A irradiância integrada em um intervalo de tempo chama-se irradiação solar [W/m²/tempo], determinada em [kWh/m²] ou [J/m²].

A Figura 2.13 descreve os principais parâmetros de radiação solar e instrumentos de medição relevantes para análises ou estimativas de potencial energético, seguida pelo mapa de albedo direcional (Mapa 2.1). Na Figura 2.14, é ilustrada uma estação solarimétrica típica com seus principais sensores. Assim como o faz para as estações anemométricas (ver Item 2.1.2), a EPE regulamenta, no Brasil, a instrumentação mínima dessas estações para a participação nos Leilões de Energia Elétrica[26].

Internacionalmente, as referências mais utilizadas para medições meteorológicas aplicadas à energia solar são a IEC 61724-1[27], o Manual de Boas Práticas do *National Renewable Energy Laboratory* – NREL[28], o guia da Organização Meteorológica Mundial – OMM[11] – e as especificações e classificações dos sensores pela *International Organization for Standardization* – ISO 9060[29].

2.2.4 Incerteza das Medições da Radiação Solar

As incertezas na quantificação da radiação solar afetam todas as etapas de um projeto de aproveitamento, desde o dimensionamento inicial até a previsão de geração, influenciando diretamente no retorno financeiro dos investimentos. As incertezas são compostas por diversas componentes, notadamente: as incertezas de medição, para as quais contribui o tempo medido e a qualidade das instalações; as incertezas inerentes à variabilidade da irradiância solar; as incertezas do modelo de simulação climática (especialmente se consideradas medições indiretas); e as incertezas dos modelos matemáticos, envolvendo a decomposição da GHI e a transposição das estimativas do recurso solar do local de medição para o local da usina ou do plano do coletor[36].

A incerteza de medição do recurso solar é associada à classe e à calibração dos equipamentos utilizados. Os piranômetros são classificados, atualmente, de acordo com a ISO 9060:2018[29] e a OMM[11]. Quando as estimativas envolvem modelos de Previsão Numérica do Tempo (*Numerical Weather Prediction* – NWP), devem ser contempladas incertezas associadas aos processos de simulação, dependentes, por sua vez, da topografia local (como a proximidade com corpos d'água e regiões serranas) e das características atmosféricas (como a quantidade de aerossóis, vapor d'água e nebulosidade)[37]. Quando são utilizadas medições indiretas por satélites, susceptíveis à concentração de nuvens e aerossóis, e às características do relevo e do albedo, devem ser consideradas fontes de incertezas adicionais[38].

2.2.5 Regimes de Radiação no Ceará

DIAGRAMA SOLAR

Apresenta-se na Figura 2.16 a variação média anual da posição aparente solar ao longo do ano, representando-se as trajetórias limites (solstícios de inverno e verão) e as intermediárias (equinócios de outono e primavera), a partir da parametrização das equações solares. Os diagramas solares mostram que há pouca diferença entre as trajetórias anuais do sol das seis regiões analisadas, mesmo comparando-se aquelas de diferentes latitudes. As máximas elevações solares observadas ao meio dia também apresentam variação pequena entre o verão e o inverno, de cerca de 10°.

REGIMES INTERANUAL E INTRA-ANUAL

Apresenta-se a variabilidade interanual e a intra-anual da radiação no Ceará nos gráficos da Figura 2.17, fundamentadas em dados de reanálise do modelo global MERRA2[18], representando seis cidades do Estado no período de 1998 a 2017.

Apesar da variabilidade intra-anual da radiação depender da latitude e de particularidades da região, como relevo, vegetação e composição atmosférica, os dados indicam pouca variação entre as cidades analisadas. Observam-se os maiores índices de radiação no mês de outubro e menor dispersão dos dados na segunda metade do ano.

As variações interanuais, por sua vez, são resultantes da ação de fenômenos climáticos globais. Destaca-se aqui o ano de 2009, também marcante no que se refere ao regime dos ventos, quando o desvio na radiação solar média foi maior que 5% nas cidades analisadas (Figura 2.17).

2.2.3 RADIATION PARAMETERS AND MEASURING INSTRUMENTS

Part of the solar radiation that reaches the top of the atmosphere is absorbed by gases, aerosols, and clouds (19%). A second part is reflected (approx. 30%) and a third part (51%) is absorbed by the surface, as shown in Figure 2.11[25].

The amount of incident energy from the Sun that reaches a surface area unit is called irradiance – G, being defined in [W/m²], and it can be expressed through three main components: Direct Normal Irradiance – DNI, Diffuse Horizontal Irradiance – DHI, and Global Horizontal Irradiance – GHI. The irradiance integrated in a time interval is called solar irradiation [W/m²/time], determined in [kWh/m²] or [J/m²].

Figure 2.13 describes the main solar radiation parameters and relevant measurement instruments for power potential analyses or estimations, followed by the directional albedo map (Map 2.1). In Figure 2.14, a typical solarimetric station with its main sensors is illustrated. Just as it does for anemometric stations (see Item 2.1.2), the EPE regulates, in Brazil, the minimum instrumentation of these stations for participation in Electricity Auctions[26].

Internationally, the most used references for meteorological measurements applied to solar energy are IEC 61724-1[27], the Manual of Good Practices of the National Renewable Energy Laboratory – NREL[28], the guide from the World Meteorological Organization – WMO[11] and the specifications and classifications of sensors by the International Organization for Standardization – ISO 9060[29].

2.2.4 UNCERTAINTY OF SOLAR RADIATION MEASUREMENTS

Uncertainties in quantifying solar radiation affect all stages of an exploitation project, from initial sizing to generation forecasting, directly influencing the financial return on investments. The uncertainties are composed of several components, notably: measurement uncertainties, to which the measured period and installation quality contribute; uncertainties inherent to solar irradiance variability; uncertainties of the climate simulation model (especially if indirect measurements are considered); and uncertainties of mathematical models involving GHI decomposition and estimated solar resource transposition from the measurement location to the plant site or collector plane[36].

The solar resource measurement uncertainty is associated with the class and with the calibration of the equipment used. Pyranometers are currently classified according to ISO 9060:2018[29] and WMO[11]. When the estimates involve Numerical Weather Prediction – NWP – models, uncertainties associated with simulation processes should be considered, which depend, in turn, on local topography (such as proximity to water bodies and mountainous regions) and atmospheric characteristics (such as the amount of aerosols, water vapor, and cloudiness)[37]. When indirect satellite measurements are used, which are susceptible to cloud and aerosol concentration, and to relief and albedo characteristics, additional uncertainty sources should be considered[38].

2.2.5 RADIATION REGIMES IN CEARÁ

SOLAR DIAGRAM

Figure 2.16 shows the average annual variation of the solar apparent position throughout the year, representing the limit trajectories (winter and summer solstices) and the intermediate trajectories (fall and spring equinoxes), based on the parameterization of solar equations. The solar diagrams show that there is little difference between the Sun's annual trajectories of the six regions analyzed, even when comparing those of different latitudes. The maximum solar elevations observed at noon also show a slight variation between summer and winter, of about 10°.

INTERANNUAL AND INTRA-ANNUAL REGIMES

The graphs in Figure 2.17 show the interannual and intra-annual variability of radiation in Ceará, based on data from the global model reanalysis MERRA2[18], representing six cities of the State from 1998 to 2017.

Although the intra-annual radiation variability depends on the region's latitude and particularities, such as relief, vegetation and atmospheric composition, the data indicate little variation between the cities analyzed. The highest radiation rates were observed in October and the lowest data dispersion in the second half of the year.

The interannual variations, in turn, result from the action of global climate phenomena. The year of 2019 stands out here, also notable regarding the wind regime, when the average solar radiation deviation was greater than 5% in the cities analyzed (Figure 2.17).

FIGURA 2.16 .
FIGURE 2.16 .

Variação Intra-anual do Diagrama Solar no Estado do Ceará

SOLAR DIAGRAM INTRA-ANNUAL VARIATION IN THE STATE OF CEARÁ

VARIAÇÃO HORÁRIA DA TRAJETÓRIA DO SOL AO LONGO DO ANO DE 2018*
*Hourly variation of the sun's trajectory throughout 2018**

- Dia do solstício de verão — *Summer Solstice Day* — Verão — *Summer*
- Dia do solstício de inverno — *Winter Solstice Day* — Inverno — *Winter*
- Dia do equinócio de primavera — *Spring Equinox Day* — Primavera — *Spring*
- Dia do equinócio de outono — *Autumn Equinox Day* — Outono — *Fall*

*ELABORADO A PARTIR DO ALGORITMO DE POSIÇÃO SOLAR PROPOSTO POR REDA E ANDREAS[45].
**ELABORATED FROM THE SOLAR POSITION ALGORITHM PROPOSED BY REDA AND ANDREAS[45].*

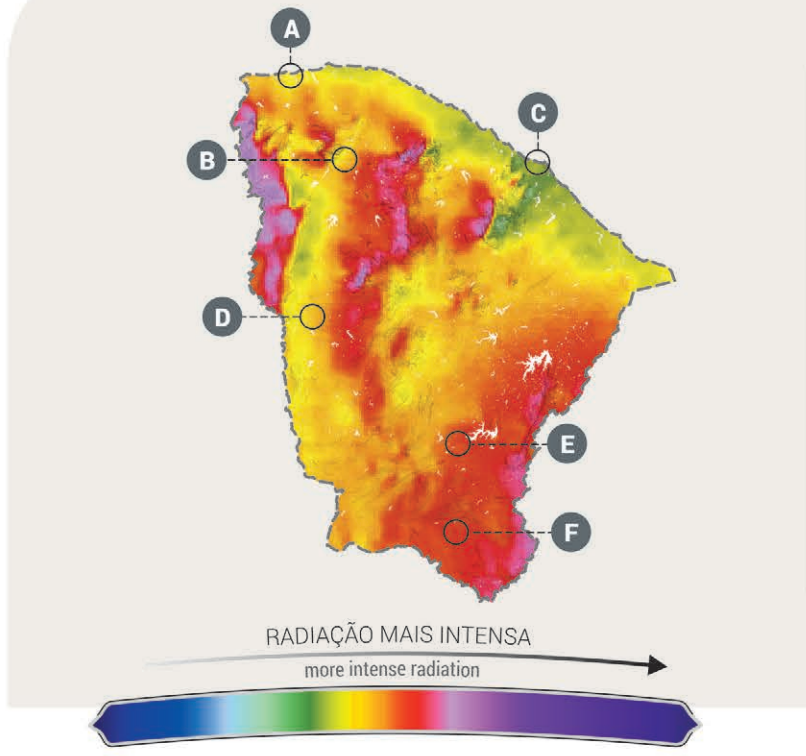


FIGURA 2.17 .
FIGURE 2.17 .

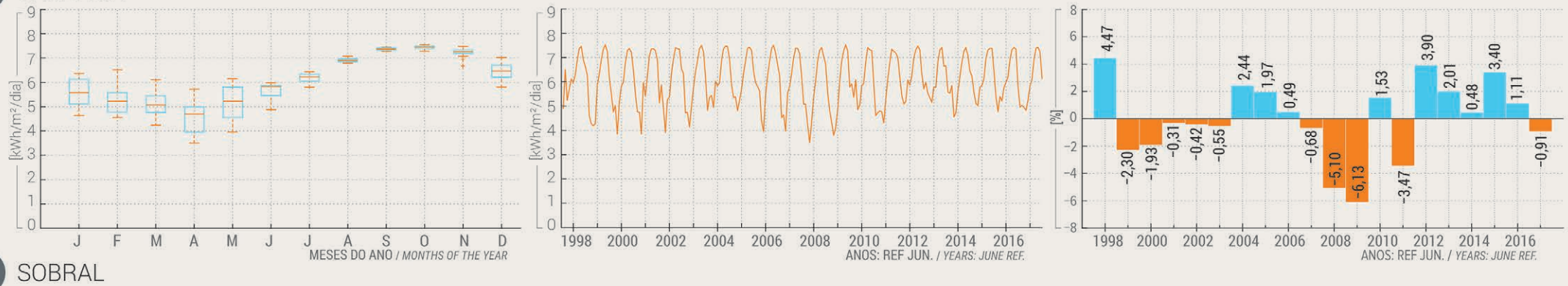
Variação Interanual e Intra-anual da Radiação Solar no Estado do Ceará

INTERANNUAL AND INTRA-ANNUAL VARIATION OF SOLAR RADIATION IN THE STATE OF CEARÁ

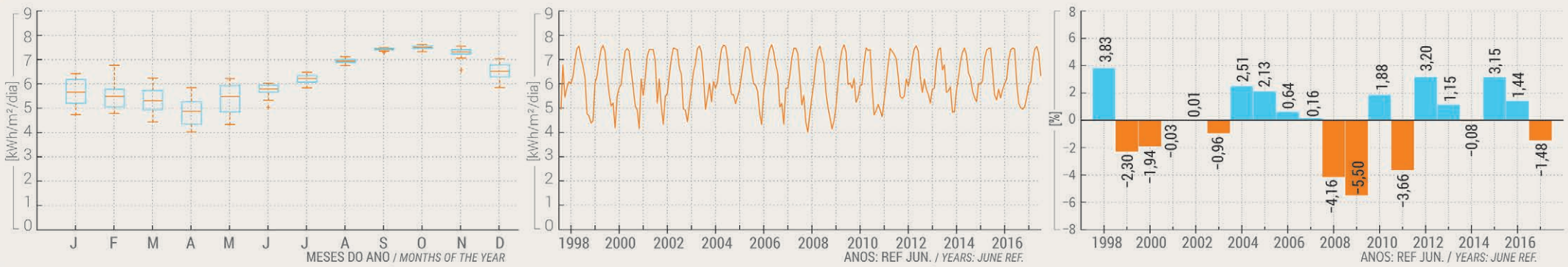
Variação da radiação solar média incidente na superfície, calculado a partir de dados do MERRA2 (jan/1998 a dez/2017).
VARIATION OF THE MEAN SOLAR RADIATION INCIDENT ON THE SURFACE, CALCULATED FROM MERRA2 DATA (JAN / 1998 TO DEC / 2017).

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY

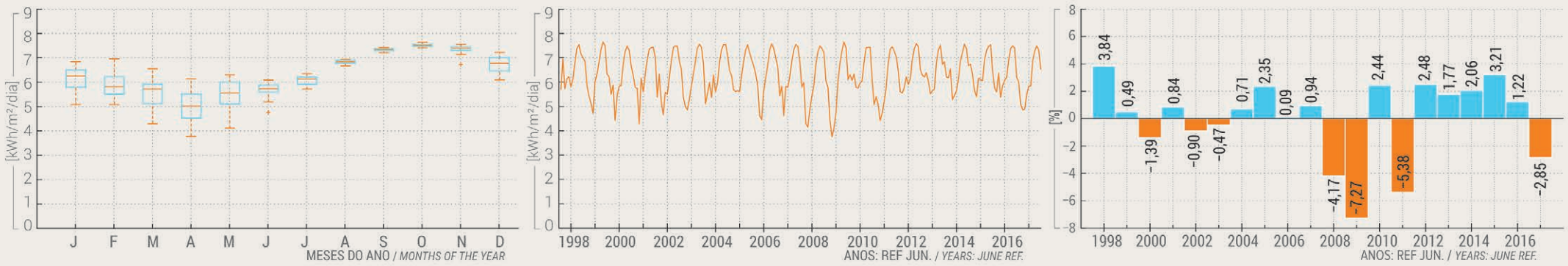
A CAMOCIM



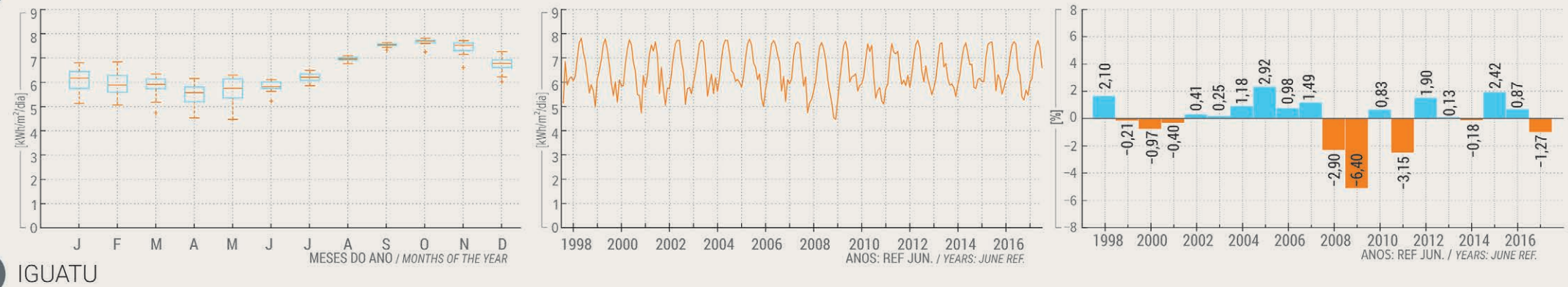
B SOBRAL



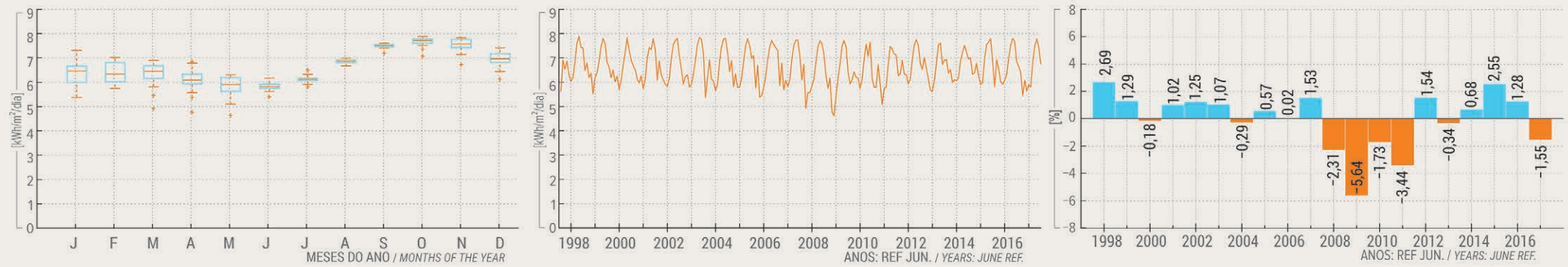
C FORTALEZA



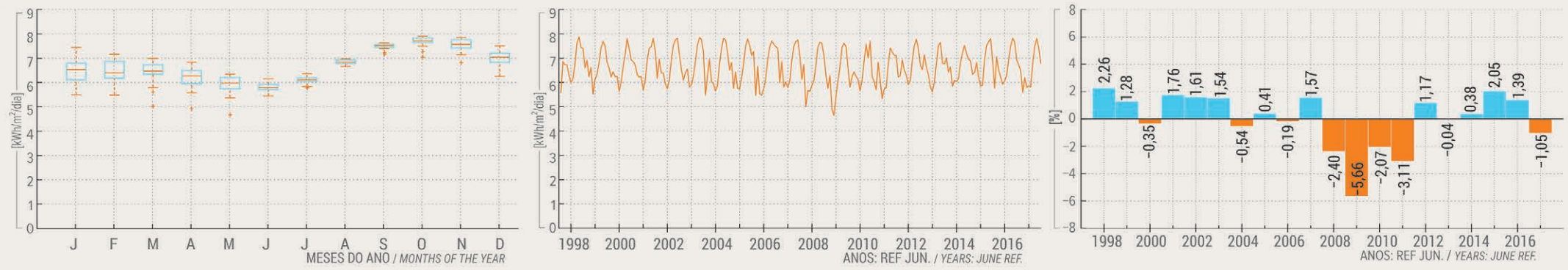
D CRATEÚS



E IGUATU



F JUAZEIRO DO NORTE



2.3 Other Meteorological Parameters

2.3.1 AMBIENT TEMPERATURE – T_{amb} [°C]

Due to its proximity to the equatorial line, Ceará features low ambient temperature variation throughout its territory, with average values oscillating around 26,5°C. Maps 2.4 and 2.5 characterize surface air temperature distribution on the State. The lowest temperatures occur at the highest elevations, wherein the Chapada do Araripe, Serra da Ibiapaba *and smaller mountain ranges located in the central region stand out, such as the* Serra do Céu, Serra de Uruburetama *("Uruburetama Sierra") and the* Maciço de Baturité. *The latter is where* Pico Alto *("High Peak") is located and the lowest average annual temperature, below 20°C, is observed. The highest average temperatures are observed in the coastal plain. In the* Depressão Sertaneja, *which occupies much of the central region, the values fluctuate close to the State average.*

The ambient temperature of Ceará also has low thermal amplitude throughout the year. The minimum monthly values are observed in winter, with averages around 25,7°C, with June having the lowest temperatures. The monthly maximum values occur in spring, when the averages reach 27,4°C, peaking in November, due to the dry weather and higher radiation rates. It is noteworthy that it is in spring that the highest thermal amplitudes are observed.

Ambient temperature influences air density calculation, a parameter directly proportional to the kinetic energy of the wind, as well as the performance of solar harnessing systems, hence the importance of the parameter for designing these systems, both wind and solar.

2.3.2 PRECIPITATION [mm]

Ceará is predominantly characterized by the semi-arid climate, being, therefore, one of the Brazilian States that suffers the most from the effects of drought[38]. The rainfall regime in the region, strongly determined by the ITCZ, has its annual cycle marked by periods in which the convergence zone is closest to the State, between March and April[17]. When the ITCZ returns to equatorial latitudes, rainfall rates decline, resulting in a dry period.

El Niño Southern Oscillation – ENSO – events also generate climate instability in Ceará. Defined as a global ocean-atmospheric phenomenon, originating from the warming (El Niño) or cooling (La Niña) of the Pacific Ocean surface waters, ENSO affects the interannual rainfall variability in the Brazilian Northeast, generally causing more severe droughts in El Niño years and more abundant rainfall in La Niña years[38].

Synoptic phenomena, which interact with global circulations, also govern the State's rainfall regime. An example of such phenomena is the Easterly Waves, which can cause rainfall in north-central Ceará during the months of June to August. The action of the Lines of Instability – LI, resulting from intense insolation and convection, gives rise to the rainfalls at the end of the day in the coastal region. The Upper Level Cyclonic Vortex – VCAN, in turn, causes intense precipitation and cloudiness, with greater action in January and February. Less frequently, there is also the influence of cold fronts that reach the south of the Northeast region, giving rise to rainfall events between November and January, mainly in the southern portion of the State of Ceará. Finally, mesoscale phenomena of the Mesoscale Convective Complexes – MCC – type generate isolated and short-lasting rainfall in the State[19], [42].

Maps 2.2 and 2.3 show the accumulated annual and seasonal rainfall averages throughout the Brazilian Northeast, calculated based on climatological data from the Tropical Rainfall Measurement Mission – TRMM[43], from 1998 to 2017. Other databases were analyzed, such as Brazilian Climatological Normals (1981-2010)[39] from the National Institute of Meteorology – INMET. However, it was decided to present the most up-to-date database and, therefore, most representative of the State's rainfall conditions, considering the current climatic conditions of the northeastern semiarid, which is undergoing one of the most severe drought periods ever recorded[38].

Regarding the annual accumulated totals, the lowest rainfall rates are observed in the interior of Ceará, while the highest on the coast, particularly in the metropolitan region of Fortaleza. This region is considered of tropical climate by the Institute for Research and Economic Strategy of Ceará – IPECE, against the other 93% of the State, considered of semiarid climate[44].

In Ceará, more than 90% of the annual average accumulated rainfall occurs in the first half of the year, with the highest rainfall rates concentrated in March and April. Spring is the driest season, with monthly average accumulated rainfall, in all regions of the State, below 10 mm, especially in September[43]. One of the applications of rainfall data in solar projecs is the use of water in the maintenance, cleaning, and cooling of systems.

2.3.3 CLOUDINESS [oktas]

The rainfall regime correlates with cloudiness, a meteorological parameter that directly affects solar irradiance on the surface of the Earth and, therefore, has a significant impact on the estimates of energy production of solar power exploitation systems. This parameter can be inferred according to the procedure shown in Figure 2.13 and from a cloudiness scale that relates to the amount of overcast areas in the sky (Figure 2.18).

Seasonal and annual cloudiness averages over Ceará are shown in Maps 2.6 and 2.7, respectively. The maps indicate the influence of relief on the formation of clouds on the windward slopes of mountainous regions, where the highest indexes occur, due to the concentration of humidity in the atmosphere.

2.3 OUTROS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

2.3.1 Temperatura Ambiente – T_{amb} [°C]

Devido à proximidade à linha do Equador, o Ceará apresenta baixa variação da temperatura ambiente ao longo do seu território, oscilando os valores médios em torno de 26,5°C. Os Mapas 2.4 e 2.5 caracterizam a distribuição da temperatura do ar em superfície no Estado. As menores temperaturas ocorrem nas maiores elevações, destacando-se a Chapada do Araripe, a Serra da Ibiapaba e cadeias montanhosas menores localizadas na região central, tais como as Serras do Céu, de Uruburetama e o Maciço de Baturité, onde se encontra o Pico Alto e onde é observada a menor temperatura média anual, abaixo de 20°C. As maiores temperaturas médias são observadas na planície litorânea. Na Depressão Sertaneja, que ocupa grande parte da região central, os valores oscilam próximo à média do Estado.

A temperatura ambiente do Ceará também apresenta baixa amplitude térmica ao longo do ano. Os valores mínimos mensais são observados no inverno, com médias de cerca de 25,7°C, sendo o mês de junho a apresentar as menores temperaturas. Já os valores máximos mensais ocorrem na primavera, quando as médias chegam a 27,4°C, com pico em novembro, devido ao clima seco e aos maiores índices de radiação. Vale ressaltar que é na primavera que as maiores amplitudes térmicas são observadas.

A temperatura ambiente influencia o cálculo da densidade do ar, parâmetro diretamente proporcional à energia cinética do vento, bem como o desempenho de sistemas de aproveitamento solar, daí a importância do parâmetro para o dimensionamento desses sistemas, tanto eólicos como solares.

2.3.2 Precipitação [mm]

O Ceará caracteriza-se predominantemente pelo clima semiárido, sendo portanto um dos estados brasileiros que mais sofre os efeitos da seca[38]. O regime de chuvas na região, fortemente determinado pela ZCIT, tem o ciclo anual marcado pelos momentos em que a zona de convergência encontra-se mais próxima do Estado, entre março e abril[17]. Quando a ZCIT retorna às latitudes equatoriais, os índices pluviométricos declinam, resultando em um período seco.

Eventos de El Niño Oscilação Sul – ENOS – também são causadores de instabilidade climática no Ceará. Definido como um fenômeno oceano-atmosférico global, originário do aquecimento (*El Niño*) ou resfriamento (*La Niña*) das águas superficiais do Oceano Pacífico, o ENOS afeta a variabilidade interanual das chuvas no Nordeste Brasileiro, causando geralmente secas mais intensas em anos de *El Niño* e chuvas mais abundantes em anos de *La Niña*[38].

Fenômenos sinóticos, que interagem com as circulações globais, também governam o regime de chuvas no Estado. Um exemplo de tais fenômenos são as Ondas de Leste, que podem causar chuvas no centro-norte do Ceará durante os meses de junho a agosto. A ação das Linhas de Instabilidade – LI, resultantes de intensa insolação e convecção, dá origem às chuvas ao final do dia na região litorânea. O Vórtice Ciclônico de Altos Níveis – VCAN, por sua vez, provoca intensa precipitação e nebulosidade, com maior atuação em janeiro e fevereiro. Com menor frequência, ocorre também a influência de frentes frias que alcançam o sul da região Nordeste, gerando episódios de chuvas entre novembro e janeiro, principalmente na porção sul do Estado do Ceará. Por fim, fenômenos de mesoescala do tipo Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM – geram no Estado chuvas isoladas e de curta duração[19], [42].

Nos Mapas 2.2 e 2.3, são apresentadas as precipitações acumuladas médias anuais e sazonais ao longo do Nordeste Brasileiro, calculadas a partir dos dados climatológicos do *Tropical Rainfall Measurement Mission* – TRMM[43], do período de 1998 a 2017. Outras bases de dados foram analisadas, como as Normais Climatológicas do Brasil (1981 a 2010)[39] do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Optou-se, porém, pela apresentação da base de dados mais atualizada e, portanto, mais representativa das condições pluviométricas do Estado, tendo em vista as atuais condições climáticas do semiárido nordestino, que se encontra em um dos mais severos períodos de seca já registrados[38].

Com relação aos totais acumulados anuais, os menores índices de chuva são observados no interior do Ceará, enquanto os maiores, no litoral, em especial na região metropolitana de Fortaleza. Essa região é considerada de clima tropical pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE, contra os 93% restantes do Estado, considerados de clima semiárido[44].

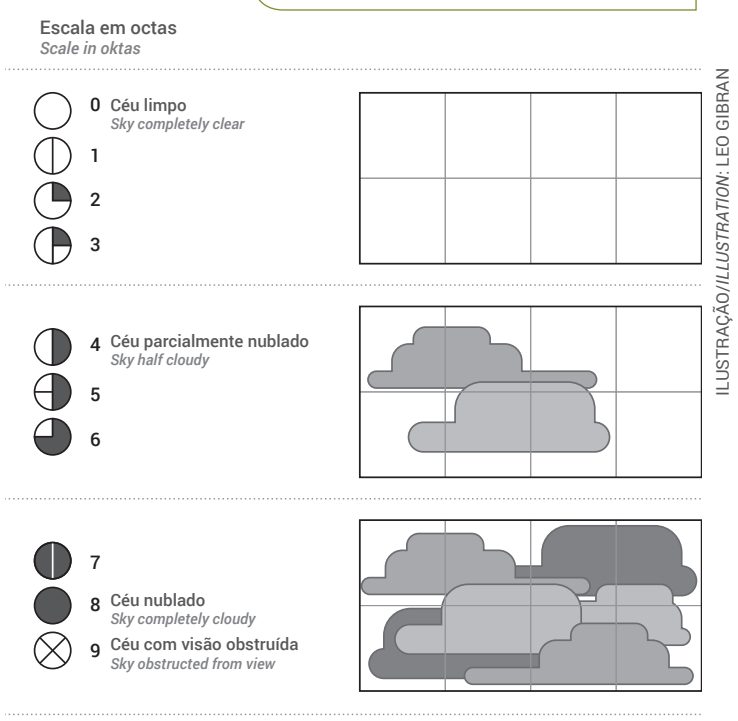
No Ceará, mais de 90% da precipitação acumulada média anual ocorre no primeiro semestre do ano, com os maiores índices de chuva concentrados nos meses de março e abril. A primavera é a estação mais seca, com precipitação média acumulada mensal, em todas as regiões do Estado, abaixo de 10 mm, especialmente no mês de setembro[43]. Uma das aplicações dos dados pluviométricos em projetos de aproveitamento solar é o uso da água na manutenção, limpeza e arrefecimento dos sistemas.

2.3.3 Nebulosidade [octas]

O regime de chuvas tem correlação com a nebulosidade, parâmetro meteorológico que afeta diretamente a irradiância solar sobre a superfície terrestre e que impacta, portanto, de maneira relevante, nas estimativas de produção energética de sistemas de aproveitamento solar. Esse parâmetro pode ser inferido segundo o procedimento representado na Figura 2.13 e a partir de uma escala de nebulosidade que relaciona a quantidade de áreas encobertas do céu (Figura 2.18).

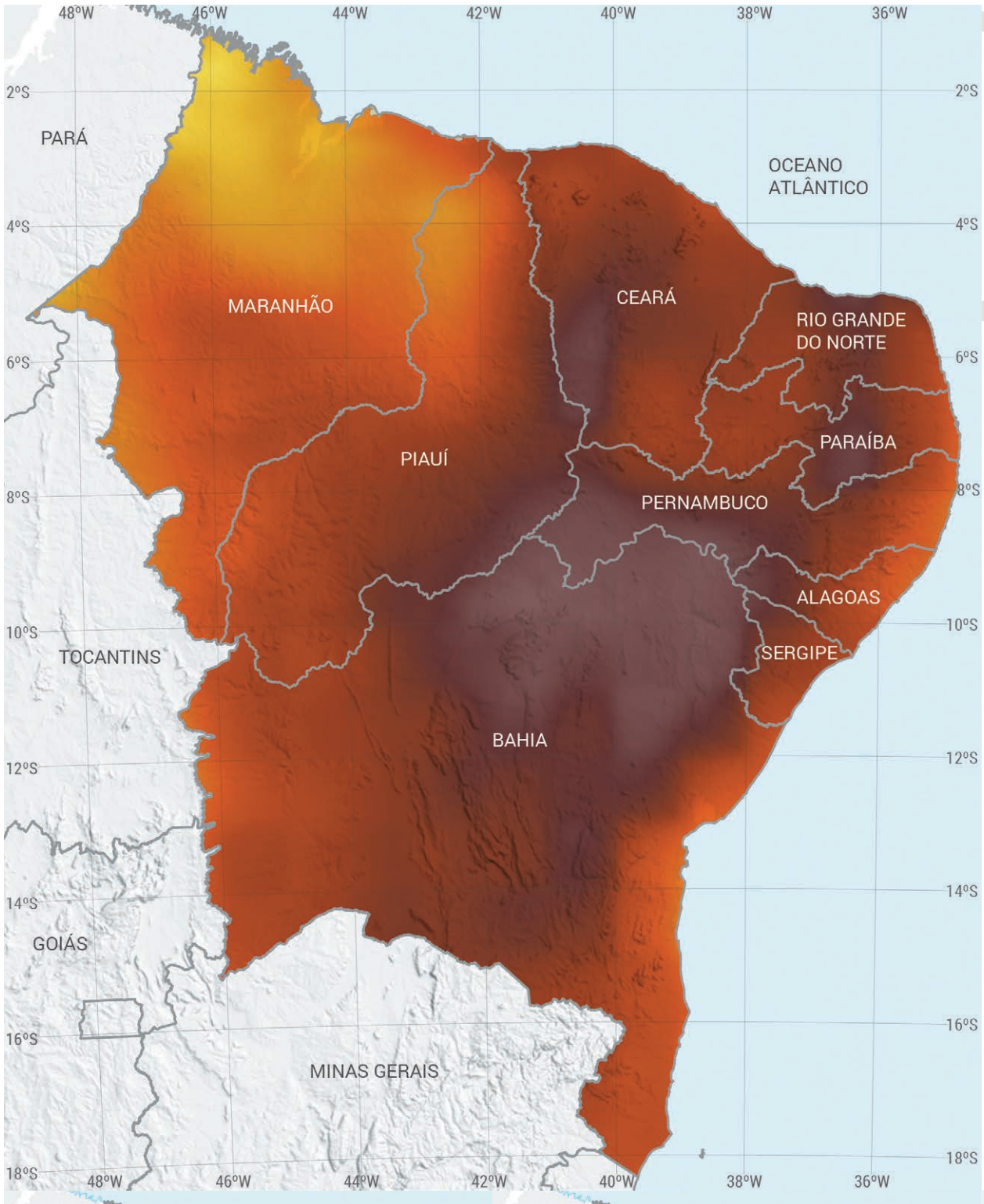
As médias sazonais e anuais de nebulosidade sobre o Ceará são apresentadas nos Mapas 2.6 e 2.7, respectivamente. Os mapas evidenciam a influência do relevo na formação de nuvens nas encostas, a barlavento, das regiões serranas, onde se encontram os maiores índices, devidos à concentração de umidade na atmosfera.

FIGURA 2.18 Escala de nebulosidade.
FIGURE 2.18 *Cloudiness scale.*



ILUSTRAÇÃO/*ILLUSTRATION*: LEO GIBRAN

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY



MAPA/MAP 2.2 .

Precipitação Acumulada
Média Anual
ACCUMULATED RAINFALL
ANNUAL AVERAGE

Mapas Elaborados a partir de dados do TRMM (1998-2017)[43].
MAPS DEVELOPED FROM TRMM[43] DATA (1998-2017).

BASE CARTOGRÁFICA/CARTOGRAPHIC DATABASE: IBGE[31].

PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MÉDIA
AVERAGE ACCUMULATED RAINFALL
soma do ano • [mm] *yearly sum • [mm]*
0 600 1 200 1 800 2 400 3 000 3 600 4 200 4 800*
0 150 300 450 600 750 900 1 050 1 200
soma do período ≅ 3 meses • [mm]
sum of the period ≅ 3 months • [mm]

N W E S

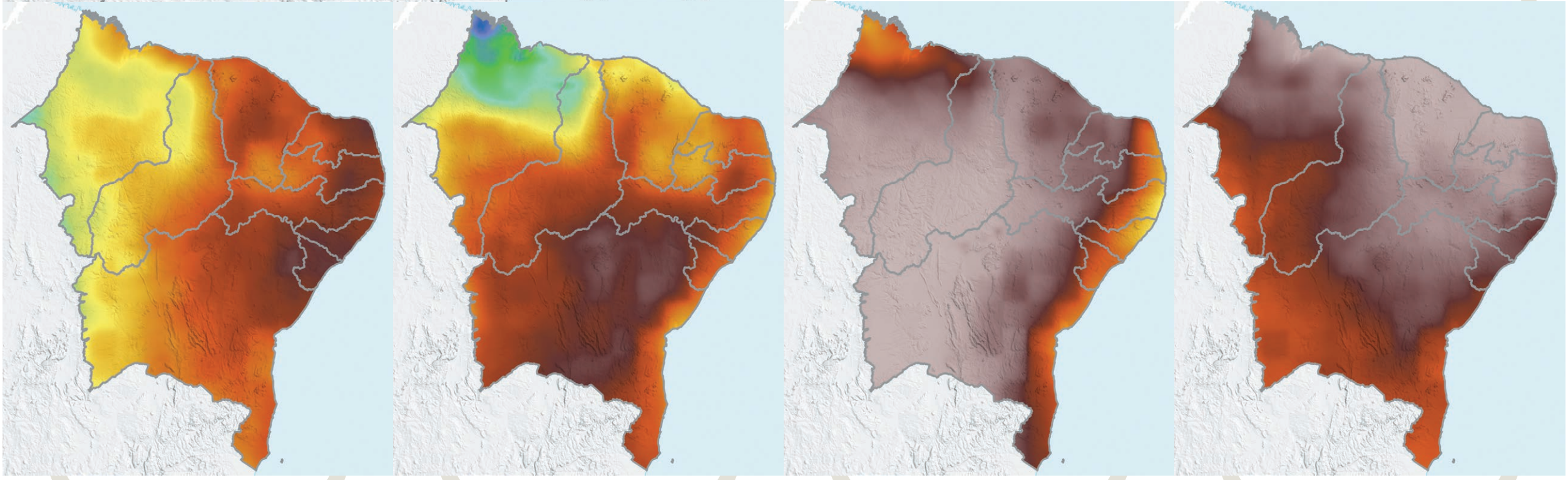
UTM 24 - SIRGAS 2000
0 100 200 300 km

Divisa estadual
State boundary

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.
** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*

MAPA/MAP 2.3 .

Precipitação Acumulada
Média Sazonal
ACCUMULATED RAINFALL
SEASONAL AVERAGE



VERÃO
(dez-fev)
SUMMER (DEC-FEB)

OUTONO
(mar-mai)
FALL (MAR-MAY)

INVERNO
(jun-ago)
WINTER (JUN-AUG)

PRIMAVERA
(set-nov)
SPRING (SEP-NOV)

MAPA/MAP 2.4 .

Temperatura Média Sazonal

SEASONAL AVERAGE TEMPERATURE

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM, COREAÚ, MERUOCA, SOBRAL, TIANGUÁ, ITAPIPOCA, ITAPAJÉ, SÃO GONÇALO DO AMARANTE, FORTALEZA, PENTECOSTE, CASCAVEL, PACAJUS, IPU, HIDROLÂNDIA, CANINDÉ, BATURITÉ, OCARA, ARACATI, RUSSAS, QUIXADÁ, CRATEÚS, JAGUARIBE, TAUÁ, ACOPIARA, PEREIRO, IGUATU, VÁRZEA ALEGRE, LAVRAS DA MANGABEIRA, CARIRIAÇU, CAMPOS SALES, JUAZEIRO DO NORTE, MAURITI, BREJO SANTO

PIAUÍ, OCEANO ATLÂNTICO, RIO GRANDE DO NORTE, PARAÍBA, PERNAMBUCO

20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

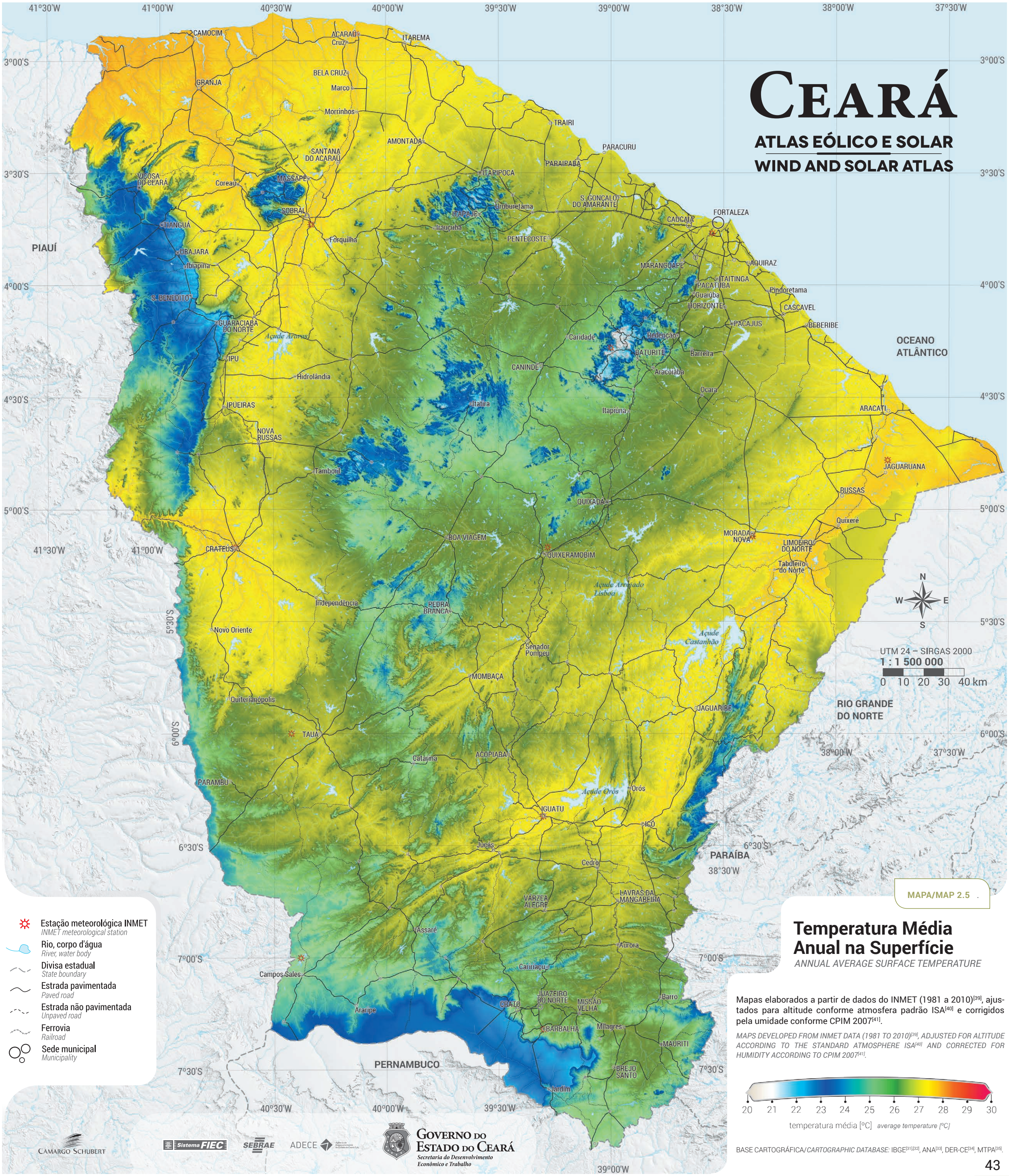
temperatura média [ºC] *average temperature [ºC]*

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Estação meteorológica INMET
INMET meteorological station

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 2.5 .

Temperatura Média Anual na Superfície
ANNUAL AVERAGE SURFACE TEMPERATURE

Mapas elaborados a partir de dados do INMET (1981 a 2010)[39], ajustados para altitude conforme atmosfera padrão ISA[40] e corrigidos pela umidade conforme CPIM 2007[41].

MAPS DEVELOPED FROM INMET DATA (1981 TO 2010)[39], ADJUSTED FOR ALTITUDE ACCORDING TO THE STANDARD ATMOSPHERE ISA[40] AND CORRECTED FOR HUMIDITY ACCORDING TO CPIM 2007[41].

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[31][32], ANA[33], DER-CE[34], MTPA[35].

CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

MAPA/MAP 2.6 .

Nebulosidade Média Sazonal

SEASONAL AVERAGE CLOUD COVER

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

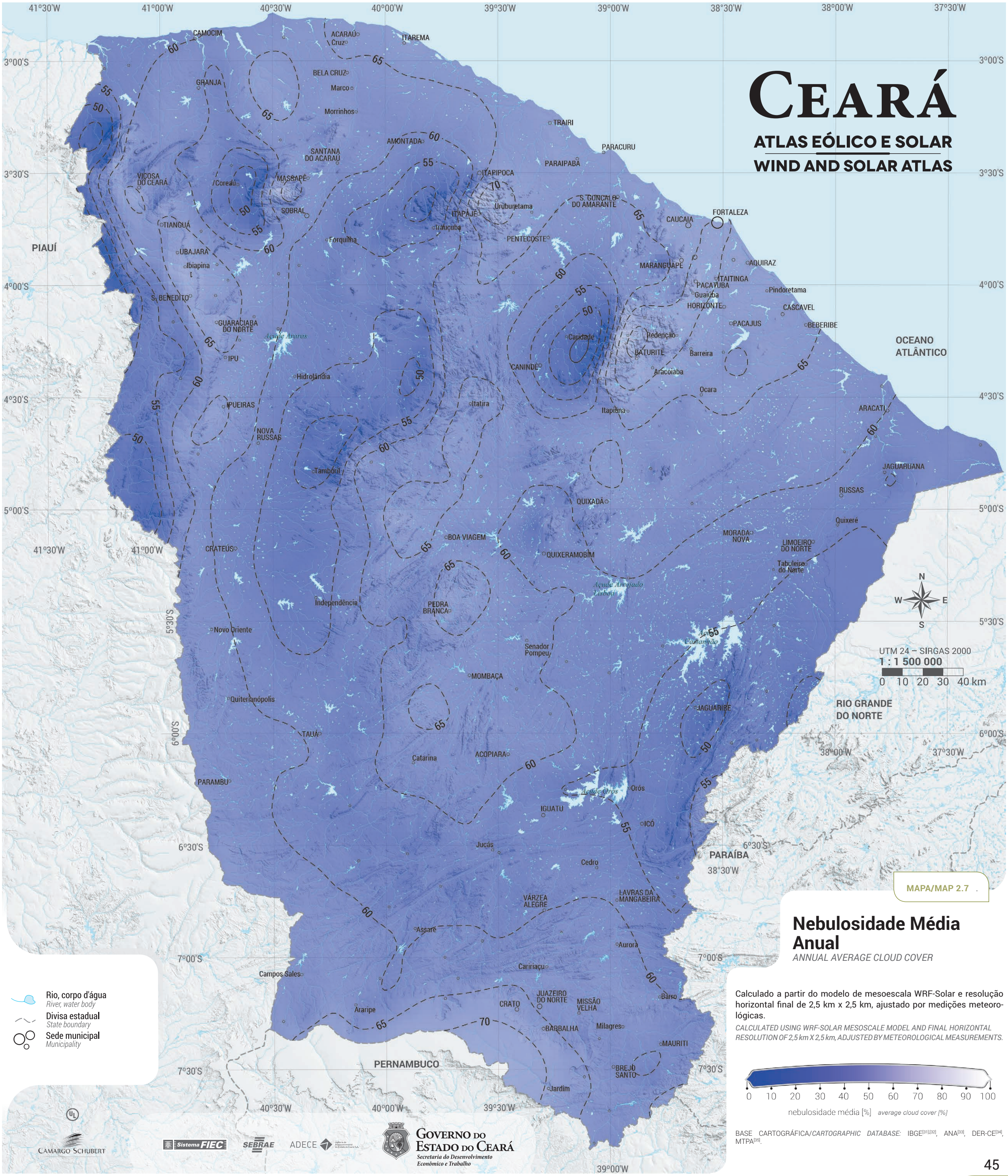
nebulosidade média [%] *average cloud cover [%]*

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 2.7 .

Nebulosidade Média Anual
ANNUAL AVERAGE CLOUD COVER

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar e resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado por medições meteorológicas.

CALCULATED USING WRF-SOLAR MESOSCALE MODEL AND FINAL HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, ADJUSTED BY METEOROLOGICAL MEASUREMENTS.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[31][32], ANA[33], DER-CE[34], MTPA[35].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ *Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho*

FIGURA 3.1 APA Praia de Maceió, município de Camocim.

FIGURE 3.1 *APA Maceió Beach, municipality of Camocim.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

3 MEIO AMBIENTE E ENERGIA

ENVIRONMENT AND ENERGY

3 MEIO AMBIENTE E ENERGIA
ENVIRONMENT AND ENERGY

3.1 INTRODUÇÃO

A implantação de empreendimentos de geração, como usinas eólicas e solares de larga escala, requer o licenciamento ambiental junto aos órgãos competentes, compatível com a fase de desenvolvimento do projeto. A legislação ambiental brasileira é considerada altamente avançada. Entretanto, devido à sua abrangência, é de complexidade elevada e possui caráter dinâmico, o que requer estudo e atualização constante.

3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

No Brasil, os órgãos ambientais usualmente requerem medidas compensatórias por parte dos empreendedores, definidas no decorrer do processo de licenciamento ambiental. Em atendimento às exigências, são exigidos investimentos em preservação e conservação de ambientes relevantes para fauna e flora. Além disso, durante o referido processo, o patrimônio arqueológico existente nas áreas de implantação é identificado, sinalizado e preservado.

No âmbito socioeconômico, as contrapartidas incluem programas de educação e profissionalização de comunidades locais e geração de renda e de empregos aos municípios. Nos casos em que os parques eólicos estão instalados em áreas que não pertencem ao empreendedor, ocorre o arrendamento pelo uso das terras, gerando renda para os proprietários locais. Os contratos, em geral, são realizados para todo o período de vida útil do parque eólico, em média, 20 anos. Vale ressaltar que o uso da terra por empreendimentos eólicos fica restrito somente às áreas das bases e dos acessos aos aerogeradores.

Os empreendimentos de energia eólica e solar estão sujeitos à legislação ambiental federal, estadual e municipal, aplicada por meio de procedimentos administrativos realizados pelos órgãos competentes, para licenciar a sua localização, instalação, ampliação, modificação ou operação[1].

Na esfera federal, os processos são regulamentados pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA – e geridos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – ou, quando envolvem Unidades de Conservação – UC – federais, o órgão gestor, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio[2], deve emitir parecer de autorização do licenciamento ambiental.

Na esfera estadual, os processos são regulamentados pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará – SEMACE. Nos casos em que os empreendimentos situem-se em UCs estaduais, a Secretaria do Meio Ambiente do Ceará – SEMA, órgão gestor das UCs estaduais, deve emitir autorização para licenciamento.

A base da legislação ambiental vigente inclui, no âmbito federal, o novo Código Florestal Brasileiro[3], a Política Nacional do Meio Ambiente[4], e as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA[5],[6],[1],[7],[8]. No âmbito estadual existem marcos específicos do Conselho Estadual de Meio Ambiente – COEMA, os quais estabelecem os critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental.

Desde 2001, o licenciamento ambiental de empreendimentos de infraestrutura elétrica com pequeno potencial de impacto ambiental é regulado pela Resolução CONAMA n° 279[7], que prevê a apresentação do Relatório Ambiental Simplificado – RAS – com prazo máximo de sessenta dias para a tramitação do processo. Em 2014, com a publicação da Resolução CONAMA n° 462[9], foram estabelecidos procedimentos específicos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, sendo os prazos para análise da solicitação das licenças regulados pela Resolução CONAMA n° 279.

Cabe ao órgão licenciador o enquadramento quanto ao impacto ambiental dos empreendimentos de geração de energia eólica ou solar, considerando o porte, a localização e o potencial de impacto da atividade. Caso o órgão ambiental não considere o empreendimento de baixo impacto, o processo será mais complexo, exigindo a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental – EIA – e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, além de audiências públicas[7].

O Estado do Ceará dispõe de avançada legislação ambiental, que regulamenta os processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos solares e eólicos, através do COEMA e da SEMACE. No Apêndice B, estão resumidas as resoluções e instruções normativas específicas da área, e é apresentada uma descrição dos processos de licenciamento ambiental de sistemas de micro e minigeração distribuída a partir de fontes renováveis.

3.3 ÁREAS PROTEGIDAS NO ESTADO DO CEARÁ

3.3.1 Unidades de Conservação do Ceará

Em sua maior parte apresentando clima tropical quente semiárido, o Ceará está inserido no Bioma Caatinga. O Estado é composto por 12 domínios naturais distintos, entre os quais a planície litorânea, os planaltos sedimentares, os maciços residuais (serras) e os sertões. A cobertura vegetal se divide, basicamente, em floresta tropical, cerrado e vegetação litorânea. Os solos possuem, em sua maioria, baixa profundidade, deficiências hídricas e susceptibilidade à erosão, necessitando de práticas conservacionistas para evitar o processo de desertificação[10].

Com o objetivo de preservar as espécies vegetais e animais, foram criadas ao longo dos anos 81 UCs no Estado do Ceará[11], número considerado elevado entre os estados da Região Nordeste[12].

UCs são áreas protegidas regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (instituído pela Lei n° 9985[13], de 18 de julho de 2000), pelo Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC (estabelecido pela Lei n° 14950[14], de 27 de junho de 2011) ou pelas legislações municipais. As UCs podem estar vinculadas, portanto, à esfera federal, estadual ou municipal, e dividem-se em dois grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Cada grupo possui suas particularidades nas limitações de exploração de suas áreas e recursos.

No Ceará, a SEMA é o órgão central do SEUC, responsável por coordenar, gerir e avaliar a criação e implantação de UCs no Estado, além de coordenar e implementar a Política de Fauna e Flora no Ceará[15]. As fotografias aéreas apresentadas nas Figuras 3.2 a 3.8 ilustram algumas UCs no Estado.

Também são áreas sensíveis a impactos ambientais os corpos hídricos, as reservas indígenas, as comunidades quilombolas e os assentamentos agrícolas.

3.3.2 Terras Indígenas, Quilombolas e Assentamentos Agrícolas

TERRAS INDÍGENAS:

A origem do Ceará é fortemente vinculada aos povos indígenas. O nome do Estado origina-se de "ciará" ou "siará", que significa "canto da jandaia", ou "canto do papagaio", em tupi[16]. Atualmente, são mais de 26 mil indígenas aldeados, provenientes de 14 grupos

3.1 Introduction

The implementation of power generation projects, such as large-scale wind and solar power plants, requires environmental licensing from the competent authorities, compatible with the project's development phase. Brazilian environmental legislation is considered highly advanced. However, due to its scope, it is highly complex and has a dynamic nature, which requires constant study and updating.

3.2 Environmental Legislation

In Brazil, environmental agencies usually require compensatory measures from entrepreneurs, established during the environmental licensing process. In compliance with the requirements, investments in the conservation and preservation of environments relevant to fauna and flora are required. Furthermore, during this process, the archaeological heritage existing in the deployment area is identified, flagged, and preserved.

In the socioeconomic context, compensatory measures include education and professionalization programs for local communities, and the generation of income and jobs to municipalities. In cases when the wind farms are in areas that do not belong to the entrepreneur, the lands are leased, generating income for the local owners. Contracts are generally made for the entire life-cycle of the wind farm, on average, 20 years. It is noteworthy that the use of the land by wind farms is restricted only to wind turbine base and access areas.

Wind and solar energy projects are subject to federal, state and municipal environmental legislation, applied through administrative procedures performed by the competent bodies, to license their location, installation, expansion, modification, or operation[1].

At the federal level, the processes are regulated by the Ministry of the Environment – MMA – and managed by the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources – IBAMA – or, when they involve federal Conservation Units – UC, the managing body, Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation – ICMBio[2], an environmental licensing authorization declaration must be issued.

At the state level, the processes are regulated by the Environmental State Superintendency of Ceará – SEMACE. In cases where the projects are in state UCs, the Environment Secretariat of Ceará – SEMA, the managing body of state UCs, must issue a licensing authorization.

The basis of the environmental legislation in force includes, at the federal level, the new Brazilian Forest Code[3], the National Environmental Policy[4], and the resolutions of the National Environmental Council – CONAMA[5],[6],[1],[7],[8]. At the state level, there are specific Environmental State Council of Ceará – COEMA – regulations, which establish criteria and procedures for environmental licensing.

Since 2001, the environmental licensing of electrical infrastructure projects with small potential for environmental impact is regulated by CONAMA Resolution No. 279[7], which provides for the submission of the Simplified Environmental Report – RAS – within a maximum of sixty days for processing procedures. In 2014, with the publication of CONAMA Resolution No. 462[9], specific procedures were established for the environmental licensing of electrical power generation from onshore wind sources, with the deadlines for analyzing license applications regulated by CONAMA Resolution No. 279.

The licensing body is responsible for classifying the environmental impact of wind or solar power generation projects, according to their size, location, and potential impact of the activity. In case the environmental body does not consider the project as low impact, the process will be more complex, requiring the submission of an Environmental Impact Study – EIA – and Environmental Impact Report – RIMA, as well as the performance of public hearings[7].

The State of Ceará has advanced environmental legislation, which regulates the environmental licensing processes of new solar and wind power projects, through COEMA and SEMACE. Appendix B provides a summary of industry-specific resolutions and regulatory instructions, and provides a description of the environmental licensing processes for distributed micro and mini-generation systems from renewable sources.

3.3 Protected Areas in the State of Ceará

3.3.1 CEARÁ CONSERVATION UNITS

Mostly featuring a hot semi-arid tropical climate, Ceará is inserted in the Caatinga Biome. The State is composed of 12 distinct natural domains, including the coastal plain, the sedimentary highlands, the residual massifs (sierras) and the backlands. The vegetation cover is basically divided into tropical forest, cerrado and coastal vegetation. Most soils feature low depth, water deficiencies, and susceptibility to erosion, requiring conservation practices to avoid the desertification process[10].

With the objective of preserving plant and animal species, 81 UCs were created in the State of Ceará[11] over the years, a number considered high among the states of the Northeast Region[12].

The UCs are protected areas regulated by the National System of Conservation Units – SNUC (instituted by Law No. 9985[13] of July 18, 2000), by the State System of Conservation Units – SEUC (established by Law No. 14950[14], of June 27, 2011), or by municipal legislation. The UCs can, therefore, be linked to federal, state, or municipal levels, and are divided into two groups: Full Protection Units and Sustainable Use Units. Each group has its particularities in the exploitation constraints of its areas and resources.

In Ceará, the SEMA is the SEUC central body, responsible for coordinating, managing, and evaluating the creation and implementation of UCs in the State, as well as coordinating and implementing the Fauna and Flora Policy in Ceará[15]. The aerial photographs presented in Figures 3.2 to 3.8 illustrate some UCs in the State.

Water bodies, indigenous reserves, quilombola *communities, and agricultural settlement areas are also sensitive to environmental impacts.*

3.3.2 INDIGENOUS LANDS, QUILOMBOLA LANDS AND AGRICULTURAL SETTLEMENTS

INDIGENOUS LANDS:

*The origin of Ceará is strongly linked to indigenous people. The State's name originates from "*ciará*" or "*siará*", which means "singing of the jandaya" or "singing of the parakeet" in Tupi[16]. Currently, there are more than 26 000 natives*

			Unidade de Conservação / *Conservation Unit*	Município / *Municipality*	Ato Legal / *Legislation*
Unidades de Conservação de Proteção Integral *Full Protection Conservation Units*	Federais *Federal*	1	ESEC de Aiuaba	Aiuaba	Decreto s/n, 06/02/2001
		2	ESEC do Castanhão	Alto Santo, Iracema e Jaguaribara	Decreto s/n, 28/09/2001
		3	PN de Jericoacoara	Camocim, Cruz e Jijoca de Jericoacoara	Decreto s/n, 05/06/2013
		4	PN de Ubajara	Frecheirinha, Tianguá e Ubajara	Decreto nº 45.954/1953
	Estaduais* *State*	5	ESEC do Pécem	São Gonçalo do Amarante	Decreto nº 30.895/2012
		6	MONA das Falésias de Beberibe	Beberibe	Decreto nº 27.461/2004
		7	MONA Sítio Cana Brava	Santana do Cariri	Decreto nº 28.506/2006
		8	MONA Sítio Riacho do Meio	Barbalha	Decreto nº 28.506/2006
		9	PE Botânico do Ceará	Caucaia	Decreto nº 24.216/1996
		10	PE das Carnaúbas	Granja e Viçosa do Ceará	Decreto nº 28.154/2006
		11	PE do Cocó	Fortaleza	Decreto nº 32.248/2017
		12	PE Marinho da Pedra da Risca do Meio	Fortaleza	L. O. nº 12.717/1999
		13	PE Sítio Fundão	Crato	Decreto nº 29.307/2008
		14	REVIS Periquito Cara-Suja	Guaramiranga	Decreto nº 32.791/2018
	Municipais** *Municipal**	15	MONA Cavaleiro da Esperança	Crateús	Decreto nº 634/2013
		16	PNM das Timbaúbas	Juazeiro do Norte	Decreto nº 1.083/1995
		17	PNM Dunas de Sabiaguaba	Fortaleza	Decreto nº 11.986/2006
		18	REVIS Pedra da Andorinha	Sobral	Decreto nº 1.252/2010
Unidades de Conservação de Uso Sustentável *Sustainable Use Conservation Units*	Federais *Federal*	19	APA Chapada do Araripe	vários	Decreto s/n, 04/08/1997
		20	APA Delta do Parnaiba	Barroquinha e Chaval	Decreto s/n, 29/08/1996
		21	APA Serra da Ibiapaba	vários	Decreto s/n, 26/11/1996
		22	APA Serra da Meruoca	vários	L. O. nº 11.891/2008
		23	FLONA de Sobral	Sobral	L. O. nº 127/1947
		24	FLONA do Araripe-Apodi	vários	Decreto nº 9.226/1946
		25	RESEX do Batoque	Aquiraz e Cascavel	Decreto s/n, 06/06/2003
		26	RESEX Prainha do Canto Verde	Beberibe	Decreto s/n, 05/06/2009
		27	RPPN Almirante Renato de Miranda Monteiro	Novo Oriente	Portaria nº 111/2011
		28	RPPN Ambientalista Francy Nunes	Geraldo Sampaio	Portaria nº 54/2000
		29	RPPN Araçá	Crato	Portaria nº 113/2014
		30	RPPN Arajara Park	Barbalha	Portaria nº 24/1999
		31	RPPN Belo Monte	Mulungu	Decreto nº 97/2011
		32	RPPN Chanceler Edson Queiroz	Guaiúba	Portaria nº 5/2006
		33	RPPN Chico Bimbino	Crateús	Portaria nº 16/2016
		34	RPPN Cícero Almeida	Apuiarés	Portaria nº 216/2013
		35	RPPN Elias Andrade	General Sampaio e Tejuçuoca	Portaria nº 93/2009
		36	RPPN Fazenda Arizona	Quixadá	Portaria nº 264/2013
		37	RPPN Fazenda Belém	Icapuí	Portaria nº 134/2014
		38	RPPN Fazenda Fonseca - Irmã Heloísa e Maurício Holanda	Quixadá	Portaria nº 664/2018
		39	RPPN Fazenda Não Me Deixes	Quixadá	Portaria nº 37N/1999
		40	RPPN Fazenda Olho D'Água do Urucu	Parambu	Portaria nº 719/1991
		41	RPPN Fonte de Luz	vários	Portaria nº 258/2013
		42	RPPN Francisco Braz de Oliveira	Crateús	Portaria nº 237/2013
		43	RPPN Gália	Guaramiranga	Decreto nº 69/2012
		44	RPPN Ilha Encantada	Aracati	Portaria nº 257/2013
		45	RPPN Luizinho Alencar	Itatira	Portaria nº 186/2013
		46	RPPN Mãe da Lua	Itapajé e Tejuçuoca	Portaria nº 58/2009
		47	RPPN Mercês Sabiaquaba e Nazário	Amontada	Portaria nº 113/1996
		48	RPPN Monte Alegre	Pacatuba	Portaria nº 151/2001
		49	RPPN Natural Serra da Pacavira	Pacoti	Portaria nº 47/2008
		50	RPPN Neném Barros	Crateús	Decreto nº 8/2012
		51	RPPN Oasis Araripe	Crato	Portaria nº 324/2016
		52	RPPN Olho D'Água do Tronco	Crateús	Portaria nº 81/2016
		53	RPPN Passaredo	Pacoti	Portaria nº 10/2012
		54	RPPN Paulino Velôso Camêlo	Tianguá	Portaria nº 43/2010
		55	RPPN Reserva Cultura Permanente	Aratuba	Portaria nº 91/2011
		56	RPPN Reserva Natural Sítio Palmeiras	Baturité	Portaria nº 46/2008
		57	RPPN Rio Bonito	Quixeramobim	Portaria nº 174/2001
		58	RPPN Samuel Nobre	Morada Nova	Portaria nº 23/2014
		59	RPPN Serra das Almas	Crateús	Portaria nº 51/2001
		60	RPPN Sítio Ameixas - Poço Velho	Itapipoca	Portaria nº 7N/1994
		61	RPPN Sítio Lagoa	Guaramiranga	Portaria nº 81/2018
		62	RPPN Vó Belar	Meruoca	Portaria nº 217/2013
	Estaduais* *State*	63	APA da Bica do Ipú	Ipu	Decreto nº 25.354/1999
		64	APA da Lagoa da Jijoca	Cruz e Jijoca de Jericoacoara	Decreto nº 25.975/2000
		65	APA da Lagoa do Uruaú	Beberibe	Decreto nº 25.355/1999
		66	APA da Serra da Aratanha	vários	Decreto nº 24.959/1998
		67	APA da Serra de Baturité	vários	Decreto nº 20.956/1990
		68	APA das Dunas da Lagoinha	Paraipaba e Trairi	Decreto nº 25.417/1999
		69	APA do Estuário do Rio Ceará - Rio Maranguapinho	vários	Decreto nº 25.413/1999
		70	APA do Estuário do Rio Mundaú	Itapipoca e Trairi	Decreto nº 25.414/1999
		71	APA do Lagamar do Cauipe	Caucaia	Decreto nº 24.957/1998
		72	APA do Pecém	São Gonçalo do Amarante	Decreto nº 24.957/1998
		73	APA do Rio Pacoti	Aquiraz, Eusébio e Fortaleza	Decreto nº 25.778/2000
		74	ARIE das Águas Emendadas dos Inhamuns	Independência, Pedra Branca e Tauá	Decreto nº 31.403/2014
		75	ARIE do Cambeba	Fortaleza	Decreto nº 32.843/2018
		76	ARIE do Sítio Curió	Fortaleza	Decreto nº 28.333/2006
	Municipais** *Municipal**	77	APA Lagoa de Saco do Barro	Tabuleiro do Norte	Lei nº 954/2007
		78	APA de Canoa Quebrada	Aracati	Lei nº 40/1998 e nº 35/2002
		79	APA de Ponta Grossa	Icapuí	Lei nº 262/98
		80	APA do Manguezal da Barra Grande	Icapuí	Lei n° 298/2000
		81	APA da Praia de Maceió	Camocim	Lei n° 629/1997

	Terra Indígena *Indigenous Lands*	Município *Municipality*
TI-1	Córrego João Pereira	Acaraú e Itarema
TI-2	Lagoa Encantada	Aquiraz
TI-3	Pitaguary	Maracanaú e Pacatuba
TI-4	Taba dos Anacé	Caucaia
TI-5	Tapeba	Caucaia
TI-6	Tremembé da Barra do Mundaú	Itapipoca e Trairi
TI-7	Tremembé de Almofala	Itarema
TI-8	Tremembé de Queimadas	Acaraú

	Quilombo *Quilombola Lands*	Município *Municipality*
Q-1	Água Preta	Tururu e Umirim
Q-2	Alto Alegre	Horizonte e Pacajus
Q-3	Boqueirão da Arara	Caucaia
Q-4	Brutos	Tamboril
Q-5	Córrego de Ubaranas	Aracati
Q-6	Córrego dos Ius	Acaraú e Cruz
Q-7	Lagoa das Pedras e Encantados do Bom Jardim	Catunda e Tamboril
Q-8	Lagoa do Ramo e Goiabeira	Aquiraz
Q-9	Minador	Novo Oriente
Q-10	Queimadas	Crateús
Q-11	Serra dos Chagas	Salitre
Q-12	Sítio Arruda	Araripe e Salitre
Q-13	Sítio Veiga	Quixadá
Q-14	Timbaúba	Alcântaras, Coreaú e Moraújo
Q-15	Três Irmãos	Croatá e Ipueiras

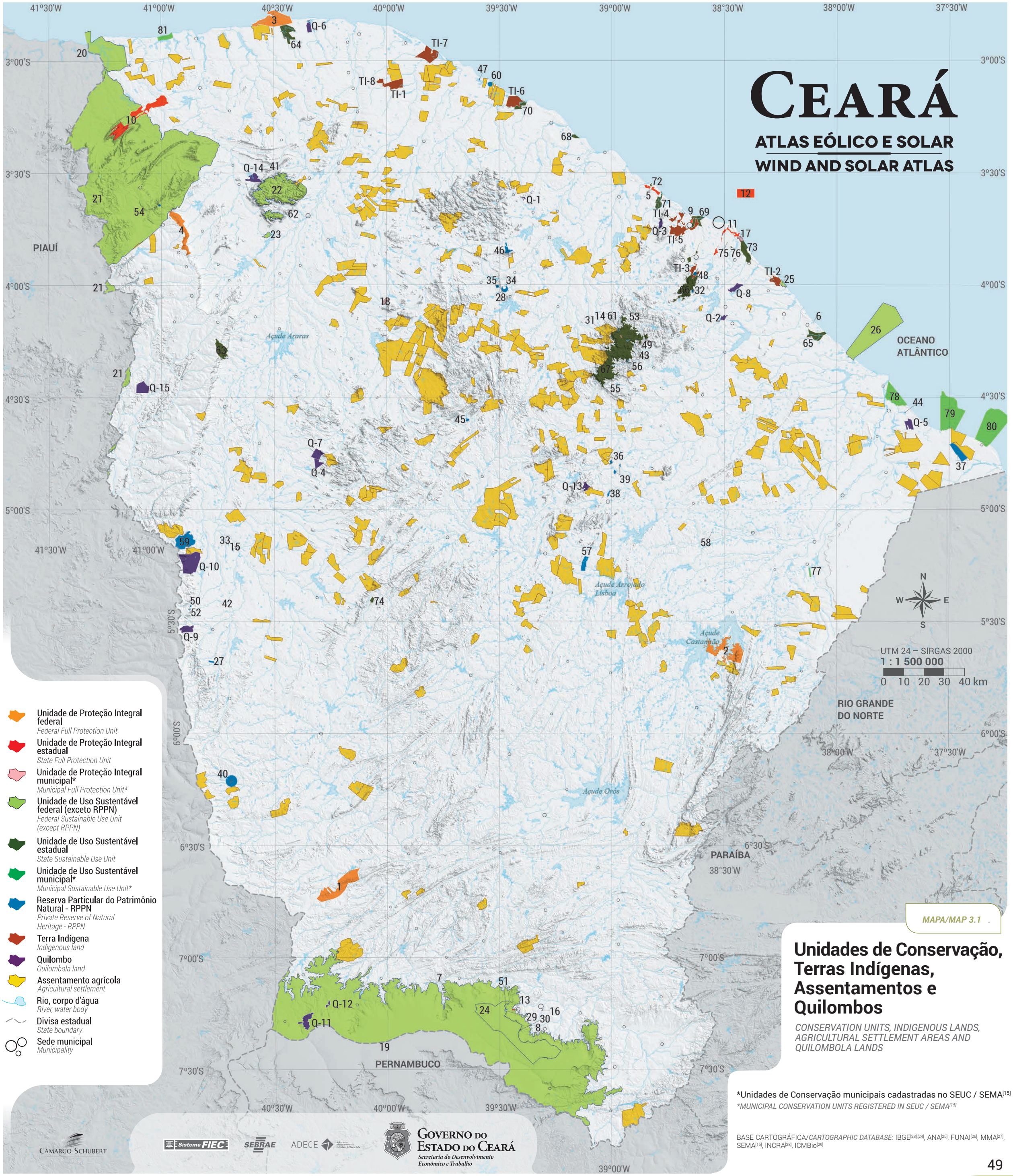
Siglas Utilizadas
Acronyms

L. O.	Lei Ordinária *Ordinary Law*
ESEC	Estação Ecológica *Ecological Station*
MONA	Monumento Natural *Natural Monument*
PE	Parque Estadual *State Park*
PN	Parque Nacional *National Park*
PNM	Parque Natural Municipal *Municipal Natural Park*
REVIS	Refúgio de Vida Silvestre *Wildlife Refuge*
APA	Área de Proteção Ambiental *Environmental Protection Area*
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico *Area of Relevant Ecological Interest*
FLONA	Floresta Nacional *National Forest*
RESEX	Reserva Extrativista *Extractive Reserve*
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural *Private Reserve of Natural Heritage*
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação *State System of Conservation Units*

TABELA 3.1 Áreas de proteção no Estado do Ceará.
TABLE 3.1 *Protection areas in the State of Ceará.*

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



- Unidade de Proteção Integral federal
  Federal Full Protection Unit
- Unidade de Proteção Integral estadual
  State Full Protection Unit
- Unidade de Proteção Integral municipal*
  *Municipal Full Protection Unit**
- Unidade de Uso Sustentável federal (exceto RPPN)
  Federal Sustainable Use Unit (except RPPN)
- Unidade de Uso Sustentável estadual
  State Sustainable Use Unit
- Unidade de Uso Sustentável municipal*
  *Municipal Sustainable Use Unit**
- Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN
  Private Reserve of Natural Heritage - RPPN
- Terra Indígena
  Indigenous land
- Quilombo
  Quilombola land
- Assentamento agrícola
  Agricultural settlement
- Rio, corpo d'água
  River, water body
- Divisa estadual
  State boundary
- Sede municipal
  Municipality

MAPA/MAP 3.1 .

Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Assentamentos e Quilombos

CONSERVATION UNITS, INDIGENOUS LANDS, AGRICULTURAL SETTLEMENT AREAS AND QUILOMBOLA LANDS

*Unidades de Conservação municipais cadastradas no SEUC / SEMA[15]

**MUNICIPAL CONSERVATION UNITS REGISTERED IN SEUC / SEMA[15]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[23],[24], ANA[25], FUNAI[26], MMA[27], SEMA[15], INCRA[28], ICMBio[29]

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

étnicos: Anacé, Gavião, Jenipapo-Kanindé, Kalabaça, Kanindé, Kariri, Pitaguary, Potiguara, Tapeba, Tabajara, Tapuia-Kariri, Tremembé, Tubiba-Tapuia e Tupinambá. Esses grupos distribuem-se em 18 municípios[17].

O aproveitamento eólico e solar em larga escala em terras indígenas é dependente de decreto do Presidente da República a título de realização de obra pública que interesse ao desenvolvimento nacional[18]. Isso é estabelecido pela Constituição Federal, que atribui à União a competência de "demarcar, proteger e fazer respeitar todos os bens e direitos dos povos indígenas[19]", ressaltando-se que, para essas comunidades, a terra não significa apenas a ocupação de um espaço, mas também um lugar necessário para a sobrevivência e manutenção de sua cultura[17]. Por outro lado, sem estar sujeita às mesmas limitações legais que a geração centralizada, a microgeração distribuída pode ser uma fonte de energia nas áreas de aldeias, cooperativas tradicionais e sociais e associações de produção[17].

QUILOMBOLAS:

Territórios quilombolas são sítios tombados por se tratarem de reminiscências históricas[20]. Este fato impõe restrições a todo tipo de empreendimento com qualquer potencial para causar impactos à comunidade quilombola, estando este localizado dentro de seu perímetro ou em área vizinha[21]. Em territórios quilombolas, a titularidade fundiária, em nome da associação de moradores, é coletiva e inalienável[19].

ASSENTAMENTOS:

Para o desenvolvimento do potencial eólico ou de grandes projetos de aproveitamento solar em assentamentos agrícolas, é preciso observar o prazo mínimo de 10 anos contados a partir da concessão de uso da terra aos assentados até a obtenção da plena titularidade do imóvel, de forma que os mesmos possam celebrar contratos de cessão do uso do solo diretamente a terceiros por: aquisição, cessão de direito de uso de superfície ou arrendamento[19],[22].

Enquanto a titularidade do imóvel não for obtida pelo assentado, a propriedade permanece registrada em nome da União. Assim, negociações pela cessão do direito de uso deverão obrigatoriamente incluir também as instituições responsáveis pelo assentamento (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA – e/ou Secretaria do Desenvolvimento Agrário – SDA). O projeto acaba submetido, desta maneira, a um processo de concessão de uso de terras públicas.

3.4 ÁREAS DEGRADADAS

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil (2004), sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, apontou os espaços mais afetados pelas secas recorrentes na região Nordeste, definiu e caracterizou a Área Susceptível à Desertificação – ASD, na qual se destacam: (i) os Núcleos Desertificados, áreas já reconhecidas pelo poder público como sendo de alto grau de degradação; (ii) as áreas semiáridas, definidas pelo Governo Federal a partir da isoieta de 800 mm; (iii) as áreas subúmidas secas, segundo o índice de aridez definido pela Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação – CNUCD; (iv) as áreas de entorno das áreas semiáridas e subúmidas secas, que em algum momento estiveram em estado de calamidade devido à seca, e; (v) as novas áreas em processo de desertificação, indicadas pelos diagnósticos estaduais, elaborados a partir de 2004[30].

Por essa definição, o Ceará tem 100% do seu território dentro da ASD, onde estão incluídas áreas fortemente degradadas, segundo mapeamento da FUNCEME[31] (Mapa 6.3). Estas são áreas

from 14 ethnic groups: Anacé, Gavião, Jenipapo-Kanindé, Kalabaça, Kanindé, Kariri, Pitaguary, Potiguara, Tapeba, Tabajara, Tapuia-Kariri, Tremembé, Tubiba-Tapuia and Tupinambá. These groups are distributed in 18 municipalities[17].

Large-scale solar and wind power exploitation in indigenous lands is dependent on a Presidential Decree to carry out public works of interest to national development[18]. This is established by the Federal Constitution, which grants the Union the competence to "demarcate, protect and enforce all property and rights of indigenous people[19]", emphasizing that, for these communities, land does not only mean the occupation of a space, but also a place necessary for the survival and maintenance of their culture[17]. On the other hand, without being subject to the same legal constraints as centralized generation. Distributed microgeneration can be a source of energy in villages, traditional and social cooperatives and production associations[17].

QUILOMBOLA *LANDS:*

Quilombola *territories are granted protected status for being historical reminiscences[20]. This fact imposes restrictions on each and every type of project with any potential of causing impacts to the* quilombola *community, whether it is located within its perimeter or in a neighboring area[21]. In* quilombola *territories, land ownership, on behalf of the residents' association, is collective and inalienable[19].*

AGRICULTURAL SETTLEMENTS:

For the development of wind power potential or large projects of solar power exploitation in agricultural settlements, it is necessary to wait a minimum of 10 years from the concession of land to settlers until obtaining full property ownership, so that they are able to enter into land assignment agreements directly with third parties for: acquisition, assignment of land surface use rights or leasing[19],[22].

While property ownership is not obtained by the settler, the property remains registered in the name of the Union. Thus, negotiations for assigning use rights must also necessarily include the institutions responsible for the settlement (National Institute for Colonization and Agrarian Reform – INCRA – and/or Agrarian Development Secretariat – SDA). In this way, the project ends up being submitted to a public land use concession process.

3.4 Degraded Areas

The National Action Program to Combat Desertification and Mitigate the Effects of Drought – PAN-Brazil (2004), under the coordination of the MMA, identified the areas most affected by recurring droughts in the Northeast, and defined and characterized the Area Susceptible to Desertification – ASD, in which the following stand out: (i) Desertified Centers, areas already recognized by the government as areas with a high degree of degradation; (ii) the semiarid areas, defined by the Federal Government from the 800 mm isohyet; (iii) dry sub-humid areas, according to the aridity index defined by the United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD; (iv) the surrounding area of semi-arid and dry sub-humid areas, which were, at some point, in a state of disaster due to drought, and; (v) the new areas undergoing desertification processes, indicated by state diagnoses, elaborated since 2004[30].

According to this definition, Ceará has 100% of its territory within the ASD, included heavily degraded areas therein, according to FUNCEME[31] mapping (Map 6.3). These are areas where, for a long time,

FIGURA 3.2 Floresta Nacional do Araripe-Apodi.
FIGURE 3.2 *Araripe-Apodi National Forest.*





FIGURA 3.3 Monumento Natural das Falésias de Beberibe.
FIGURE 3.3 *Beberibe Cliffs Natural Monument.*

3 MEIO AMBIENTE E ENERGIA

ENVIRONMENT AND ENERGY



FIGURA 3.4 Parque Nacional de Ubajara.

FIGURE 3.4 *Ubajara National Park.*



FIGURA 3.6 Parque Nacional de Jericoacoara.

FIGURE 3.6 *Jericoacoara National Park.*

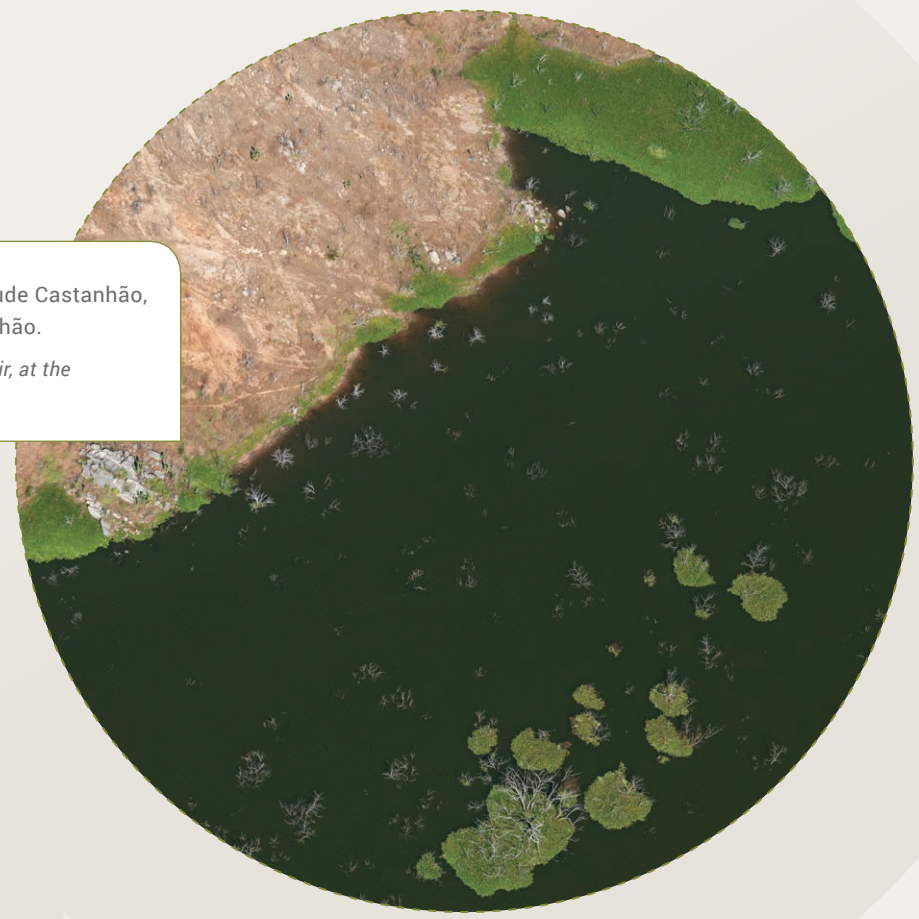


FIGURA 3.7 Reservatório do Açude Castanhão, na Estação Ecológica Do Castanhão.

FIGURE 3.7 *Castanhão Dam reservoir, at the Castanhão Ecological Station.*

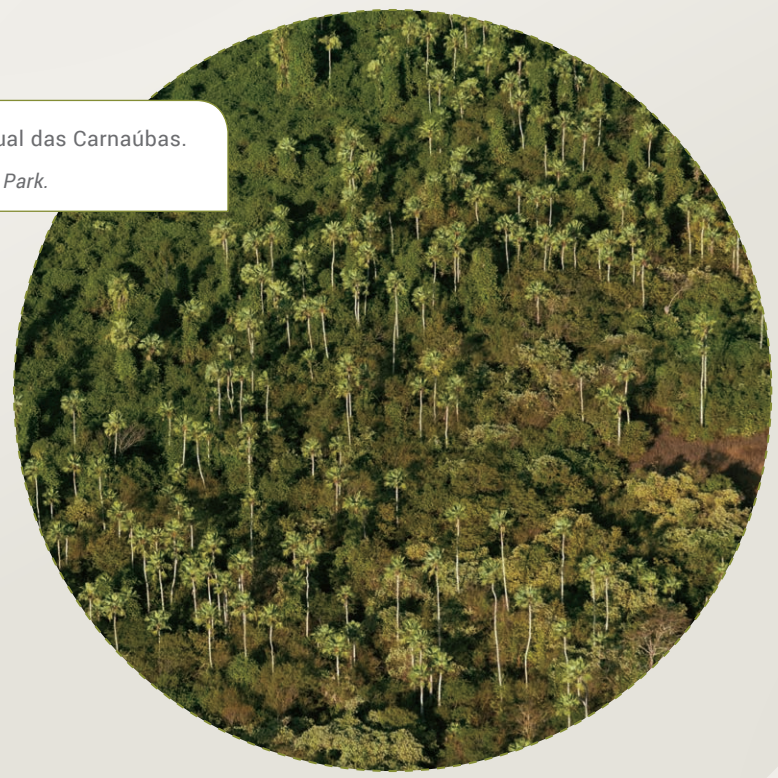


FIGURA 3.5 Parque Estadual das Carnaúbas.

FIGURE 3.5 *Carnaúbas State Park.*



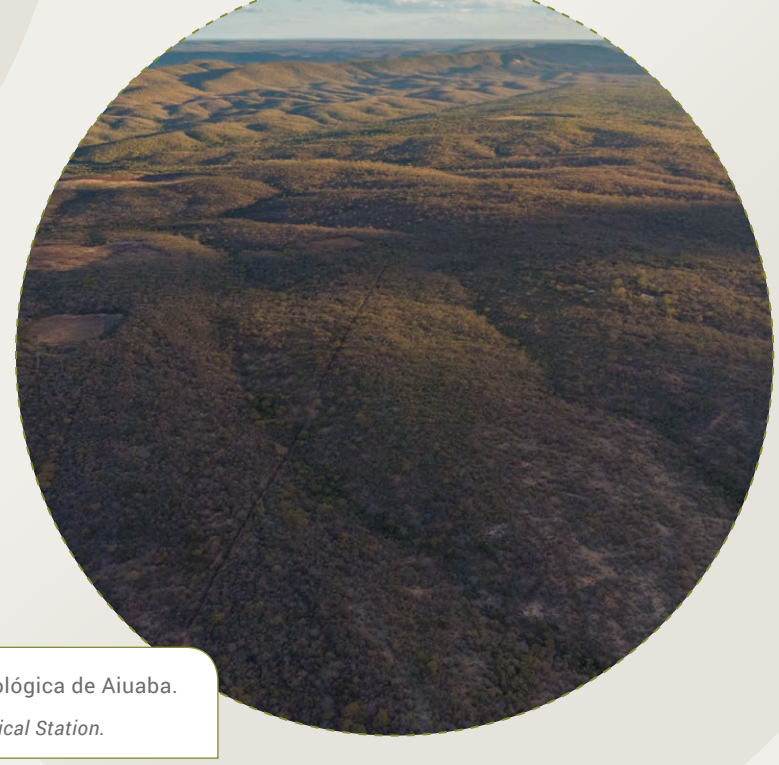


FIGURA 3.8 Estação Ecológica de Aiuaba.

FIGURE 3.8 *Aiuaba Ecological Station.*

FOTOS/PHOTOS: ZIG KOCH

there had been intense exploitation of natural resources and inadequate land use, added to the impacts of climate variations, especially drought. They are, therefore, entirely transformed, with severe to irreversible environmental modifications, exposing evidences of desertification[32].

Considering that one of the main objectives of the PAN-Brazil Program is the fight against poverty and inequality, the degraded areas could be used for the installation of renewable energy generation projects, through a detailed study of the physical conditions of these spaces. The estimated solar resource for these areas is presented in Chapter 7.

3.5 Environmental Impacts

Some of the environmental impacts associated with wind and solar power generation are pertinent to the manufacturing industry, since it is necessary to harvest from nature the compounds to manufacture wind turbines, solar panels, and plant infrastructure, in addition to producing waste related to these processes[33].

Power generation from wind or solar sources affects the environment for using large area for its installation, interfering with flora and fauna, resulting in the change of vegetation cover. Large clusters of wind turbines and solar panels also generate visual pollution, altering the natural landscape. In solar generation by photovoltaic technology, water is used to periodically clean the panels to maintain performance. In solar power generation using concentration technology, water may be used for system cooling, as working fluid or to clean the mirrors. Specially in wind power generation, there may be direct interference with birds by collision with wind turbine blades, towers, or transmission lines. Other impacts include shadow flickering and noise generated by blade rotation.

However, many of these effects can be reduced. A wind power plant, when installed in agricultural sites, has a low impact compared to other energy sources, allowing the surrounding areas to be used. In addition, modern wind turbines are progressively reducing noise production[33].

It is important to mention that for both wind and solar energy, the emission of greenhouse gases during operation is restricted to plant maintenance activities.

3.5.1 OFFSHORE ENERGY PROJECTS

In Brazil, to date, there is no regulatory benchmark for the exploitation of the offshore wind power potential which addresses issues such as environmental licensing, implementation, concession model, and means of exploiting these areas. At present time, IBAMA's Division of Environmental Licensing of Nuclear, Thermal, Wind and Other Alternative Energy Sources – DENEF, plans to hold public calls to discuss the environmental licensing process for offshore wind farms in Brazil. As these areas belong to the Federal Government, models for inventory, area delimitation, concession, and exploitation need to be defined.

In countries with offshore wind farms, researches focus on assessing the impacts from these farms on fishery resources and local marine biology. According to some of these researches, different degrees of physical disturbance can be triggered over the lifespan of an offshore wind farm[34]. *During the initial and final phases (construction and decommissioning), the seabed is disturbed by the sediment movement resulting from the construction or removal of wind turbine foundations, substations, and the installation or removal of undersea cables. During the operational phase, the presence of the wind farm's physical structures can affect the dynamics of water movement and sediment deposition patterns.*

Other direct impacts are noise generation, which may affect species, such as whales, which use sound for communication and echolocation, the collision of marine life with underwater structures, the collision of birds with wind turbine blades, possible negative interactions with electromagnetic fields generated in undersea cables, changes in the food chain and pollution.



FOTO/*PHOTO*: RAMON F.

FIGURA 3.9 Aproveitamento agrícola em usina eólica.

FIGURE 3.9 *Agricultural use in wind power plant.*

onde, por muito tempo, houve uma intensa exploração dos recursos naturais e uso inadequado das terras, somados aos impactos das variações climáticas, principalmente, da seca. Apresentam-se, portanto, inteiramente transformadas, com modificações ambientais de severas a irreversíveis, expondo evidências de desertificação[32].

Considerando que um dos principais objetivos do Programa PAN-Brasil é o combate à pobreza e à desigualdade, as áreas degradadas poderiam ser aproveitadas para a instalação de empreendimentos de geração de energias renováveis, mediante estudo detalhado das condições físicas desses espaços. No Capítulo 7, é apresentado o potencial solar estimado para essas áreas.

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Alguns dos impactos ambientais associados à geração de energia eólica e solar são pertinentes à indústria de transformação, pois é necessário extrair da natureza os compostos para a fabricação dos aerogeradores, painéis solares e infraestrutura das usinas, gerando também resíduos decorrentes desses processos[33].

A geração de energia por fonte solar ou eólica afeta o meio ambiente ao utilizar grandes áreas para sua instalação, interferindo na flora e fauna, tendo como consequência a alteração da cobertura vegetal. Grandes aglomerados de aerogeradores e painéis solares também geram poluição visual, alterando a paisagem natural. Na geração solar por tecnologia fotovoltaica, ocorre o uso da água na limpeza periódica dos painéis, para manutenção do desempenho. Na geração solar por tecnologia de concentração, a água pode ser utilizada no arrefecimento do sistema, como fluido de trabalho, ou na limpeza dos espelhos. Especialmente na geração eólica, pode existir interferência direta na fauna alada por colisão com as pás dos aerogeradores, com as torres ou com as linhas de transmissão. Outros impactos incluem cintilação de sombra (*shadow flicker*) e ruído causado pela rotação das pás.

Contudo, muitos desses efeitos podem ser reduzidos. Uma usina eólica, quando instalada em locais de agricultura, possui baixo impacto em comparação com outras fontes de energia, ao possibilitar o aproveitamento da área em seu entorno. Além disso, turbinas eólicas modernas vêm progressivamente reduzindo a produção de ruído[33].

É importante mencionar que, tanto no caso da energia solar como no caso da energia eólica, a emissão de gases de efeito estufa durante a operação se resume às atividades de manutenção das usinas.

3.5.1 *Aproveitamentos Energéticos* Offshore

No Brasil, não existe até o momento um marco regulatório para a exploração do potencial eólico marítimo que trate de questões tais como licenciamento ambiental, implementação, modelo de concessão ou modo de exploração das áreas. Atualmente, a Divisão de Licenciamento Ambiental de Energia Nuclear, Térmica, Eólica e de Outras Fontes Alternativas – DENEF, do IBAMA, planeja a realização de chamadas públicas para discussão do processo de licenciamento ambiental de parques *offshore* no Brasil. Como essas áreas pertencem à União, é necessário que ocorram definições sobre os modelos de inventário, de delimitação das áreas, concessão e exploração.

Nos países com parques *offshore*, as pesquisas se concentram na avaliação dos impactos desses parques sobre os recursos pesqueiros e sobre a biologia marinha local. De acordo com algumas dessas pesquisas, diferentes graus de distúrbios físicos podem ser desencadeados no decorrer do ciclo de vida de uma usina eólica *offshore*[34]. Durante as fases inicial e final (construção e descomissionamento), o leito marinho é perturbado pela movimentação de sedimentos decorrente da construção ou remoção das fundações dos aerogeradores, de subestações e da instalação ou remoção de cabos submarinos. Durante a fase de operação, a presença das estruturas físicas da usina pode afetar a dinâmica dos movimentos das águas e os padrões de deposição dos sedimentos.

Outros impactos diretos são a geração de ruído, podendo afetar espécies, tais como as baleias, que utilizam o som comunicação e localização, a colisão da vida marinha com as estruturas submersas, a colisão de pássaros com as pás dos aerogeradores, possíveis interações negativas com campos eletromagnéticos gerados nos cabos submarinos, alteração na cadeia alimentar e poluição.

Assim como há potenciais impactos negativos, existem também potenciais impactos positivos. As estruturas dos ae-

rogeradores podem atuar como recifes artificiais. Uma zona de segurança criada ao redor das usinas pode servir como uma reserva marinha, afastando os barcos e reduzindo a pesca na área. Desta maneira, a usina pode contribuir para a preservação das espécies e a proliferação da vida marinha. Por fim, também existe a possibilidade do uso combinado de uma área marítima para exploração eólica *offshore* e para alguns tipos de maricultura[35].

Na Tabela 3.2, resume-se os principais potenciais impactos ambientais associados às diferentes fases do ciclo de vida de usinas solares e eólicas, *onshore* e *offshore*.

Just as there are potential negative impacts, there are also potential positive impacts. Wind turbine structures can act as artificial reefs. A safety zone created around the plants can serve as a marine reserve, driving boats away and reducing fishing in the area. In this way, the plant can contribute to species preservation and the proliferation of marine life. Finally, there is also the possibility of the combined use of a maritime area for offshore wind exploitation and some types of mariculture[35].

Table 3.2 summarizes the main potential environmental impacts associated with different life-cycle phases of onshore and offshore solar and wind power plants.

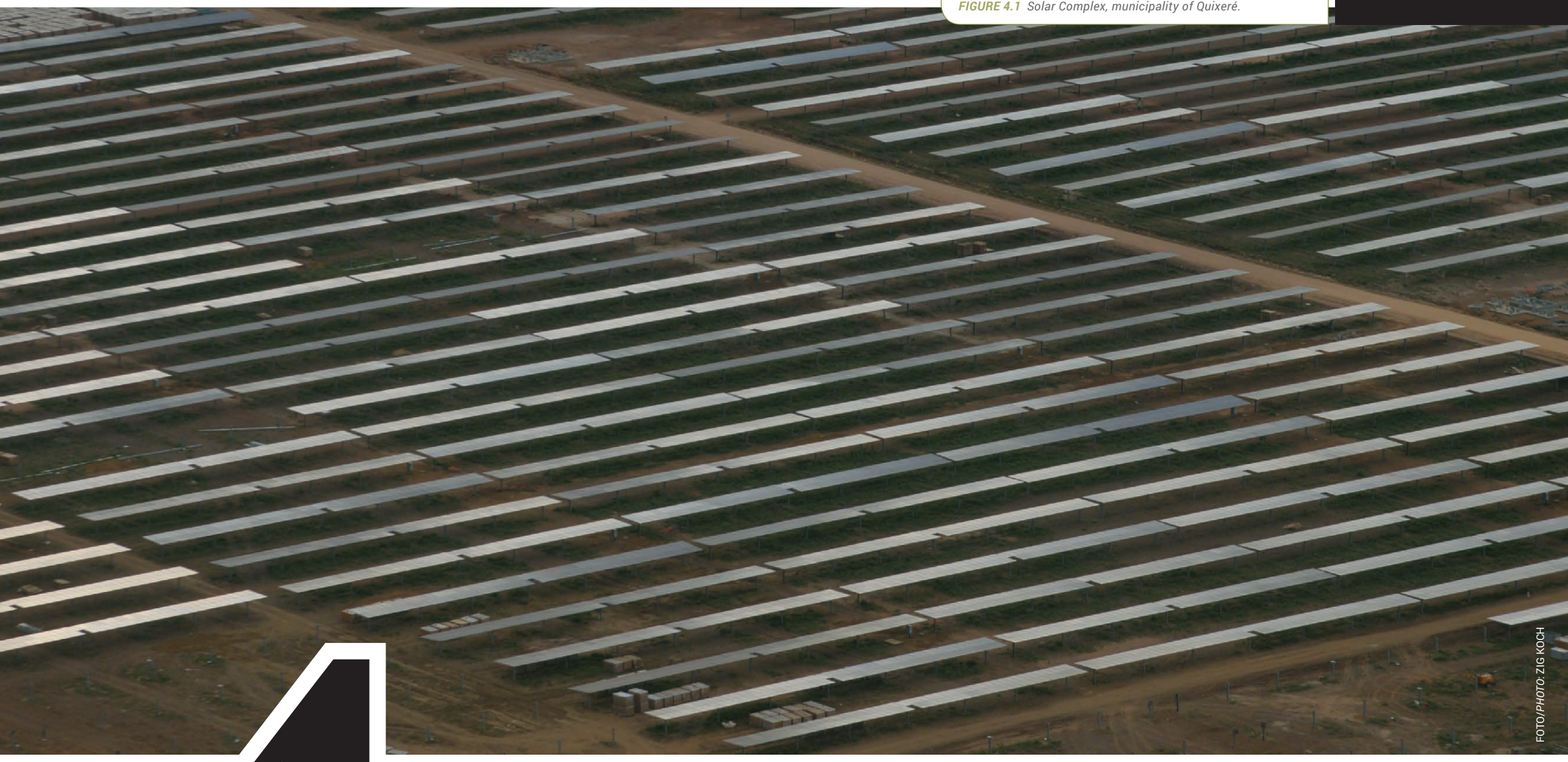
TABELA 3.2 Potenciais impactos ambientais durante o ciclo de vida de usinas solares e eólicas.

TABLE 3.2 *Potential environmental impacts during the life-cycle of solar power plants and wind farms.*

Construção *Construction*	Operação *Operation*	Descomissionamento *Decommissioning*
Construção da usina, das linhas de transmissão e subestações *Construction of power plant, transmission lines and substations*		
	Uso de eletricidade *Use of electricity*	
Uso de materiais potencialmente contaminantes e inflamáveis *Use of potentially contaminated or flammable materials*		
Necessidade de grandes áreas *Need for large areas*		
Emissão de CO2e (emissões mínimas durante a operação) *CO2e Emission (minor emissions during operation)*		
Infraestrutura da usina, das linhas de transmissão e das subestações *Power plant, transmission lines and substations infrastructure*		
		Remoção da usina, das linhas de transmissão e da subestação *Removal of power plant, transmission lines and substation*
Nivelamento da superfície *Land grading*		
Remoção da flora *Flora removal*		
Atividade veicular *Vehicular activity*		
Perturbação do substrato (solo, leito marinho) *Substrate disturbance (soil, seabed)*		
	Uso de água na limpeza dos painéis fotovoltaicos *Water use for photovoltaic panel cleaning*	
	Uso de água na limpeza dos espelhos *Water use for mirrors cleaning*	
	Uso de água para arrefecimento *Water use for cooling*	
	Geração de ruído *Noise generation*	
	Cintilação de sombra *Shadow flicker*	
	Colisão da fauna alada com as pás dos aerogeradores *Collision between winged fauna and wind turbine blades*	
Construção de estradas *Road construction*		
		Remoção das estradas *Road removal*
	Colisão da vida marinha com as estruturas submersas *Collision between marine life and subsea structures*	
Alteração nos padrões de deposição de sedimentos *Change in sediment deposition patterns*		
	Interferência dos campos eletromagnéticos gerados nas linhas de transmissão de energia na vida marinha *Interference of electromagnetic fields generated by energy transmission lines in marine life*	

- Todas as modalidades citadas / *All of the aforementioned modalities*
- Somente solar fotovoltaica / *Photovoltaics only*
- Somente solar por concentração / *Concentrated solar only*
- Somente eólica / *Wind only*
- Somente terrestre / *Onshore only*
- Somente offshore / *Offshore only*

FIGURA 4.1 Complexo Solar Apodi, município de Quixeré.
FIGURE 4.1 *Solar Complex, municipality of Quixeré.*



FOTO/*PHOTO*: ZIG KOCH

4 TECNOLOGIA

TECHNOLOGY

4 TECNOLOGIA
TECHNOLOGY

FIGURA 4.2 Complexo Eólico Pedra Cheirosa, município de Itarema.

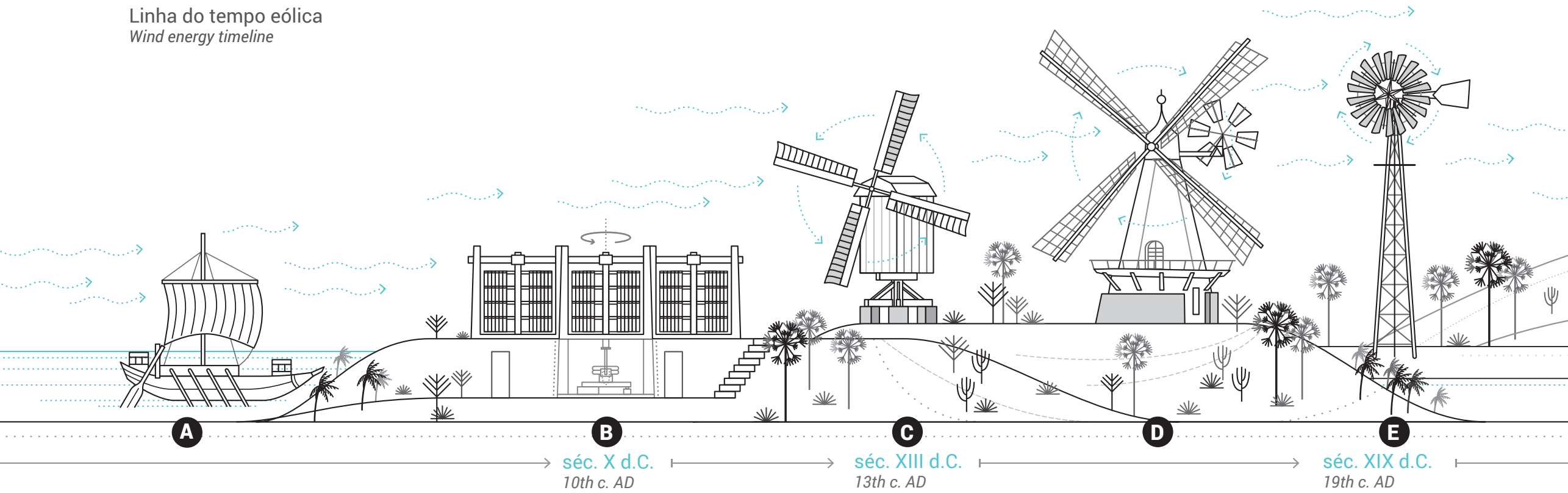
FIGURE 4.2 *Wind Complex Pedra Cheirosa, municipality of Itarema.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

FIGURA 4.3 .
FIGURE 4.3 .

Linha do tempo eólica
Wind energy timeline



4.1 History

4.1.1 WIND ENERGY

The use of wind force dates back to ancient times when its energy was used to propel vessels (Figure 4.3a). Nevertheless, it was only from the tenth century that wind energy was harnessed by machines. Records indicate the use of the wind's drag force for grain milling in that century, in the region of Sistan (Persia), by mills with vertical axis of rotation[1],[2] (Figure 4.3b). It is also believed that the Chinese would have used windmills at the same time to drain rice fields[1].

Horizontal axis windmills, which make use of the wind's lift force, only started to be used in the late 12th century. There are indications that point toward the early examples of this model in Northwest Europe, from where the technology would have spread to other European regions. Known as "post windmills" (Figure 4.3c), these machines, made of wood and employed mainly in grain milling, were later developed on pivoting bases, allowing vertical movement and, therefore, positioning according to the main wind direction (13th century). In the beginning of the 14th century, "tower windmills", named after the fixed central stone tower, differed from the preceding technology, allowing for higher equipment[1],[2].

In subsequent centuries, mills underwent major technological advances, increasing their efficiency. The blades began featuring nonlinear torsion along their length, and their main support beams became closer to the leading edge, minimizing incident loads. Aerodynamic braking systems were also developed on the blades, through Venetian type structures. Finally, the fantail was created, the first system that allowed the automatic yawing of the windmill, located at the rear of the machine[1],[2] (Figure 4.3d).

In the 19th century, new structural improvements took the Dutch mills to the peak of their technological development, featuring fixed tower and movable cap. In North America, the "western windmills" emerged (Figure 4.3e). These machines, used for pumping water, had a multi metal blade rotor supported by a lattice tower and equipped with passive yaw system[1],[2].

It was only at the end of the 19th century that efforts began to be directed toward a technology capable of converting wind power into electrical energy. One of the pioneers in the transition from windmills to wind turbines was American Charles F. Brush, who in 1888 invented and built a mill capable of generating 12 kW of electric power, with 144 thin blades. A few years later, in 1891, Poul LaCour, in the town of Askov, Denmark, adapted a four-bladed windmill with a direct current generator (Figure 4.3f), having performed, moreover, several scientific experiments with these machines.

Windmill advances culminated in the two- or three-bladed horizontal-axis wind turbines developed from the 1940s to the 1960s. In 1941, the first megawatt wind turbine connected to the power grid (Figure 4.3g) was built by the engineer Palmer C. Putnam in Vermont, United

4.1 HISTÓRICO

4.1.1 Energia Eólica

O uso da força dos ventos remonta à antiguidade, quando sua energia era utilizada para propelir embarcações (Figura 4.3a). Não obstante, somente a partir do século X, a energia do vento veio a ser aproveitada por máquinas. Registros indicam o uso da força de arrasto dos ventos para a moagem de grãos naquele século, na região de Sistão (Pérsia), por meio de moinhos com eixo vertical de rotação[1],[2] (Figura 4.3b). Acredita-se também que os chineses teriam usado moinhos de vento na mesma época, para a drenagem de plantações de arroz[1].

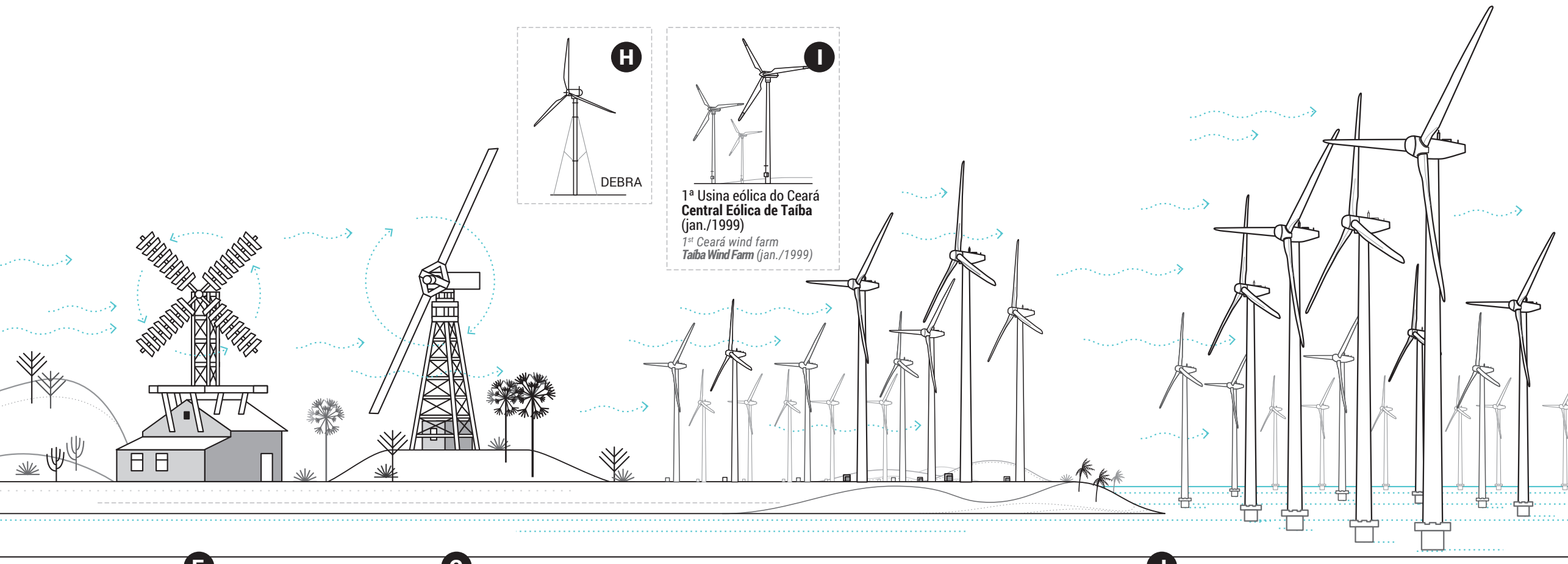
Os moinhos de eixo horizontal de rotação, que fazem uso da força de sustentação do vento, só começaram a ser utilizados no final do século XII. Indícios apontam os primeiros exemplares desse modelo para o Noroeste da Europa, a partir de onde a tecnologia teria se espalhado para outras regiões européias. Conhecidos como *post windmills* (Figura 4.3c), essas máquinas, feitas de madeira e empregadas principalmente na moagem de grãos, foram posteriormente desenvolvidas sobre bases pivotantes, permitindo a movimentação vertical e, portanto, o posicionamento segundo a direção principal do vento (séc. XIII). No início do séc XIV, as *tower windmills*, nomeadas em referência à torre central fixa de pedra, diferiram da tecnologia prévia, permitindo equipamentos de maiores alturas[1],[2].

Nos séculos subsequentes, os moinhos passaram por grandes avanços tecnológicos, aumentando sua eficiência. As pás passaram a apresentar torção não linear ao longo do seu comprimento, e suas vigas de sustentação principal ficaram mais próximas ao bordo de ataque, minimizando as cargas incidentes. Foram desenvolvidos também sistemas de frenagem aerodinâmica nas pás, através de estruturas do tipo veneziana. Por fim, criou-se o *fantail*, o primeiro sistema que permitia controle automático da direção do moinho de vento, localizado na parte de trás da máquina[1],[2] (Figura 4.3d).

No séc. XIX, novos aperfeiçoamentos estruturais levaram os moinhos holandeses ao auge do seu desenvolvimento tecnológico, contemplando a torre fixa e a parte superior móvel. Na América do Norte, surgiram os "moinhos do oeste" (dos EUA – *western windmills*) (Figura 4.3e). Essas máquinas, usadas para o bombeamento de água, possuíam um rotor de múltiplas pás metálicas sustentado por uma torre treliçada e dotado de controle passivo de direção (*yaw system*)[1],[2].

Foi somente no final do séc. XIX que esforços começaram a ser direcionados para uma tecnologia capaz de converter a potência do vento em energia elétrica. Um dos pioneiros na transição dos moinhos de vento para as turbinas eólicas foi o norte-americano Charles F. Brush, que, em 1888, inventou e construiu um moinho capaz de gerar 12 kW de potência elétrica, com 144 finas pás. Alguns anos depois, em 1891, Poul LaCour, na cidade de Askov, Dinamarca, adaptou um moinho de quatro pás com um gerador de corrente contínua (Figura 4.3f), tendo realizado, além disso, diversos experimentos científicos com essas máquinas.

Os avanços nos moinhos de vento culminaram com as turbinas eólicas de eixo horizontal de duas ou três pás, desenvolvidas durante os anos de 1940 a 1960. Em 1941, foi construída a primeira turbina eólica da ordem de megawatts conectada à rede de energia (Figura 4.3g), pelo engenheiro Palmer C. Putnam, em Vermont,



ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

Estados Unidos. Esta máquina possuía 53 m de diâmetro de rotor, 2 pás e 1 250 kW* de potência. Na Alemanha, em 1955, Ulrich Hütter desenvolveu mais um conceito inovador, com pás de fibra de vidro e controle de passo eletro-hidráulico[3], que influenciou no *design* das turbinas eólicas utilizadas até os dias atuais[1].

Com o aumento do preço do petróleo na primeira crise energética, em 1973, a energia eólica foi impulsionada, juntamente com outras fontes de energia renovável, em busca da redução da dependência econômica do petróleo. No Brasil, o Centro Técnico Aeroespacial – CTA, em conjunto com a *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt* – DLR, uniu esforços para o desenvolvimento da turbina eólica DEBRA 100 kW (Figura 4.3h), comercializada na Alemanha como Adler 25.

A partir da década de 1980, graças a subsídios governamentais em todo o mundo, a fonte eólica se desenvolveu ainda mais, e os custos de produção de energia começaram a se reduzir. A tecnologia foi aperfeiçoada e os aerogeradores cresceram em tamanho e em capacidade de produção, chegando ao formato das chamadas turbinas eólicas modernas (Figura 4.3j). A próspera evolução da capacidade instalada dessa fonte energética no mundo, nas últimas quatro décadas, é apresentada na Figura 4.6.

No Brasil, o primeiro grande impulso governamental em prol do desenvolvimento da energia eólica culminou no PROINFA, em 2004. O programa, que objetivava aumentar a participação das fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas na matriz energética do país, resultou na contratação de 1,1 GW em energia eólica[4]. No Ceará, o início da história da energia eólica precede a criação desse programa. Em janeiro de 1999, foi instalada a primeira usina do Estado, que foi a primeira geradora eólica independente do Brasil[5], na cidade de São Gonçalo do Amarante: a Central Eólica de Taíba (Figura 4.3i). O empreendimento contava com 5 MW de potência instalada (10 turbinas de 500 kW, com 45 m de altura e 40 m de diâmetro de rotor). O Ceará foi, portanto, pioneiro no desenvolvimento de energia eólica no Brasil, ressaltando-se os marcos estaduais relacionados na Tabela 4.2 (seção 4.2). Alguns anos depois da criação do PROINFA, outro grande passo foi dado para o crescimento da fonte no país, quando, em 2009, 1,8 GW foram contratados no primeiro Leilão de Energia de Reserva – LER – destinado exclusivamente à energia eólica. Dentro deste montante, 21 projetos localizavam-se no Ceará, os quais somados resultaram cerca de 543 MW (30% do contratado)[6].

A partir de então, o Ministério de Minas e Energia – MME – continuou a promover leilões de energia abertos à participação eólica, fomentando assim o crescimento dessa fonte no Brasil. A energia eólica começou a se tornar mais competitiva no mercado brasileiro e seus custos de produção continuaram a cair, com a instalação de indústrias da cadeia produtiva e com o incentivo decorrente dos leilões de energia e da dinâmica da economia global.

Até junho de 2019, o Brasil possuía uma capacidade instalada de energia eólica de 15,1 GW, dos quais 2,05 GW estavam distribuídos em 81 parques localizados no Ceará[7], colocando-o em terceiro lugar no Brasil em capacidade instalada dessa fonte. O acentuado crescimento da energia eólica no Brasil, acompanhando a tendência mundial, é apresentado na Figura 4.6.

States. This machine featured a 53 m rotor diameter, 2 blades and 1 250 kW of power. In Germany, in 1955, Ulrich Hütter developed yet another innovative concept, with fiberglass blades and electro-hydraulic pitch control[3], which influenced the design of wind turbines used up to the present day[1].

With rising oil prices in the first energy crisis, in 1973, wind energy was boosted, along with other renewable energy sources, as an effort to reduce economic dependence on oil. In Brazil, the Aerospace Technical Center – CTA, together with the German Aerospace Center – DLR, joined forces to develop the DEBRA 100 kW wind turbine (Figure 4.3h), marketed in Germany as Adler 25.

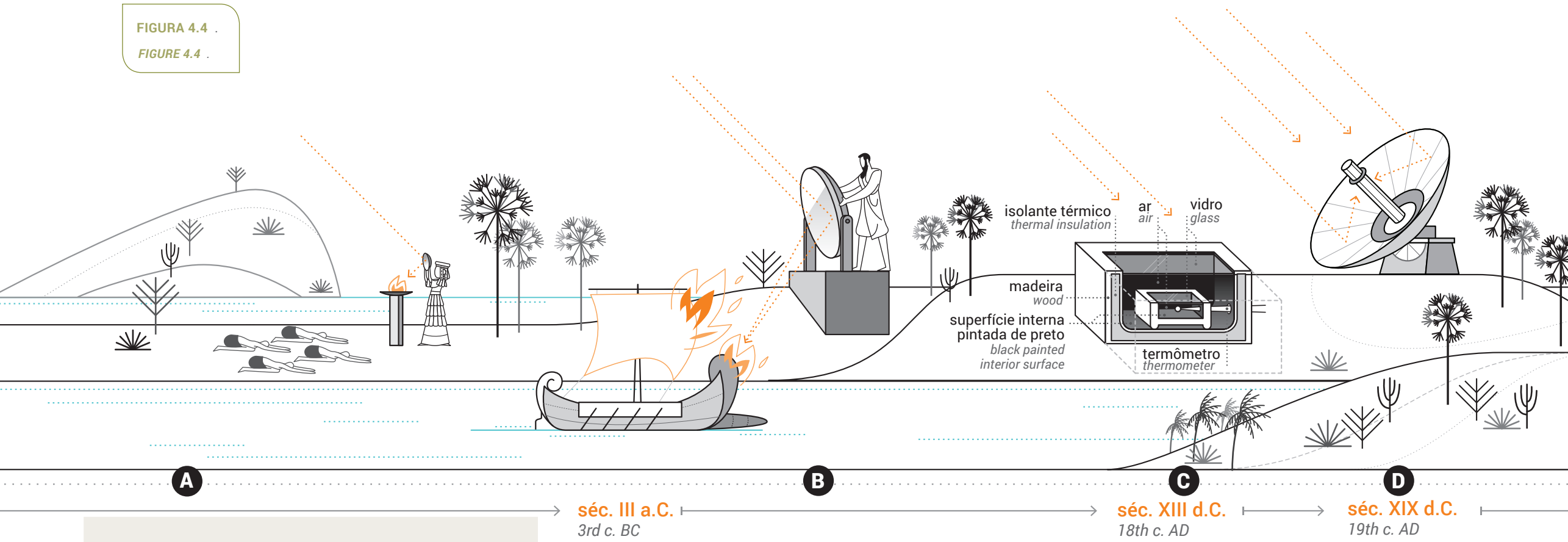
From the 1980s, thanks to government subsidies around the world, wind power source was further developed, and energy production costs started to drop. Technology has been improved and wind turbines have grown in size and in production capacity, reaching the shape of the so-called modern wind turbines (Figure 4.3j). The prosperous evolution of the installed capacity of this energy source in the world, over the last four decades, is presented in Figure 4.6. In Brazil, the first major government push for the development of wind energy culminated in PROINFA, in 2004. The program, which aimed to increase the participation of wind, biomass, and small hydroelectric power plants sources in the country's energy matrix, resulted in the contracting of 1,1 GW of wind power[4]. In Ceará, the beginning of wind energy history precedes the creation of this program. In January 1999, the State's first power farm, which was the first independent wind power generator in Brazil[5], was installed in the city of São Gonçalo do Amarante: the Taíba Wind Farm (Figure 4.3i). The project had 5 MW of installed capacity (ten 500 kW turbines, 45 m high and 40 m rotor diameter). Ceará was, therefore, a pioneer in the development of wind energy in Brazil, highlighting the State landmarks listed in Table 4.2 (section 4.2). A few years after the creation of PROINFA, another big step was taken to the source's growth in the country, when, in 2009, 1,8 GW were contracted in the first Reserve Energy Auction – LER – open exclusively for wind energy. Within this amount, 21 projects were located in Ceará, equivalent, when added, to 543 MW (30% of the total)[6].*

Thereafter, the Ministry of Mines and Energy – MME – continued to promote energy auctions open to wind participation, thus encouraging the growth of this source in Brazil. Wind energy began to become more competitive in the Brazilian market and its production costs continued to fall, as a result of the installation of industries in the production chain and the stimulus stemming from the energy auctions and the dynamics of global economy.

Until June 2019, Brazil had an installed wind power capacity of 15,1 GW, of which 2,05 GW were distributed in 81 wind farms located in Ceará[7], placing Ceará third in Brazil in wind installed capacity. The sharp growth of wind energy in Brazil, following the world trend, is presented in Figure 4.6.

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.
** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT. FOR THE SAME REASON, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*

FIGURA 4.4 .
FIGURE 4.4 .



4.1.2 Energia Solar

Os primeiros registros do aproveitamento da energia solar sugerem, na região da Suméria, sul da Mesopotâmia, sacerdotisas utilizando tigelas de ouro polido como forma primitiva de espelho parabólico, para iniciar o fogo em altares[10] (Figura 4.4a). Referências também apontam para chineses e gregos a utilização independente de espelhos côncavos, com o objetivo de convergir raios solares para atear fogo em objetos[10],[11]. Um famoso evento envolvendo "espelhos ardentes" remete à Segunda Guerra Púnica (séc. III D.C.), quando, acredita-se, Arquimedes teria construído um desses artefatos para incendiar navios romanos na defesa do porto de Siracusa[10] (Figura 4.4b).

Outros registros do aproveitamento do sol remontam à arquitetura da Grécia e Roma antiga. A observação do caminho feito pelo astro ao longo do ano permitiu aos gregos construírem casas que aproveitavam melhor a energia solar no inverno e a dispersavam no verão[11]. A arquitetura romana, por sua vez, fazia uso de janelas de vidro para aprisionar o calor do sol em edificações, mantendo-as aquecidas, por um fenômeno que hoje conhecemos como efeito estufa.

O interesse pelo o aproveitamento da energia solar decresceu durante a Idade Média na Europa, mas floresceu em países árabes, onde destacaram-se os estudos do matemático Abu Ali al-Hasan al-Haitham. Esse estudioso preservou muitos conhecimentos da área, originários na antiguidade clássica, assim como continuou a evolução de conceitos de óptica, geometria e construção de espelhos concentradores dos raios solares[10],[11]. No séc. XVI, Leonardo da Vinci, inspirado pelos manuscritos de Arquimedes, idealizou a aplicação industrial da energia solar na geração de calor e potência[10]. Os projetos de da Vinci não puderam ser construídos durante sua vida, devido à falta de recursos e materiais na época, mas motivaram o desenvolvimento da energia solar durante a Revolução Industrial.

Na busca por fontes de energia alternativas ao carvão e à madeira para abastecer as máquinas a vapor durante a Revolução Industrial, Augustin Mouchot construiu, em 1866, o primeiro motor a vapor movido a energia solar em grande escala (Figura 4.4d). A máquina de Mouchot continha um espelho cônico que direcionava a radiação solar para uma caldeira cilíndrica de vidro, utilizando o mesmo conceito da câmara de calor de Saussure (Figura 4.4c). No interior da caldeira, a água em ebulição alimentava uma pequena máquina a vapor[11]. Ao longo dos anos, Mouchot aperfeiçoou a sua criação e, em 1880, seu até então assistente Abel Pifre assumiu seus experimentos. Este, em 1882, apresentou em Paris um motor solar composto por espelho côncavo e caldeira, o qual ligado a uma prensa gráfica imprimiu 500 cópias do jornal *Journal Soleil*[10],[11].

O trabalho de Mouchot impulsionou diversos experimentos subsequentes acerca do uso da energia solar na alimentação de motores, até o interesse por essa modalidade energética declinar durante a Primeira Guerra Mundial, quando as questões militares tornaram-se prioritárias, e o petróleo passou a ser o principal combustível para o transporte[10]. Em contrapartida, enquanto estudos voltados à aplicação da energia solar para fins mecânicos reduziram, outro ramo do uso da energia solar se expandia: a sua conversão direta em eletricidade. Em 1954, nos Laboratórios Telefônicos Bell (Nova Jersey, EUA), eram construídas as primeiras células fotovoltaicas de silício, capazes de suprir energia elétrica suficiente para pequenos aparelhos domésticos (Figura 4.4e).

O desenvolvimento dessas células solares só fora possível graças a experimentos prévios, tais como o do físico francês Edmund Becquerel, o qual observou, em 1839, que a condutividade de certos materiais era sensível à luz[10]. Quase vinte anos depois (1860), Willoughby Smith descobriu a fotocondutividade do selênio e, em 1876, William Grylls Adams e Evans Day mostraram que este material produzia eletricidade quando exposto à luz. Já na década

4.1.2 SOLAR ENERGY

Early records of harnessing solar energy suggest that in the region of Sumer, southern Mesopotamia, priestesses used polished gold bowls as a primitive form of parabolic mirror to light fire on altars[10] (Figure 4.4a). References also point to Chinese and Greek the independent use of concave mirrors, in order to converge sunlight to set objects on fire[10],[11]. A famous event involving "burning mirrors" goes back to the Second Punic War (3rd century A.D.), when it is believed that Archimedes would have built one of these artifacts to set Roman ships afire in defense of the port of Syracuse[10] (Figure 4.4b).

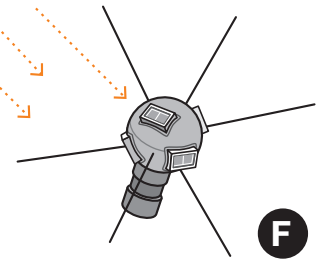
Other records of Sun harnessing date back to the architecture of ancient Greece and Rome. The observation of the Sun's path throughout the year allowed the Greeks to build houses that made better use of solar energy in winter and scattered it in summer[11]. Roman architecture, in turn, used glass windows to capture the Sun's heat in buildings, keeping them warm by a phenomenon known today as the greenhouse effect.

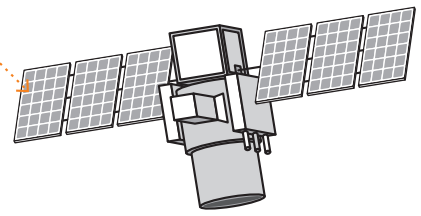
The interest in harnessing solar energy declined during the Middle Ages in Europe, but flourished in Arab countries, where the studies by the mathematician Abu Ali al-Hasan al-Haitham stood out. This scholar preserved much knowledge, with origins in the classical antiquity, as well as he continued to evolve optical and geometry concepts and construction techniques of sunlight-concentrating mirrors[10],[11]. In the 16th century, Leonardo da Vinci, inspired by Archimedes' manuscripts, idealized the industrial application of solar energy for heat and power generation[10]. Da Vinci's projects could not be built during his lifetime due to the lack of resources and materials at the time, but they motivated the development of solar energy during the Industrial Revolution.

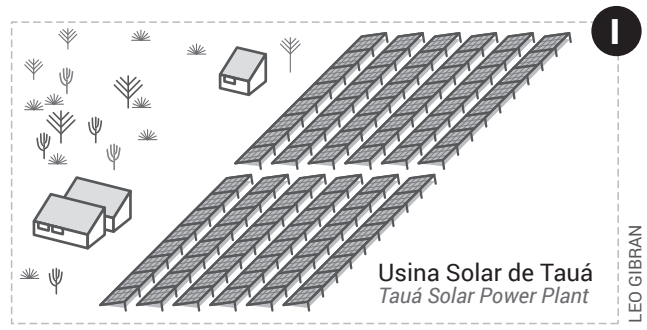
In the search for alternative energy sources to coal and wood to power steam engines during the Industrial Revolution, Augustin Mouchot built, in 1866, the first large-scale solar-powered steam engine (Figure 4.4d). Mouchot's machine contained a conical mirror that directed solar radiation to a cylindrical glass boiler, using the same concept as the Saussure's hot box (Figure 4.4c). Inside the boiler, boiling water fed a small steam engine[11]. Over the years, Mouchot perfected his creation, and in 1880 his assistant, Abel Pifre, took over his experiments. In 1882, Pifre presented in Paris a solar engine consisting of a concave mirror and boiler, which, connected to a printing press, printed 500 copies of the Journal Soleil *newspaper[10],[11].*

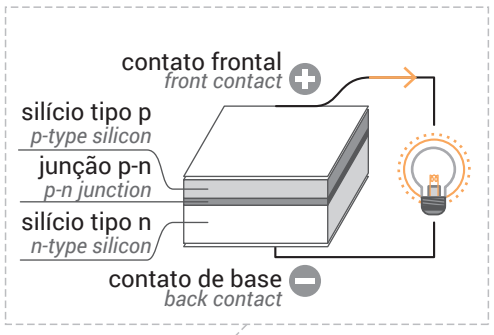
Mouchot's work encouraged several subsequent experiments on the use of solar energy to power engines, until interest in this energy source declined during World War I, when military issues became a priority, and oil became the main transportation fuel[10]. On the other hand, while studies focusing on the application of solar energy for mechanical purposes decayed, another branch of solar energy application was expanding: its direct conversion into electricity. In 1954, at Bell Telephone Laboratories (New Jersey, USA), the first silicon photovoltaic cells were built, capable of supplying sufficient electrical power for small household appliances (Figure 4.4e).

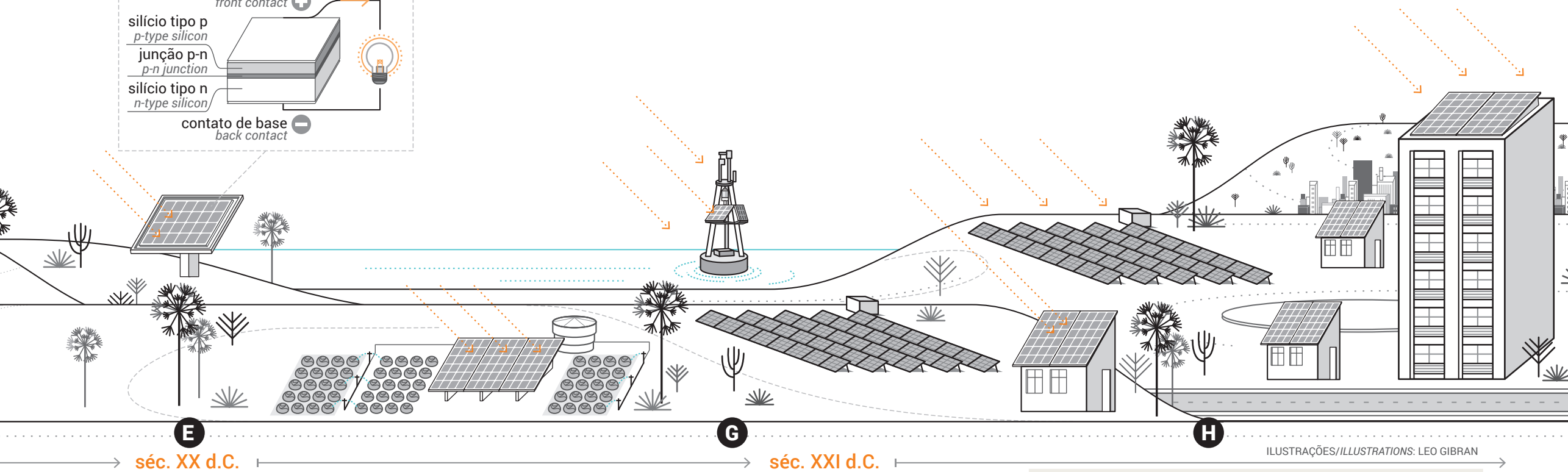
The development of these solar cells was only possible thanks to previous experiments, such as the one by the French physicist Edmund Becquerel, who observed, in 1839, that the conductivity of certain materials was light-sensitive[10]. Almost twenty years later (1860), Willoughby Smith discovered the photoconductivity of selenium, and, in 1876, William Grylls Adams and Evans Day demon-











ILUSTRAÇÕES/*ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

de 1880, Charles Fritts construiu o primeiro módulo fotoelétrico, também de selênio[12].

Apesar dos diversos experimentos realizados no séc. XIX envolvendo a emissão de elétrons em materiais expostos à luz, pouco se sabia sobre o funcionamento do fenômeno. Uma contribuição importante veio com uma publicação de Albert Einstein (1905), em que o físico expunha a ideia de que a luz era formada por pacotes de energia, conhecidos hoje como fótons, e que sua quantidade de energia variava com o comprimento de onda (quanto menor o comprimento de onda da luz, maior a energia). A partir desse novo conceito, um melhor entendimento acerca do efeito fotoelétrico foi formulado ao longo do século XX[12].

Por volta de 1920, cientistas observaram que fótons com maior energia eram capazes de desprender elétrons de alguns materiais, como o próprio selênio, e que, quando ligados por cabos, criavam corrente elétrica (efeito fotovoltaico). No entanto, as células fotovoltaicas de selênio possuíam baixa eficiência na conversão de energia, além de rápida degradação, em comparação com as atuais células de silício, que somente emergiram durante a década de 1950. A célula solar de silício desenvolvida nos Laboratórios Telefônicos Bell, por Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson, apresentava uma eficiência próxima a 6%, cinquenta vezes maior que a sua precursora. Provavelmente por ainda possuir alto custo, sua primeira aplicação comercial destinou-se à indústria aeroespacial, para alimentar o sistema de comunicação do satélite artificial Vanguard I, em 1958[12] (Figura 4.4f).

Na década de 1970, os painéis solares começaram a ser utilizados em equipamentos instalados em locais isolados, tais como bóias para sinalização de navegação, sistemas de proteção catódica de poços de petróleo e gás, sistemas de sinalização de interseções rodoferroviárias e equipamentos de repetição de microondas de torres de telecomunicação[12] (Figura 4.4g). Na década de 1980, a energia fotovoltaica foi utilizada para alimentar bombas de água em projetos humanitários na África e na eletrificação de pequenas comunidades isoladas de países em desenvolvimento[12]. Somente a partir de 1990, com incentivos governamentais e em prol da sustentabilidade, uma preocupação que começava a emergir na agenda política global é que o uso da energia do sol para fins térmicos e elétricos foi difundido com maior amplitude por todo o mundo. Com a difusão e com a evolução tecnológica, os custos foram reduzindo-se, tornando-a gradativamente mais competitiva com outras fontes de energia e consolidando-a comercialmente a partir do séc. XXI (Fig 4.4h).

O *National Renewable Energy Laboratory* – NREL – atualiza e publica periodicamente um gráfico mostrando a evolução das maiores eficiências de conversão confirmadas (por reconhecidos laboratórios de testes) das células fotovoltaicas em pesquisa, conforme reproduzido na Figura 4.7[13].

No Brasil, as primeiras aplicações da energia solar fotovoltaica aconteceram em sistemas isolados, no âmbito de programas de eletrificação rural que objetivavam o suprimento de energia elétrica a comunidades remotas do país. Os sistemas fotovoltaicos eram empregados principalmente para bombeamento de água e iluminação pública. Com o impulso recebido pelo Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM, entre 1994 e 2002 foram instalados 7 592 projetos fotovoltaicos no Brasil, dos quais 733 foram estabelecidos no Ceará[5].

Os primeiros registros de geração distribuída fotovoltaica conectada à rede no país datam de 2007, segundo a ANEEL. Apesar do lento crescimento nos primeiros anos, a redução dos custos dos painéis e a consolidação da tecnologia também trouxeram ao país a utilização em larga escala da energia fotovoltaica. Ressalta-se a importância das políticas governamentais que incentivaram o desenvolvimento, abordadas no Item 4.2.

strated that this material produced electricity when exposed to light. In the 1880s, Charles Fritts built the first photoelectric module, also made of selenium[12].

Despite many experiments carried out in the 19th century involving electron emission from materials exposed to light, little was known about the functioning of the phenomenon. An important contribution came with a publication by Albert Einstein (1905), which reported the idea that light was formed by energy packets, known today as photons, and that their amount of energy varied with wavelength (the shorter the light wavelength, the greater the energy). From this new concept, a better understanding of the photoelectric effect was formulated throughout the twentieth century[12].

Around 1920, scientists observed that high-energy photons were able to detach electrons from some materials, such as selenium itself, and that, when connected by cables, they created electrical current (photovoltaic effect). However, selenium photovoltaic cells had low energy conversion efficiency and rapid degradation compared to modern silicon cells, that only emerged during the 1950s. The silicon solar cell developed at Bell Telephone Laboratories, by Daryl Chapin, Calvin Fuller, and Gerald Pearson, had an efficiency close to 6%, fifty times higher than its precursor. Probably due to its high cost at the time, its first commercial application was in the aerospace industry, to power the Vanguard I artificial satellite communication system, in 1958[12] (Figure 4.4f).

In the 1970s, solar panels began to be used in equipment installed in isolated locations, such as navigation aid buoys, cathodic protection systems for oil and gas wells, signaling systems in road-rail intersection, and microwave repeating equipment in telecommunication towers[12] (Figure 4.4g). In the 1980s, photovoltaic energy was used to power water pumps in humanitarian projects in Africa and to electrify small isolated communities in developing countries[12]. Only from 1990, with government incentives and in behalf of sustainability, a concern that was beginning to emerge on the global political agenda, the use of the solar energy for thermal and electrical purposes was widespread worldwide. With the diffusion and the technological evolution, costs were reduced, making it gradually more competitive with other energy sources and consolidating it commercially from the 21st century (Figure 4.4h).

The National Renewable Energy Laboratory – NREL – periodically updates and publishes a chart showing the evolution of the highest confirmed (by recognized testing laboratories) conversion efficiencies for research photovoltaic cells, as reproduced in Figure 4.7[13].

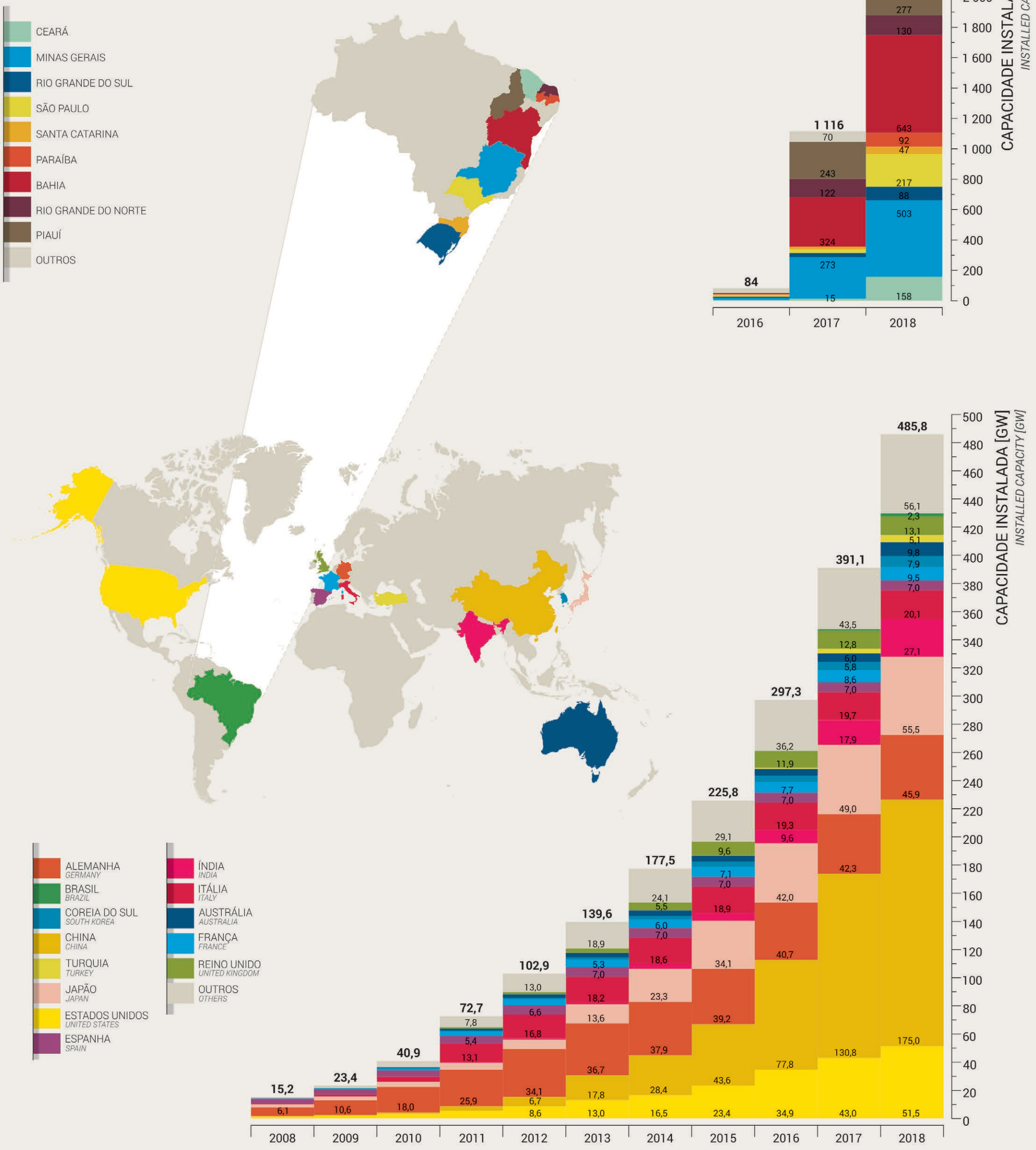
In Brazil, the first applications of photovoltaic solar energy took place in isolated systems, as part of rural electrification programs aiming at supplying electricity to remote communities in the country. Photovoltaic systems were mainly used for water pumping and street lighting. With the impetus received by the Program for Energy Development of States and Municipalities – PRODEEM, between 1994 and 2002, 7 592 photovoltaic projects were installed in Brazil, with 733 established in Ceará[5].

The first records of grid-connected photovoltaic distributed power generation in the country date from 2007, according to ANEEL. Despite the slow growth in the early years, the reduction of panel costs and technology consolidation have also brought to the country the large-scale use of photovoltaic energy. It is emphasized the importance of government policies that encouraged this development, addressed in Section 4.2.

FIGURA 4.5 Evolução da capacidade instalada solar brasileira e mundial.

FIGURE 4.5 *Evolution of global and Brazilian solar installed capacity.*

FONTE/*SOURCE*: ANEEL[18], CCEE[19] E IRENA[20].

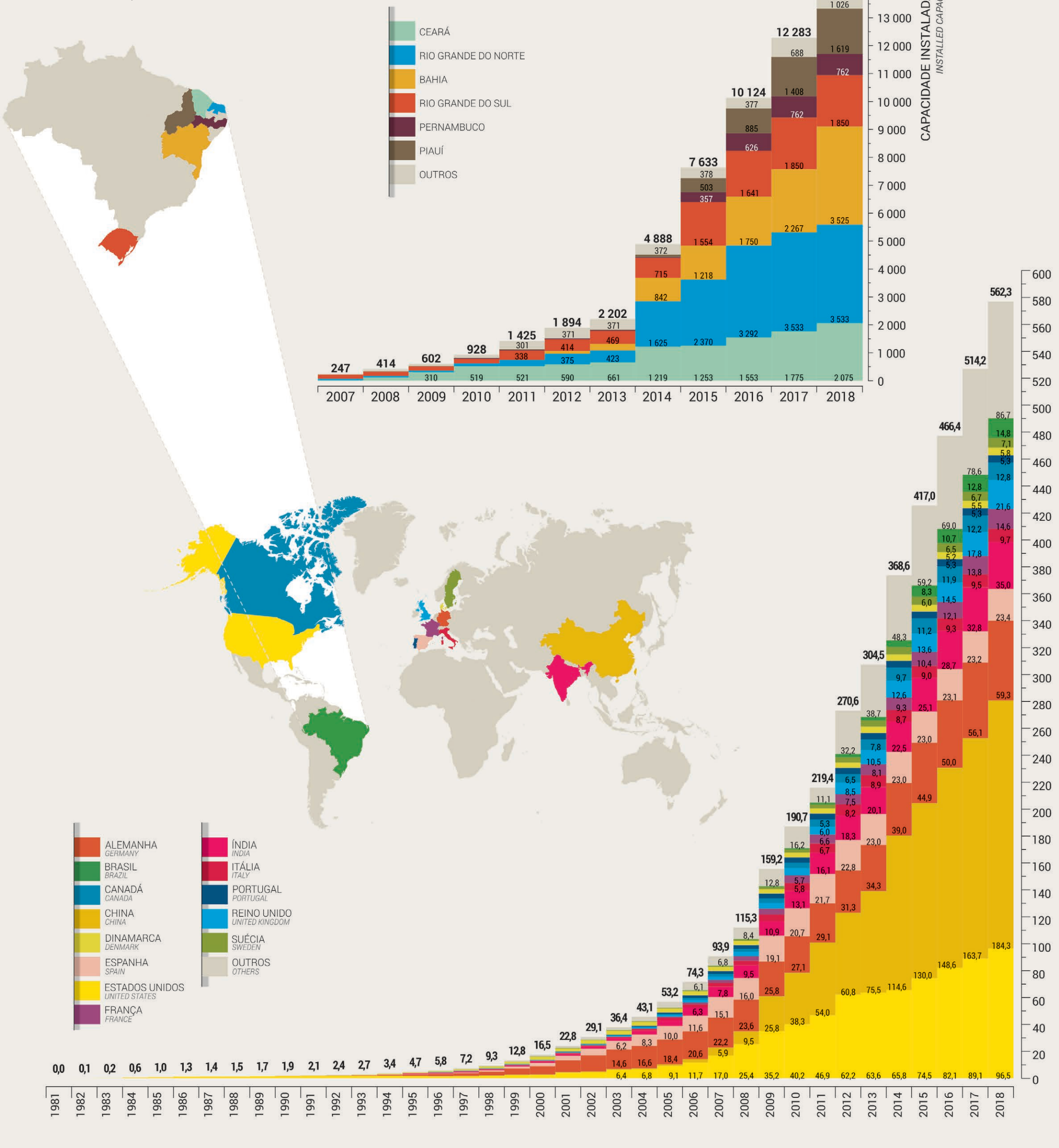


4 TECNOLOGIA
TECHNOLOGY

FIGURA 4.6 Evolução da capacidade instalada eólica brasileira e mundial.

FIGURE 4.6 *Evolution of global and Brazilian wind installed capacity.*

FONTE/*SOURCE*: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL[8], WIND POWER MONTHLY[9].



Até junho de 2019, havia no país 85 919 unidades consumidoras com geração distribuída fotovoltaica, sendo os créditos de geração compensados em 107 409 unidades, com potência total instalada de 910,3 MW. Dentro deste montante, o Estado do Ceará conta hoje com 40,3 MW instalados em 2 542 unidades consumidoras com geração distribuída fotovoltaica e 3 342 unidades recebendo créditos de geração, conferindo-lhe a 7ª posição nacional e 1ª no Nordeste como maior capacidade instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída[14].

O início da produção de energia solar em escala comercial no Brasil ocorreu, de fato, no Ceará, em agosto de 2011, com a inauguração da Usina Solar de Tauá (Figura 4.4.i). Localizado na mesorregião Sertões Cearenses, o empreendimento possui capacidade instalada de 1 MW_p, compondo-se de cerca de 4 680 painéis fotovoltaicos instalados em uma área de 12 000 m^2 [15]. A partir de 2017, outras usinas fotovoltaicas entraram em operação no país, em Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Norte, São Paulo, Minas Gerais e Paraíba.

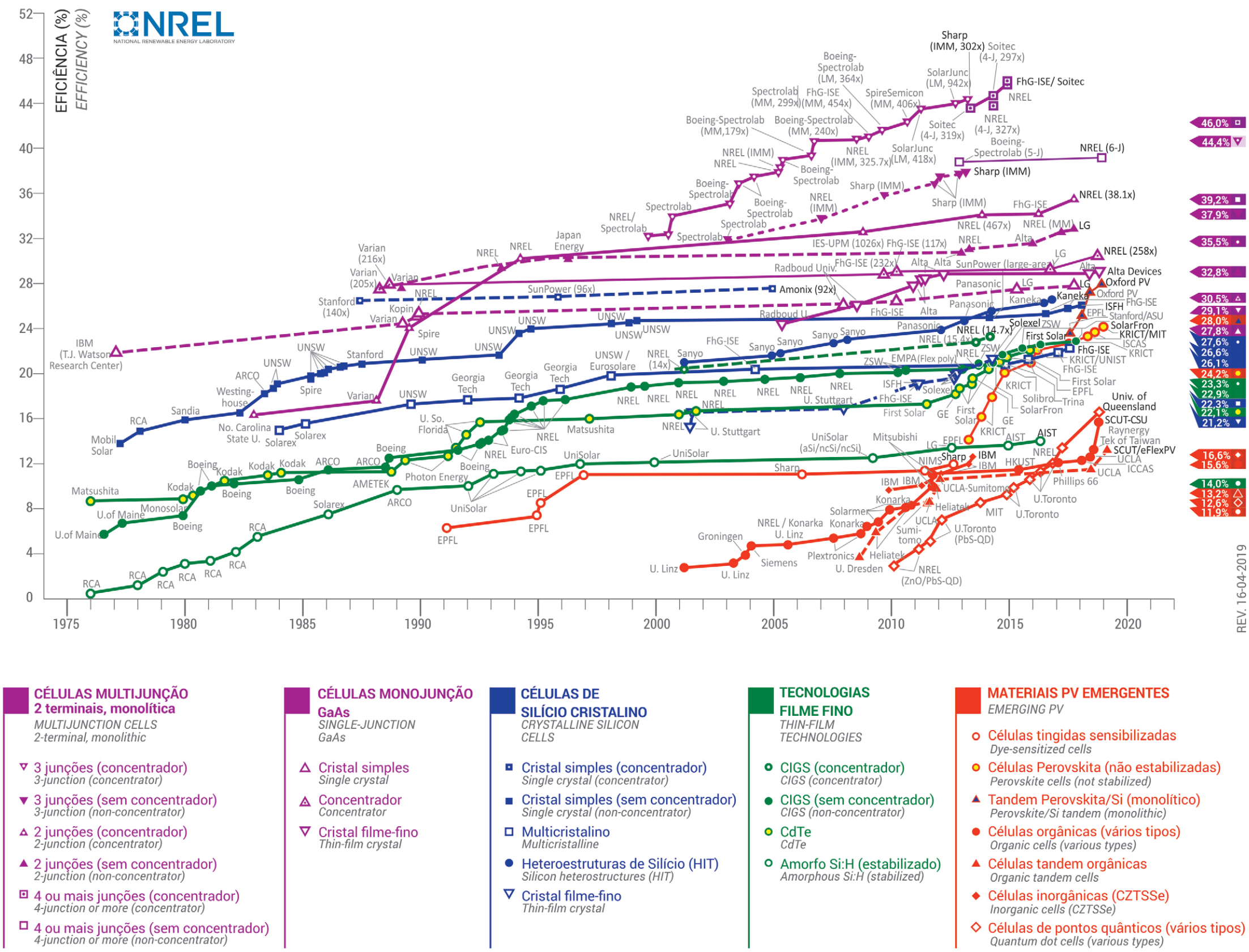
A comercialização da energia solar através de leilões de energia eclodiu no 6° LER, em 2014, com a contratação de 31 empreendimentos fotovoltaicos, representando uma potência instalada de 889,7 MW, dos quais 60 MW seriam construídos no Ceará. Em agosto de 2015, aconteceu o primeiro leilão exclusivo de energia solar no Brasil, resultando no cadastramento de 382 projetos e contratação de mais 833,8 MW repartidos em 30 empreendimentos[16], [17].

Observa-se que o crescimento da capacidade instalada de energia solar no Brasil e no mundo, assim como o da capacidade eólica, assume tendência exponencial, como é mostrado na Figura 4.5.

FIGURA 4.7 Gráfico das melhores eficiências de células fotovoltaicas em pesquisa.

FIGURE 4.7 *Best Research-Cell Efficiencies Chart.*

FONTE/*SOURCE*: ADAPTADO DE/*ADAPTED FROM* NREL[13].



4.2 MARCOS REGULATÓRIOS E ESTADUAIS

Os impulsos mais significativos às gerações eólica e solar em larga escala no Brasil se deram no início do Séc. XXI, tendo a energia eólica deslanchado comercialmente antes da energia solar, com defasagem de alguns anos.

No que se refere à pesquisa e divulgação dessas fontes, destacam-se as iniciativas do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001[21], atualizado em 2017[22]) e do Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará (2000)[23]. Como documentos oficiais visando o fomento da energia solar, foram publicados o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)[24] e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006[25], atualizado em 2017[26]).

De relevância fundamental para o desenvolvimento desses setores, uma série de ações governamentais, incluindo importantes marcos regulatórios, progressivamente tornou o ambiente comercial brasileiro propício à exploração comercial da energia solar e eólica. Ressaltam-se os leilões de energia organizados pela ANEEL, os quais, desde 2009, promovem a energia centralizada no país, e a implementação, pelo mesmo órgão, da Resolução Normativa n° 482/2012[27] (revisada pela Resolução Normativa n° 687/2015[28]), que aprimorou a regulamentação de geração distribuída e, consequentemente, sua atratividade econômica. Essas e outras ações estão resumidas na Tabela 4.1. Na Tabela 4.2, são relacionados marcos históricos que propiciaram o desenvolvimento dessas energias renováveis especificamente no Ceará.

Data *Date*	Evento ou Marco Regulatório *Event or Regulatory Framework*	Âmbito ou Autoria *Scope or Authorship*	Descrição *Description*
abr/02 *Apr/02*	Lei 10.438[29] *Law 10.438[29]*	Congresso Nacional *National Congress*	Criação do PROINFA, operacionalizado a partir de 2003/2004. *Creation of PROINFA, in operation since 2003/2004.*
dez/09 *Dec/09*	2º LER[30]	ANEEL	Primeiro leilão de energia aberto exclusivamente à fonte eólica, resultando em contratação de 1 805 MW. *First energy auction exclusively open to wind power, resulting in contracting 1 805 MW.*
abr/12 *Apr/12*	RN 482[27]	ANEEL	Estabelecimento de condições para o acesso de micro e mini-geração aos sistemas de distribuição de energia elétrica, implementando o sistema de compensação de energia elétrica. *Establishment of conditions for micro- and mini-generation access to electrical distribution systems, by implementing the electric energy compensation system.*
out/14 *Oct/14*	6º LER[31]	ANEEL	Primeira contratação de energia solar centralizada em leilão de energia, totalizando 890 MW. *First centralized solar energy contracting in an energy auction, totalizing 890 MW.*
abr/15 *Apr/15*	ICMS 16[32]	CONFAZ	Isenção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS –sobre o excedente de energia produzido por sistemas de geração distribuída. O Ceará aderiu ao programa de isenção pelo Convênio ICMS 52/2015[33]. A totalidade da participação dos estados da federação foi atingida em 2018. *Exemption of the Tax on Circulation of Goods and Services – ICMS – on the energy surplus produced by distributed generation systems. Ceará adhered to the exemption program under ICMS Agreement 52/2015[33]. The participation of all states of the federation was reached in 2018.*
nov/15 *Nov/15*	RN 687[28]	ANEEL	Melhorias na RN 482. *Improvements in RN 482.*
dez/15 *Dec/15*	Portaria 538[34] *Order No. 538[34]*	ANEEL	Autorização da venda no mercado livre do excedente da energia produzida em unidades consumidoras, no âmbito do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD. *Authorization for the energy surplus sale in the free market produced by consumer units, within the scope of the Development Program for Distributed Power Generation – ProGD.*
jun/16 *Jun/16*	FNE Sol[35]	Banco do Nordeste	Abertura de linha de crédito para sistemas de micro e mini-geração distribuída de energia por fontes renováveis. *Line of credit opening for electrical distributed micro- and mini-generation systems from renewable sources.*
nov/16 *Nov/16*	Construcard[36]	Caixa Econômica Federal	Extensão de linhas de financiamento promovidas pelo governo federal à compra de equipamentos para energia fotovoltaica e aquecimento solar. *Expansion of funding lines by the federal government for the purchase of photovoltaic and solar heating equipment.*
out/18 *Oct/18*	Fundo Clima[37] Clima *Fund[37]*	BNDES	Reabertura da linha de financiamento de até 80% de equipamentos de aproveitamento solar para pessoas físicas. *Reopening of solar energy equipment funding line for individuals, up to 80%.*

TABELA 4.1 Principais ações governamentais relevantes para fomento à exploração comercial das energias eólica e solar.

TABLE 4.1 *Main government actions relevant to the encouragement of commercial exploitation of wind and solar energies.*

By June 2019, there were 85 919 consumer units with distributed photovoltaic power generation in the country, with generation credits offset by 107 409 units with total installed capacity of 910,3 MW. Within this amount, the State of Ceará currently has 40,3 MW installed in 2 542 consumer units with distributed photovoltaic power generation and 3 342 units receiving generation credits, giving it the 7th national position and the 1st in the Northeast as the largest installed power in distributed generation photovoltaic systems[14].

The beginning of commercial-scale solar energy production in Brazil actually took place in Ceará, in August 2011, with the inauguration of Tauá Solar Farm (Figure 4.4i). Located in the Sertões Cearenses *mesoregion, the project has 1 MW_p of installed capacity, consisting of about 4 680 photovoltaic panels installed in an area of 12 000 m^2 [15]. From 2017, other photovoltaic farms started operating in the country, in Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Norte, São Paulo, Minas Gerais and Paraíba.*

The commercialization of solar energy through energy auctions broke out in the 6th LER, in 2014, with the contracting of 31 photovoltaic projects, representing an installed capacity of 889,7 MW, with Ceará housing 60 MW. In August 2015, the first exclusive solar energy auction in Brazil took place, resulting in the registration of 382 projects and in the contracting of over 833,8 MW distributed in 30 projects[16], [17].

It is observed that the growth of the solar energy installed capacity in Brazil and in the world, as well as the wind capacity, shows an exponential trend, as depicted in Figure 4.5.

4.2 Regulatory and State Landmarks

The most significant impulses to large-scale wind and solar power generation in Brazil occurred at the beginning of the 21st century, with wind energy being commercially launched before solar energy, with a delay of a few years.

Regarding the research and dissemination of these sources, emphasis is given to initiatives of the Brazilian Wind Resource Atlas (2001[21], updated in 2017[22]) and of the Wind Energy Resource Atlas of State of Ceará (2000)[23]. As official documents aimed at the promotion of solar energy, the Solarimetric Atlas of Brazil (2000)[24] and the Brazilian Solar Energy Atlas (2006[25], updated in 2017[26]) were published.

Crucial for the development of these sectors, a series of government actions, including important regulatory landmarks, have progressively made Brazil's commercial environment favorable to the exploitation of solar and wind energy. It is highlighted the energy auctions organized by ANEEL, which, since 2009, have promoted centralized energy in the country, and the implementation, by the same body, of Normative Resolution No. 482/2012[27] (revised by Normative Resolution No. 687/2015[28]), which improved the regulation of distributed generation and, consequently, its economic attractiveness. These and other actions are summarized in Table 4.1. Table 4.2 lists historical landmarks that led to the development of these renewable energies, specifically in Ceará.

Ano *Year*	Marco Regulatório *Regulatory Framework*	Descrição *Description*
1979	II PLAMEG[38]	Identificação dos recursos eólico, solar e biomassa. *Identification of wind, solar and biomass resources.*
1980	Patente do biodiesel[39] *Biodiesel patent[39]*	Primeira patente brasileira de um processo para produção industrial de biodiesel, pelo cearense Prof. Expedito Parente. *First Brazilian patent of a biodiesel industrial production process, by the* cearense *Professor Expedito Parente*
1999	Central Eólica de Taíba[5] *Taíba Wind Farm[5]*	Primeira central eólica independente do Brasil, localizada no município de São Gonçalo do Amarante. *Brazil' first independent wind power plant, located in the city of São Gonçalo do Amarante*
1999	Central Eólica de Prainha[5] *Wind power plant of Prainha[5]*	Inauguração da usina eólica no município de Aquiraz. *Inauguration of the wind power plant in the city of Aquiraz.*
2001	Atlas Eólico do Ceará[23] *Wind Energy Atlas of Ceará[23]*	Lançamento do primeiro atlas eólico do Brasil. *Release of the first wind energy atlas in Brazil.*
2002	Fábrica Wobben de pás e torres[40] *Wobben factory of blades and towers[40]*	Inauguração de fábrica de pás e torres de concreto da Wobben Windpower em Pecém. *Inauguration of Wobben Windpower blades and concrete towers factory in Pecém.*
2003	Eólicas do PROINFA[41] *PROINFA[41]'s wind power plants*	Instalação de 500 MW em eólica no Ceará, 35% do total dessa fonte no PROINFA. *Installation of 500 MW in wind energy in Ceará, 35% of such source total in PROINFA.*
2010	Fábrica Aeris de pás[42] *Aeris blades manufacturing plant[42]*	Inauguração da fábrica de pás eólicas da Aeris, em Caucaia, a qual foi ampliada em 2016. *Inauguration of Aeris wind blades manufacturing unit in Caucaia, which was expanded in 2016.*
2011	Usina Solar de Tauá[15] *Solar power plant of Tauá[15]*	Inauguração da primeira usina solar centralizada do Brasil, com 1 MW_p de capacidade instalada. *Inauguration of the first centralized solar power plant in Brazil, with 1 MW_p of installed capacity.*
2016	Fábrica Vestas de aerogeradores[43] *Vestas wind turbines manufacturing unit[43]*	Inauguração da primeira unidade de fabricação da Vestas no Brasil, em Aquiraz, com previsão de ampliação. *Inauguration of the first Vestas manufacturing unit in Brazil, in the city of Aquiraz, forecasting expansion.*
2016	Resolução Coema n° 03[44] *Coema Resolution No. 03[44]*	Regulamentação do licenciamento ambiental para geração distribuída de energia a partir de fontes renováveis no Ceará. *Environmental licensing regulation of distributed energy generation from renewable sources in Ceará.*
2017	Decreto n° 32438[45] *Decree No. 32438[45]*	Criação do Programa de Incentivos para a Cadeia Produtiva de Energias Renováveis – PIER. *Creation of the Incentive Program to the Productive Chain Generating Renewable Energies – PIER.*
2018	Resolução COEMA n° 06[46] e n° 07[47] *COEMA Resolution No. 06[46] and n° 07[47]*	Simplificação e atualização do licenciamento ambiental de empreendimentos de geração solar (Resolução COEMA n° 06) e eólica (Resolução COEMA n° 07). *Simplification and update of the environmental licensing for solar (COEMA Resolution n° 06) and wind (COEMA Resolution n° 07) power projects.*

TABELA 4.2 Marcos estaduais do desenvolvimento das energias renováveis no Ceará.

TABLE 4.2 *State landmarks in the development of renewable energies in Ceará.*

4.3 TECNOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO

4.3.1 Energia Eólica

Os aerogeradores modernos são compostos essencialmente por um rotor de três pás conectadas por um eixo horizontal a um sistema de geração alojado em uma nacele (Figura 4.9). A nacele é conectada à torre do aerogerador por um sistema de controle de azimute (*yaw*), que permite o alinhamento do rotor em relação à direção do vento. A fundação, que sustenta a torre, é dimensionada de acordo com as condições geológicas, características do aerogerador e condições locais do vento.

Os rotores das turbinas eólicas são fabricados com materiais de tecnologia típica de estruturas aeronáuticas e são responsáveis pela conversão da energia cinética das massas de ar em energia mecânica, que posteriormente é convertida em energia elétrica pelo gerador. O aumento da área dos rotores resulta, logo, em uma maior capacidade de geração de energia.

A tendência mundial é para o crescimento das dimensões e da capacidade de conversão de energia das turbinas, assim como para o aumento da razão entre a área do rotor e a potência, favorecendo a viabilização econômica[49]. O aumento exponencial da energia com o diâmetro dos rotores permite a instalação de aerogeradores em locais com velocidades relativamente mais baixas, característica relevante para novos empreendimentos em regiões onde os sítios com as melhores condições de vento já tenham sido ocupados por projetos viabilizados.

No entanto, o crescimento em diâmetro traz também aumento no peso das máquinas a uma razão aproximadamente quadrática ao raio das pás[49]. Os desafios técnicos gerados pelas novas turbinas de grande porte, da ordem de 150 a 170 m de diâmetro (no caso das turbinas *onshore*) e 6 MW de potência, incluem: (1) o desenvolvimento de materiais mais leves, tais como fibra de carbono, para substituir a fibra de vidro nas lâminas; (2) combinações com menos aço nas torres, incluindo concreto de alto desempenho ou treliças; (3) modelos de multiplicadores mais robustos para suportar cargas maiores e (4) soluções logísticas com o emprego de pás modulares[50]. Para minimizar as maiores exigências estruturais, novos tipos de algoritmos de controle são desenvolvidos buscando o ponto ótimo entre a máxima produtividade e a mínima fadiga[50].

Na Figura 4.8, são ilustrados os tamanhos do rotor de turbinas disponíveis atualmente no mercado.

Os aerogeradores podem ser instaladas na terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*). Quando localizados no mar, os projetos eólicos apresentam menos restrições referentes ao uso do solo, a obstáculos, ao transporte dos aerogeradores ou ao impacto visual e sonoro, bem como, são expostos a ventos de maior velocidade e uniformidade, devido à baixa rugosidade da superfície oceânica.

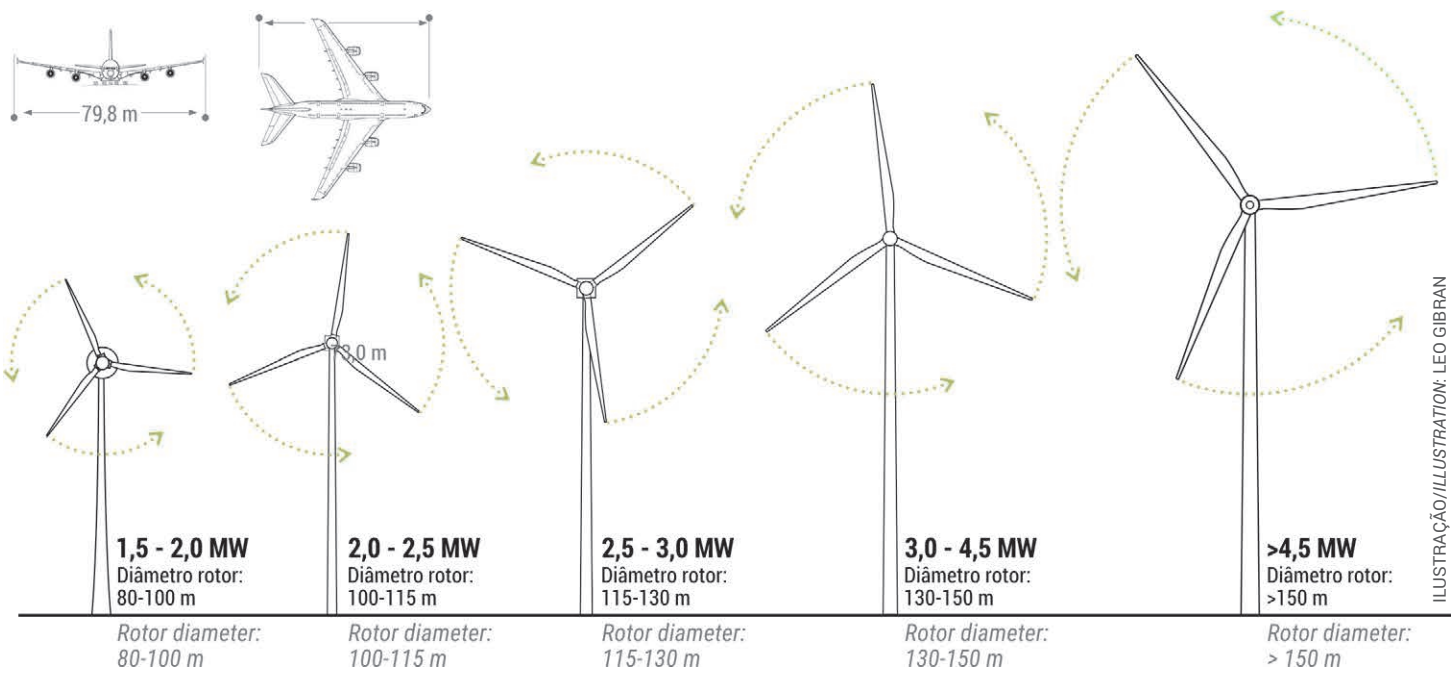
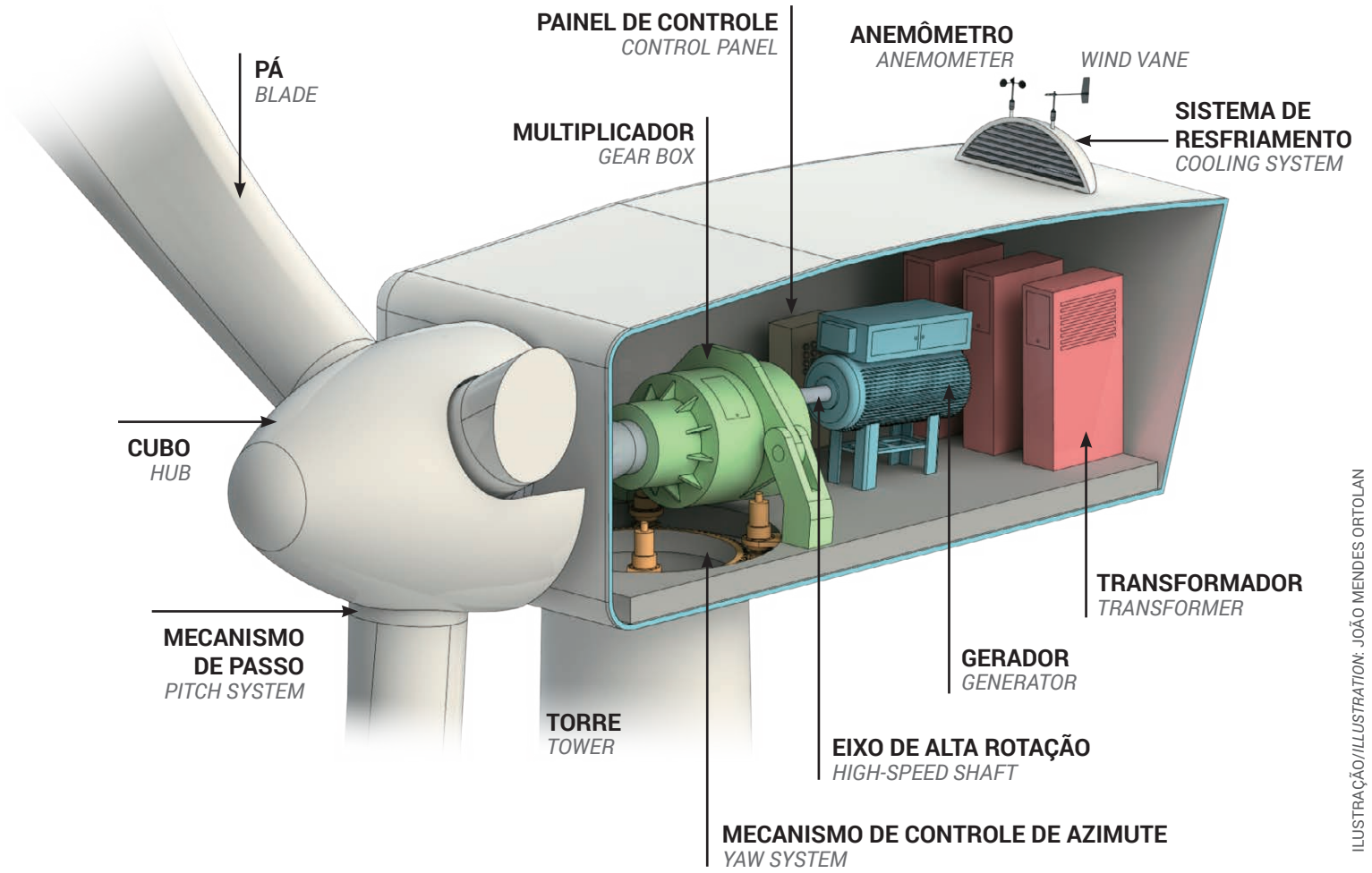


FIGURA 4.8 Dimensões típicas de aerogeradores em comercialização, comparados à aeronave Airbus A380.

FIGURE 4.8 *Typical dimensions of wind turbines in the market, compared to the Airbus A380 aircraft.*

FIGURA 4.9 Elementos da nacele.
FIGURE 4.9 *Nacelle elements.*



ILUSTRAÇÃO/*ILLUSTRATION*: JOÃO MENDES ORTOLAN

Por outro lado, apresentam maior custo de implantação, operação e manutenção, devido à necessidade de fundações específicas para leito oceânico, de materiais resistentes ao ambiente corrosivo, de estruturas mais robustas para resistir às cargas dinâmicas das ondas, de transporte de mão de obra e maquinário e da construção de linhas de transmissão submarinas[51].

Estima-se que 30% do custo do ciclo de vida de uma usina *offshore* seja destinado à Operação e Manutenção – O&M, tornando a eficiência dessas atividades um campo em franco desenvolvimento. Destacam-se pesquisas voltadas à utilização de sistemas de monitoramento inteligentes, realizadas principalmente na Europa e em regiões que têm aumentado significativamente sua capacidade instalada *offshore*[52]. Outra área que vem reunindo esforços científicos é a tecnologia de turbinas eólicas flutuantes, para uso em águas profundas. Tais pesquisas buscam o aumento da área viável à instalação de turbinas e a redução dos custos de fabricação, ainda significantemente superiores aos das atuais tecnologias *onshore*[53].



FOTO/*PHOTO*: ZIG KOCH

FIGURA 4.10 Complexo Eólico Cacimbas, município de Ubajara.
FIGURE 4.10 *Cacimbas Wind Complex, municipality of Ubajara.*

4.3 Developing Technologies

4.3.1 WIND ENERGY

Modern wind turbines are essentially composed of a three-bladed rotor connected by a horizontal axis to a generation system housed in a nacelle (Figure 4.9). The nacelle is connected to the wind turbine tower by a yaw control system, which allows the rotor to be aligned to the wind direction. The foundation supporting the tower is sized according to geological conditions, wind turbine characteristics, and local wind conditions.

Wind turbine rotors are manufactured using materials whose technology is typically found in aeronautical structures, and are responsible for converting the kinetic energy from air masses into mechanical energy, which is subsequently converted into electrical energy by the generator. Increased rotor area thus results in increased power generation capacity.

The global trend is for turbines to grow in size and in energy conversion capacity, as well as for the increase in the ratio between rotor area and power, enhancing economic viability[49]. The exponential increase of energy with rotor diameter allows the installation of wind turbines in places with relatively low speeds, a relevant feature for new projects in regions where sites with the best wind conditions have already been taken by existing projects.

However, growth in diameter also increases machine weight at an approximately quadratic ratio to the blade radius[49]. The technical challenges generated by the new large turbines, in the order of 150 to 170 m diameter (in the case of onshore turbines) and 6 MW of power, include: (1) development of lighter materials, such as carbon fiber, to replace fiberglass on the blades; (2) combinations with less steel in the towers, including high performance concrete or trusses; (3) more robust gear box models to support larger loads and (4) logistic solutions using modular blades[50]. To minimize the large structural requirements, new types of control algorithms are developed seeking the optimum point between maximum productivity and minimum fatigue[50].

Figure 4.8 shows turbine rotor sizes currently available on the market.

Wind turbines can be installed either onshore or offshore. When located offshore, wind power projects have less restrictions on land use, obstacles, wind turbine transport or visual and sound impact, as well as being exposed to winds of higher speed and uniformity, due to the ocean's low surface roughness. On the other hand, they are more expensive to install, operate and maintain due to the need for specific seabed foundations, corrosive environment-resistant materials, more robust structures to withstand dynamic wave loads, labor and machinery transport and construction of underwater transmission lines[51].

It is estimated that 30% of the lifecycle cost of an offshore wind farm will be earmarked for Operation and Maintenance – O&M, making the efficiency of these activities a rapidly developing field. In this context, researches stand out focused on the use of intelligent monitoring systems, mainly carried out in Europe and in regions that have significantly increased their offshore installed capacity[52]. Another area that has been gathering scientific efforts is the technology of floating wind turbines for deepwater use. This kind of research seeks to increase the viable area for turbine installation and to reduce manufacturing costs, which are still significantly higher than current onshore technologies[53].

4.3.2 Energia Solar

A utilização direta da energia do Sol pode ser classificada em dois grandes grupos, de acordo com o tipo de aproveitamento: elétrico ou térmico.

• APROVEITAMENTO TÉRMICO

O aproveitamento da energia solar para fins térmicos remonta desde a antiguidade, sendo, atualmente, utilizado em sistemas de aquecimento de água de uso residencial e industrial. Os sistemas de aquecimento térmico solar apresentam como componentes principais um coletor, que absorve a radiação solar e aquece a água que circula no seu interior, e um reservatório térmico (*boiler*), que mantém a água aquecida. Variações nesses sistemas são os de aquecimento solar com tubos a vácuo, com maior eficiência e principal aplicação para fins industriais, e os sistemas com placas planas[54], mais utilizados para fins sanitários e de fabricação mais simples.

O Brasil regulamenta o dimensionamento e instalação de tais tecnologias através da NBR 15569[55] e da Portaria nº 395[56], do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO.

• APROVEITAMENTO ELÉTRICO

Os principais modos de aproveitamento da energia solar para fins de produção de energia elétrica são as tecnologias heliotérmica e fotovoltaica.

Tecnologia Heliotérmica

A tecnologia heliotérmica, ou *Concentrated Solar Power* – CSP, baseia-se no aquecimento de um fluido de trabalho pela concentração de raios solares, na conversão da energia térmica em mecânica, por meio de uma turbina, e na sua posterior conversão em energia elétrica, por meio de um gerador. A forma como a radiação solar é concentrada classifica os sistemas CSP modernos em pontuais ou lineares, conforme representado na Figura 4.11.

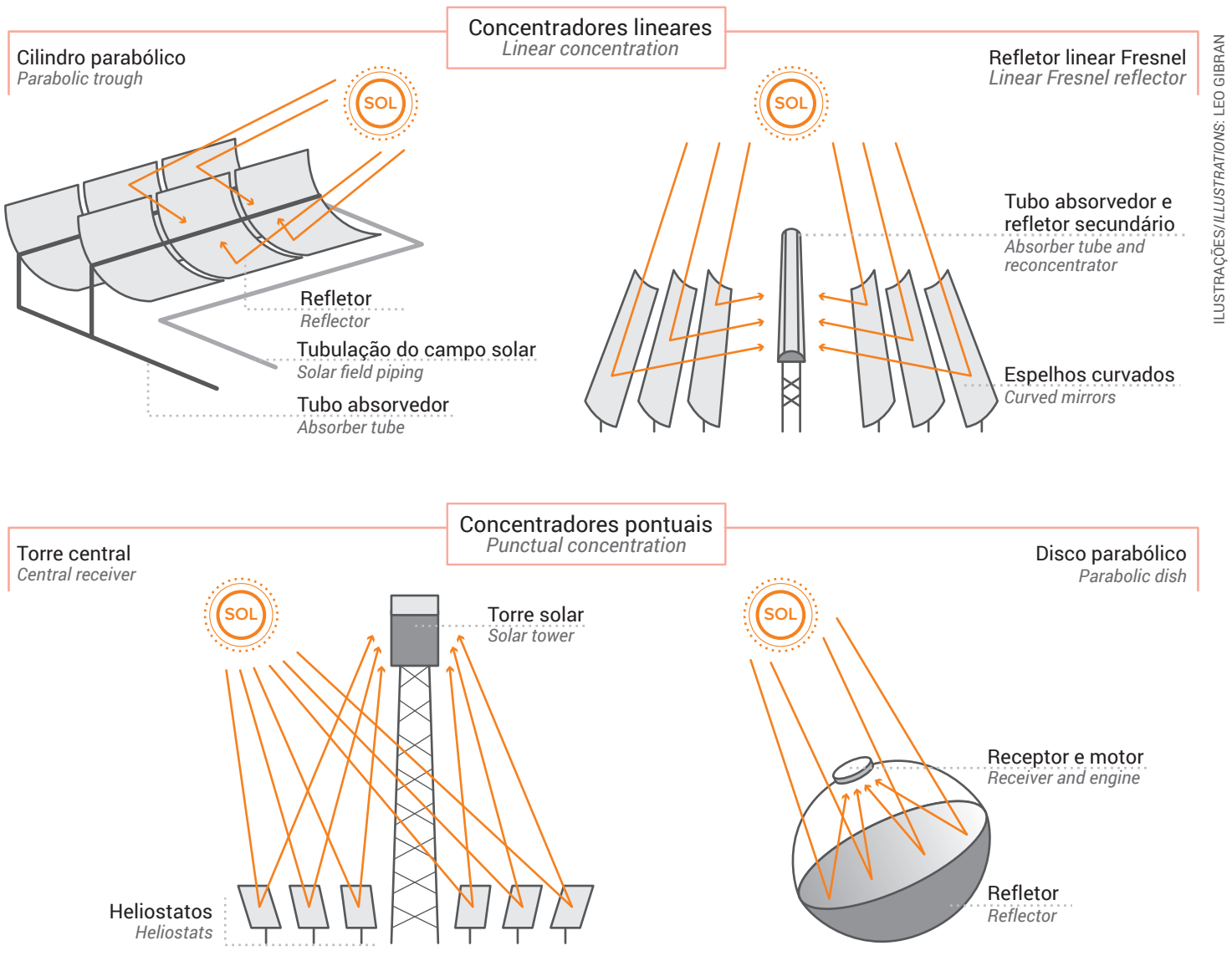
Os sistemas CSP são mais adequados para aplicação em grande escala, pois requerem, geralmente, grandes áreas para instalação, além de exigir considerações importantes no seu dimensionamento. Entre elas, estão a eficiência dos concentradores, construídos de espelhos, e a temperatura do fluido de trabalho, diretamente proporcional ao rendimento da turbina e inversamente proporcional à eficiência do coletor, devido às perdas térmicas[58].

Tecnologia Fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica faz uso do efeito fotovoltaico de dispositivos semicondutores, denominados células solares, para a conversão direta da energia solar em eletricidade. As células solares podem ser conectadas à rede de distribuição ou a sistemas isolados, onde a energia pode ser armazenada e consumida. A característica modular torna a tecnologia fotovoltaica adequada à utilização comercial, industrial e residencial. Exemplos também comuns de aplicação são sistemas de bombeamento de água para consumo humano, animal e de irrigação[59] e em processos de dessalinização.

O conjunto de células solares constituem os painéis. Um sistema fotovoltaico é formado pelos painéis em conjunto com outros dispositivos, tais como inversor, quadro elétrico, cabos e conectores. As células dominantes no mercado fotovoltaico e representando 95% da produção global de 2017 são as de silício mono e policristalino. A tecnologia de película fina, englobando as de Telureto de Cádmio – CdTe, Silício amorfo – a-Si e Cobre, Índio, Gálio e Seleneto – CIGS, foi responsável pelo outros 5% da produção[60].

Em comparação com os CSP, os sistemas fotovoltaicos são mais versáteis, pois podem ser construídos em diferentes tamanhos, e permitem adição, posterior ao início da operação, de mais painéis, ou módulos, para aumentar a produção energética[58]. Ademais, não



FONTE/*SOURCE*: ADAPTADO DE/*ADAPTED FROM* IEA[57].

FIGURA 4.11 Principais tecnologias heliotérmicas atuais.

FIGURE 4.11 *Major current CSP technologies.*

4.3.2 SOLAR ENERGY

The direct use of the Sun's energy can be classified into two large groups according to the type of use: electrical or thermal.

• THERMAL USE

The harnessing of solar energy for thermal purposes dates back to ancient times and it is currently used in residential and industrial water heating systems. Solar thermal heating systems have as main components a collector, which absorbs solar radiation and heats the water circulating inside it, and a boiler, which keeps the water warm. Variations of this technology comprise vacuum tube solar heating systems, with greater efficiency and mainly used for industrial applications, and flat panel systems[54], mainly used for sanitary applications and requiring a simpler production process.

Brazil regulates the sizing and installation of such technologies through NBR 15569[55] and Ordinance No. 395[56] of the National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality – INMETRO.

• ELECTRICAL USE

The main ways of harnessing solar energy to produce electricity are through concentrated solar power and photovoltaic technologies

Concentrated Solar Power Technology

Concentrated Solar Power – CSP – technology is based on heating a working fluid by concentrating the Sun's rays, converting thermal energy into mechanical energy through a turbine, and then converting it into electrical energy, by means of a generator. The way that solar radiation is concentrated classifies modern CSP systems into punctual or linear, as depicted in Figure 4.11.

CSP systems are best suited for large scale applications as they generally require large installation areas and demand important sizing considerations. These include the efficiency of the concentrator, which is made of mirrors, and the working fluid temperature, directly proportional to turbine efficiency and inversely proportional to absorber efficiency, due to thermal losses[58].

Photovoltaic Technology

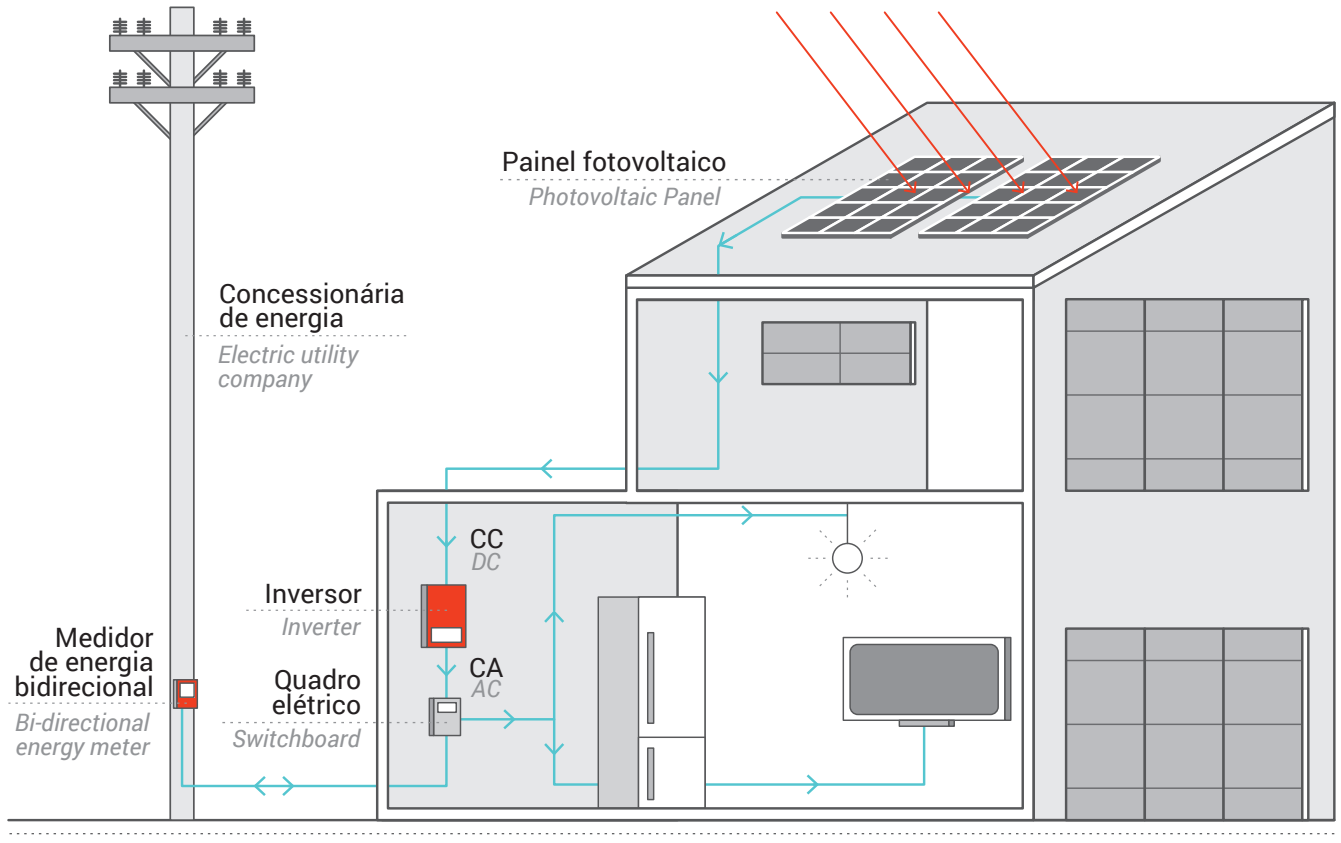
Photovoltaic technology makes use of the photovoltaic effect of semiconductor devices, called solar cells, for the direct conversion of solar energy into electricity. Solar cells can be connected to the distribution grid or to isolated systems where energy can be stored and consumed. The modular feature makes photovoltaic technology suitable for commercial, industrial and residential use. Other common application examples are water pumping systems for irrigation and human and animal consumption[59] and desalination processes.

Solar panels consist of an assembly of solar cells. A photovoltaic system is formed by solar panels in conjunction with other devices, such as inverter, switchboard, cables and connectors. The cells that dominate the photovoltaic market, accounting for 95% of global production in 2017, are those of mono and polycrystalline silicon. The thin-film technology, including those of Cadmium Telluride – CdTe, of Amorphous Silicon – a-Si and of Copper, Indium, Gallium and Selenide – CIGS, accounted for the other 5% of production[60].

Compared to CSP, photovoltaic systems are more versatile, as they can be constructed in different sizes, and allow the addition of more panels or modules after the start of the operation to increase energy production[58].

FIGURA 4.12 Principais componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

FIGURE 4.12 *Main components of a grid-connected photovoltaic system.*



ILUSTRAÇÃO/*ILLUSTRATION*: LEO GIBRAN

apresentam partes móveis e requerem pouca manutenção. Tais características propiciam ampla utilização em pequena escala, ainda impulsionada pela recente redução dos custos de fabricação.

A seguir, destacam-se os principais critérios e parâmetros relacionados à tecnologia fotovoltaica:

- CAPACIDADE DO SISTEMA: a potência instalada fotovoltaica classifica o sistema fotovoltaico em centralizado ou distribuído. No centralizado, a potência é da ordem de alguns megawatts. O distribuído pode ser subdividido em sistemas de micro (até 75 kW) ou minigeração (de 75 kW a 5 MW)[27]. Os sistemas distribuídos, devido à menor escala, podem ser instalados próximo ao local de consumo.

- TIPO DE CONEXÃO DO SISTEMA: os painéis fotovoltaicos podem operar conectados à rede de energia (Figura 4.12), como ocorre em centros urbanos, ou isolados da rede, como ocorre nas zonas rurais, casos em que baterias podem ser utilizadas para o armazenamento da energia.

- POSICIONAMENTO DO SISTEMA: para maximizar a produção energética dos sistemas fotovoltaicos, é necessário avaliar os ângulos de azimute e inclinação dos painéis. No Capítulo 7, são apresentados gráficos mostrando a produtividade solar em função dos ângulos para três regiões do Estado. A posição dos módulos é também relevante para evitar sombreamento por obstáculos ou pelos próprios painéis, bem como para reduzir o acúmulo de sujeira[61],[62].

- DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES: principal equipamento de interface entre o painel solar e a rede elétrica, o inversor é responsável pela sincronização, proteção e monitoramento do sistema[62]. No inversor, a potência em Corrente Contínua – CC – gerada pelos módulos é convertida em Corrente Alternada – CA, a qual é compatível com a rede elétrica. Através do rastreamento do ponto de máxima potência, o sistema é mantido a operar com máxima eficiência energética. Outra função é a conexão e desconexão à rede elétrica, caso sejam detectadas anomalias, visando a proteção do sistema e da rede[61].



FOTO/*PHOTO*: ZIG KOCH

FIGURA 4.13 Usina Solar de Tauá, município de Tauá.

FIGURE 4.13 *Tauá Solar Plant, municipality of Tauá.*

Moreover, they have no moving parts and require little maintenance. These features provide wide small-scale use, further driven by the recent reduction in manufacturing costs.

The main criteria and parameters related to photovoltaic technology are highlighted below:

- *SYSTEM CAPACITY: the installed capacity classifies the photovoltaic system as centralized or distributed. In the centralized type, the capacity is of a few megawatts. The distributed type can be subdivided into micro (up to 75 kW) or mini generation (from 75 kW to 5 MW)[27] systems. Distributed systems, due to the smaller scale, may be installed near the place of consumption.*

- *SYSTEM CONNECTION TYPE: photovoltaic panels can operate connected to the power grid (Figure 4.12), as occurs in urban centers, or isolated from the grid, as in rural areas, where batteries can be used for energy storage.*

- *SYSTEM POSITIONING: To maximize the energy production of photovoltaic systems, it is necessary to evaluate the azimuth and tilt angles of the panels. Chapter 7 presents graphs showing solar energy yield as a function of the angles for three regions in the State. The position of the modules is also important to avoid shading by obstacles or by other panels, as well as to reduce dirt deposition[61],[62].*

- *INVERTER SIZING: as main interface equipment between the solar panel and the electrical grid, the inverter is responsible for the synchronization, protection and monitoring of the system[62]. In the inverter, the Direct Current – DC – power generated by the solar modules is converted to Alternating Current – AC, which is compatible with the electrical grid. By tracking the maximum power point, the system is kept operating at maximum energy efficiency. Another function is the connection and disconnection to the power grid if anomalies are detected, aiming to protect the system and the grid[61].*

FIGURA 5.1 Complexo Bons Ventos, município de Aracati.
FIGURE 5.1 *Bons Ventos Complex, municipality of Aracati.*



FOTO/*PHOTO*: ZIG KOCH

5 METODOLOGIA

METHODOLOGY

5 METODOLOGIA
METHODOLOGY

Os mapeamentos dos potenciais eólico e solar do Ceará foram obtidos por meio de simulação de mesoescala realizadas pela *UL TruePower*, com as modelagens ajustadas e validadas por dados solarimétricos e anemométricos processados pela Camargo-Schubert. No caso do mapeamento do potencial eólico, o modelo utilizado foi o *MesoMap* e, no caso do mapeamento solar, foi o *Weather Research and Forecasting Model* – WRF. Os dados utilizados são provenientes de 52 estações meteorológicas e solarimétricas da FUNCEME, 14 Estações Meteorológicas Automáticas – EMAs do INMET, 35 torres anemométricas pertencentes a empreendedores e 9 piranômetros instalados em estações privadas. Totaliza-se, assim, 75 pontos de medição de irradiância solar e 35 pontos de medição anemométrica.

5.1 OS SISTEMAS *MESOMAP* E WRF

O **mapeamento eólico** do Ceará foi obtido a partir do sistema de modelagem *MesoMap* (*UL Truepower*). Formado pelo conjunto integrado de modelos de simulação atmosférica, base de dados (meteorológicos e geográficos) e sistema computacional, trata-se, atualmente, de um dos mais avançados e validados sistemas de avaliação de recursos eólicos.

O núcleo do *MesoMap* é composto pelo modelo numérico de previsão do tempo *Mesoscale Atmospheric Simulation System* – MASS, responsável pela simulação da evolução temporal e espacial da dinâmica atmosférica, e fundamentado na resolução de equações que descrevem seu comportamento: princípios de conservação da massa, quantidade de movimento e energia e mudanças de fase do vapor d'água. O MASS simula os fenômenos atmosféricos que ocorrem na mesoescala (da ordem de 100 km até cerca de 1 km), enquanto o *WindMap*, em uma segunda etapa do mapeamento, simula os fenômenos de microescala (menores que 1 km).

O *WindMap*, modelo tridimensional de escoamento não-divergente, utiliza como dados de entrada a simulação proveniente do MASS, modelos digitais do terreno (relevo e rugosidade) e medições anemométricas, para simular a circulação atmosférica em alta resolução, considerando os efeitos locais. Através do método de elementos finitos, calcula o campo de velocidades do escoamento em todo o domínio determinado, que é dividido por uma malha tridimensional de maior refinamento próximo à superfície. As medições anemométricas permitem o ajuste local do perfil vertical do vento simulado, através da estimativa de parâmetros de estabilidade térmica da atmosfera[1].

Especificamente para a confecção deste Atlas, o modelo MASS foi configurado com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km e 11 níveis verticais, enquanto o *WindMap* foi configurado com 200 m x 200 m, sendo a resolução final aqui apresentada. Na Figura 5.2 é ilustrado, de forma sucinta, o processo de simulação através do modelo *MesoMap*.

O **mapeamento solar** do Ceará foi obtido a partir do modelo meteorológico de mesoescala WRF versão 3.9.1, com o núcleo *Advanced Research WRF – ARW*[3]. Trata-se de um modelo compressível e não hidrostático baseado no *downscaling* dinâmico (regionalização) que utiliza o método de diferenças finitas para simular a dinâmica atmosférica, em uma malha horizontal Arakawa-C e coordenadas verticais que acompanham o terreno.

A metodologia empregada simula as condições atmosféricas de um ano climatológico, utilizando medições ao longo de 15 anos de dados de terreno e meteorológicos. Os dados estimados pelo modelo WRF são, posteriormente, ajustados e validados com medições solarimétricas locais.

Como entrada do modelo, foram utilizados dados de reanálise global ERA-Interim[4], do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF, de 80 km de resolução espacial e 60 níveis verticais, para especificação das condições iniciais e de contorno da simulação. O modelo foi configurado com três domínios aninhados, de 27 km, 9 km e 2,5 km de resolução horizontal e 40 níveis verticais. Para o presente trabalho, foi utilizada a última simulação, com maior resolução espacial e, portanto, menor tamanho de malha (2,5 km x 2,5 km – D03).

The mappings of Ceará's wind and solar power resources were obtained by means of mesoscale simulations performed by UL TruePower, with the modeling adjusted and validated by solarimetric and anemometric data processed by Camargo-Schubert. In the case of the wind resource mapping, the model used was MesoMap and, in the case of the solar resource mapping, the Weather Research and Forecasting Model – WRF was used. The data used are from 52 FUNCEME weather and solarimetric stations, 14 INMET Automatic Weather Stations – EMAs, 35 anemometric towers belonging to entrepreneurs, and 9 pyranometers installed in private stations. Thus, there are a total of 75 measuring points of solar irradiance and 35 points of anemometric measurement.

5.1 MesoMap and WRF Systems

*The **wind mapping** of Ceará was obtained from the MesoMap (UL Truepower) modeling system. Formed by the integrated set of atmospheric simulation models, database (geographic and meteorological) and computer system, it is, currently, one of the most advanced and validated wind resource assessment systems.*

The MesoMap core is composed of the Mesoscale Atmospheric Simulation System – MASS – numerical weather prediction model, responsible for the simulation of the temporal and spatial evolution of atmospheric dynamics, and based on the resolution of equations that describe its behavior: principles of mass, momentum and energy conservation, and phase changes of water vapor. MASS simulates the atmospheric phenomena that take place on the mesoscale (on the order of 100 km to approximately 1 km), while the WinMap, in a second mapping stage, simulates the microscale phenomena (less than 1 km).

WindMap, three-dimensional model of divergence-free flow, uses as input data the simulation from MASS, digital terrain models (topography and roughness) and anemometric measurements to simulate the atmospheric circulation in high resolution, considering local effects. Through the finite element method, it calculates the wind velocity field in the entire given domain, which is divided by a three-dimensional grid of greater refinement near the surface. The anemometric measurements allow local adjustments of the simulated vertical wind profile by estimating thermal stability parameters of the atmosphere[1].

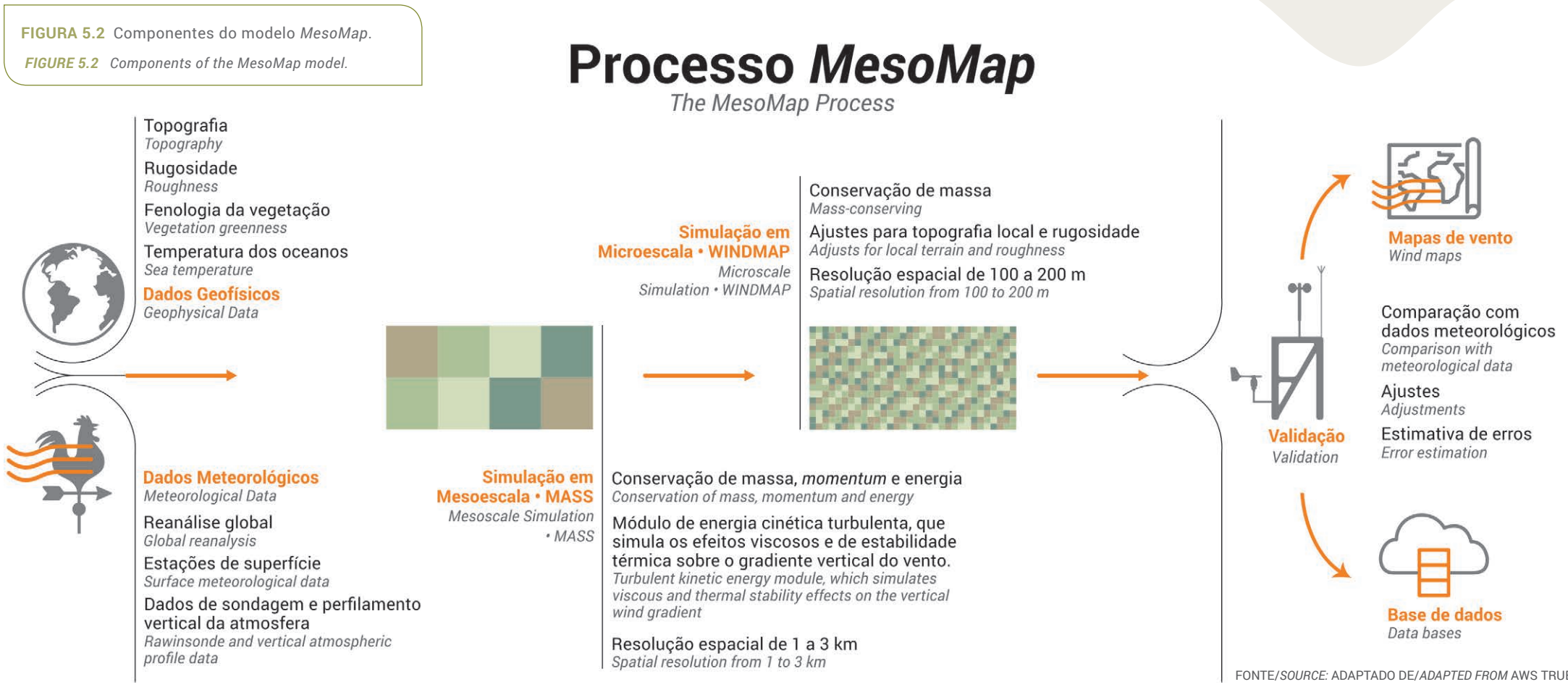
Specifically to produce this Atlas, the MASS model was configured with a horizontal resolution of 2,5 km x 2,5 km and 11 vertical levels, while WindMap was configured with 200 m x 200 m, being the final resolution presented here. In Figure 5.2, the simulation process through the MesoMap model is succinctly illustrated.*

*The **solar mapping** of Ceará was obtained from the mesoscale meteorological model WRF 3.9.1, with the Advanced Research WRF – ARW – core[3]. It is a compressible and non-hydrostatic model based on dynamic downscaling which uses the finite difference method to simulate atmospheric dynamics in an Arakawa-C horizontal grid and terrain-following vertical coordinates.*

The methodology used simulates the atmospheric conditions of a climatological year, using measurements over 15 years of terrain and meteorological data. The data estimated by the WRF model are subsequently adjusted and validated using local solarimetric measurements.

** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT.*

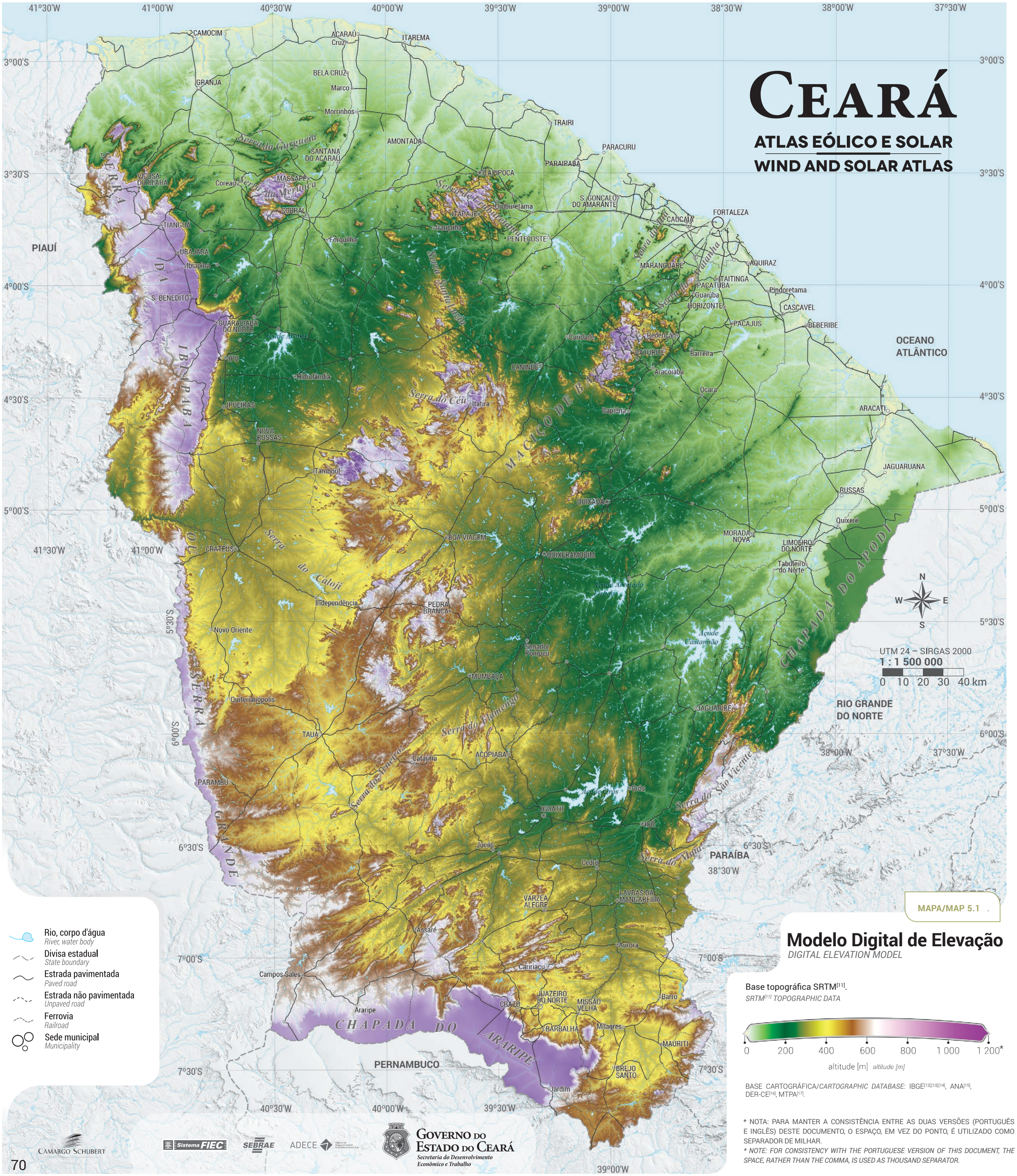
FIGURA 5.2 Componentes do modelo *MesoMap*.
FIGURE 5.2 *Components of the MesoMap model.*



FONTE/*SOURCE:* ADAPTADO DE/*ADAPTED FROM* AWS TRUEPOWER[2]

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 5.1 .

Modelo Digital de Elevação
DIGITAL ELEVATION MODEL

Base topográfica SRTM[11].
SRTM[11] TOPOGRAPHIC DATA

0 200 400 600 800 1 000 1 200*

altitude [m] *altitude [m]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[12][13][14], ANA[15], DER-CE[16], MTPA[17].

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.

** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*

CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

5 METODOLOGIA
METHODOLOGY

As principais características dos domínios da simulação são apresentadas na Tabela 5.1 e as opções físicas (parametrizações) escolhidas, na Tabela 5.2. Ressalta-se que a parametrização de cúmulos não foi considerada nos dois domínios internos (D02 e D03), devido a recomendações do manual do modelo, de não utilizar esquemas de convecção em domínios com resolução horizontal inferior a 10 km.

TABELA 5.1 Domínios da simulação e características.

TABLE 5.1 *Simulation domains and characteristics.*

Domínio *Domain*	Resolução horizontal [km] *Horizontal resolution [km]*	Pontos da malha *Grid points*	Tamanho [km] *Size [km]*
D01	27 x 27	67 x 70	1809 x 1809
D02	9 x 9	85 x 94	765 x 847
D03	2,5 x 2,5	187 x 221	467,5 x 552

TABELA 5.2 Modelos de parametrização empregados na simulação do WRF.

TABLE 5.2 *Parameterization models employed in the WRF simulation.*

Parametrização *Parameterization*	Modelo *Scheme*
Camada Superficial – SL *Surface Layer – SL*	*Mellor–Yamada Nakanishi Niino – MYNN Level 2.5 Schemes*[5]
Radiação de Onda Longa – LW *Longwave Radiation – LW*	*Rapid Radiative Transfer Model – RRTM*[6]
Radiação de Onda Curta – SW *Shortwave Radiation – SW*	*Dudhia*[7]
Microfísica – MP *Micro Physics – MP*	*WRF Single-moment 5-class – WSM5*[8]
Superfície do Solo – LS *Land Surface – LS*	*Unified Noah Land Surface Model*[9]
Camada Limite Planetária – PBL *Planetary Boundary Layer – PBL*	*Mellor–Yamada Nakanishi Niino – MYNN Level 2.5 Schemes*[5]
Cúmulos – CP *Cumulus – CP*	*Kain-Fritsch Eta Scheme*[10]

5.2 MODELOS DE TERRENO

5.2.1 Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação do Estado do Ceará foi elaborado a partir de dados coletados pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM[11], obtidos por um radar de abertura sintética a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, nas bandas *x* e *c*. A missão, executada em fevereiro de 2000, teve como objetivo mapear a topografia do planeta utilizando a técnica de interferometria. O modelo digital de elevação foi inferido, portanto, após o processamento dos dados, com resolução de 30 m x 30 m, compatível com a escala de mapeamento regional, como a realizada no presente estudo. Usualmente, o modelo SRTM permite identificar, de forma satisfatória, as principais formas do relevo, além de certas características geomorfológicas.

No Mapa 5.1, é apresentado o modelo digital de elevação do Ceará. A informação sobre a elevação foi fundamental para subsidiar etapas subsequentes do presente trabalho, tais como as simulações de microescala, sensíveis às características topográficas, a estimativa da densidade do ar e a delimitação das áreas aptas à instalação dos empreendimentos. O modelo de terreno foi também utilizado na elaboração do modelo de rugosidade, auxiliando na interpretação de imagens óticas de sensores orbitais, a partir da inferência das regiões de elevada declividade.

5.2.2 Modelo de Rugosidade

O comprimento rugosidade aerodinâmica z_0 é um parâmetro que caracteriza o uso e cobertura da terra na modelagem do vento próximo à superfície, sendo uma variável importante nos projetos de engenharia eólica. Sumariamente, o valor representa a distância a partir da superfície em que se pode considerar um perfil de velocidade vertical do vento. Quanto maior a rugosidade, maior a perda de energia cinética do vento próximo à superfície, implicando na forma como o perfil vertical da velocidade do vento varia com o tipo de cobertura da terra.

A parametrização do comprimento de rugosidade engloba um conjunto de condições de contorno e considerações termodinâmicas na atmosfera e na sua interação com a superfície. A estimativa desse parâmetro ainda é, no entanto, um problema aberto na literatura especializada, em que vários métodos para o cálculo estão disponíveis, em sua grande maioria destinados à escala micrometeorológica[18].

Ilustra-se na Figura 5.3 o gradiente vertical de velocidade do vento para diferentes coberturas da terra. Quando não há cobertura vegetal e a superfície é plana, a velocidade torna-se assintótica a poucos metros acima do terreno. Quando a cobertura é densa, como em uma floresta, a velocidade torna-se assintótica em alturas maiores. Essa variação no perfil vertical do vento influencia a velocidade na altura do rotor e, consequentemente, a produção eólica.

METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO MODELO DE RUGOSIDADE

O modelo de rugosidade aerodinâmica utilizado neste Atlas considera a variação fenológica da vegetação, isto é, os períodos de crescimento e senescência ao longo do ano. A metodologia de elaboração do modelo combina técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, e tem entre as principais etapas a classificação multitemporal do uso e cobertura da terra, a partir de Imagens do Índice de Vegetação – EVI – e do mapa de cobertura e uso da terra. A utilização do EVI auxiliou na associação do tipo de vegetação ao valor da rugosidade. A associação foi realizada em função dos valores de referência, apresentados na Figura 5.3, e foi ponderada pela variabilidade do EVI no período seco (julho a dezembro) e úmido (janeiro a junho). Essas variações ressaltam os períodos em que a vegetação está fotossinteticamente ativa. Nos Mapas 5.2 e 5.3 é possível ver tal diferença no comportamento da vegetação para todo o Estado.

A VEGETAÇÃO E O MODELO DE RUGOSIDADE

O Ceará está inserido no Bioma caatinga, com características de vegetação que variam substancialmente da costa para o interior[19]. Nas regiões litorâneas há grande diversidade, com cobertura de mangues, matas de tabuleiros, vegetação herbácea e cerrados costeiros. Forma-se, portanto, um complexo mosaico de rugosidades, com valores de z_0 que aumentam progressivamente a partir da região de dunas, passando por mangues, matas de tabuleiro até áreas urbanas. A região de caatinga é caracterizada por mosaico de caatinga *stricto senso*, caatinga esparsa, matas ciliares e regiões antropizadas com pastagem e agropecuária. As regiões mais elevadas concentram as matas úmidas e secas, com vegetação de maior porte e, consequentemente, maior rugosidade.

Nos Mapa 5.2 e 5.3, representando a rugosidade nos períodos seco e úmido, respectivamente, observa-se a sazonalidade mais evidente nas áreas cobertas por caatinga, onde o acúmulo de biomassa resulta no incremento da rugosidade.

As model input, it was used Era-Interim[4] global reanalysis data, from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF, with 80 km of spatial resolution and 60 vertical levels, to specify the initial and boundary conditions of the simulation. The model was configured with three nested domains, 27 km, 9 km, and 2,5 km of horizontal resolution and 40 vertical levels. For the present study, it was used the latter simulation, with a higher spatial resolution and, therefore, smaller grid size (2,5 km x 2,5 km – D03).

The main features of the simulation's domains are presented in Table 5.1 and the chosen physical options (parameterizations) in Table 5.2. It should be noted that the cumulus parameterization was not considered in the two internal domains (D02 and D03) due to recommendations from the model's manual of not using convection schemes in domains featuring horizontal resolutions under 10 km.

5.2 Terrain Models

5.2.1 DIGITAL ELEVATION MODEL

The Digital Elevation Model of the State of Ceará was prepared based on data collected by the Shuttle Radar Topography Mission – SRTM[11], obtained by a synthetic opening radar aboard the space shuttle Endeavour, in the x and c bands. The mission, carried out in February 2000, had the objective of mapping the planet's topography using the interferometry technique. The digital elevation model was implied, therefore, after processing the data, with a 30 m x 30 m resolution, compatible with the regional mapping scale, as the one performed in the present study. Usually, the SRTM model enables to identify satisfactorily the main forms of relief, in addition to certain geomorphological features.

Map 5.1 presents the digital model of the elevation in Ceará. The information concerning the elevation was key to subsidize subsequent phases of the present study, such as the microscale simulations, sensitive to topographic characteristics, the estimation of the air density and the delimitation of the areas suitable for the installation of the projects. The terrain model was also used to prepare the roughness model, assisting in the interpretation of optical images from orbital sensors, from the inference of high declivity regions.

5.2.2 ROUGHNESS MODEL

The aerodynamic roughness length z_0 is a parameter that characterizes land use and cover in the modeling of near-surface wind, being an important variable in wind power engineering projects. Summarily, the value represents the distance from the surface where it is possible to consider a vertical wind speed profile. The higher the roughness, the greater the kinetic energy loss of the wind near the surface, implicating in how the vertical wind speed profile varies according to the type of land cover.

The parameterization of the roughness length encompasses a set of boundary conditions and thermodynamic considerations in the atmosphere and in its interaction with the surface. The estimation of this parameter is still, however, an open problem in specialized literature, in which various calculation methods are available, in their vast majority destined for the micrometeorological scale[18].

Figure 5.3 illustrates the wind speed vertical gradient for different land covers. When there is no vegetation cover and the surface is flat, speed becomes asymptotic to a few meters above the ground. When the cover is dense, like in a forest, the speed becomes asymptotic in higher altitudes. This variation in the vertical profile of the wind influences rotor height and, consequently, wind power production.

PREPARATION METHODOLOGY OF THE ROUGHNESS MODEL

The aerodynamic roughness model used in this Atlas considers the phenological variation of the vegetation, i.e., the growth and senescence periods during the year. The model's preparation methodology combines geoprocessing and remote sensing techniques, and it has, among its main steps, the multi-temporal classification of land use and cover, from Vegetation Index Images – EVI – and the map of land use and land cover. The use of the EVI helped in associating the type of vegetation to the roughness value. The association was performed according to the reference values presented in Figure 5.3, and was weighted according to the variability of the EVI in the dry period (July to December) and the wet period (January to June). These variations highlight the periods in which the vegetation is photosynthetically active. In Maps 5.2 and 5.3, it is possible to see such difference in vegetation behavior for the entire State.

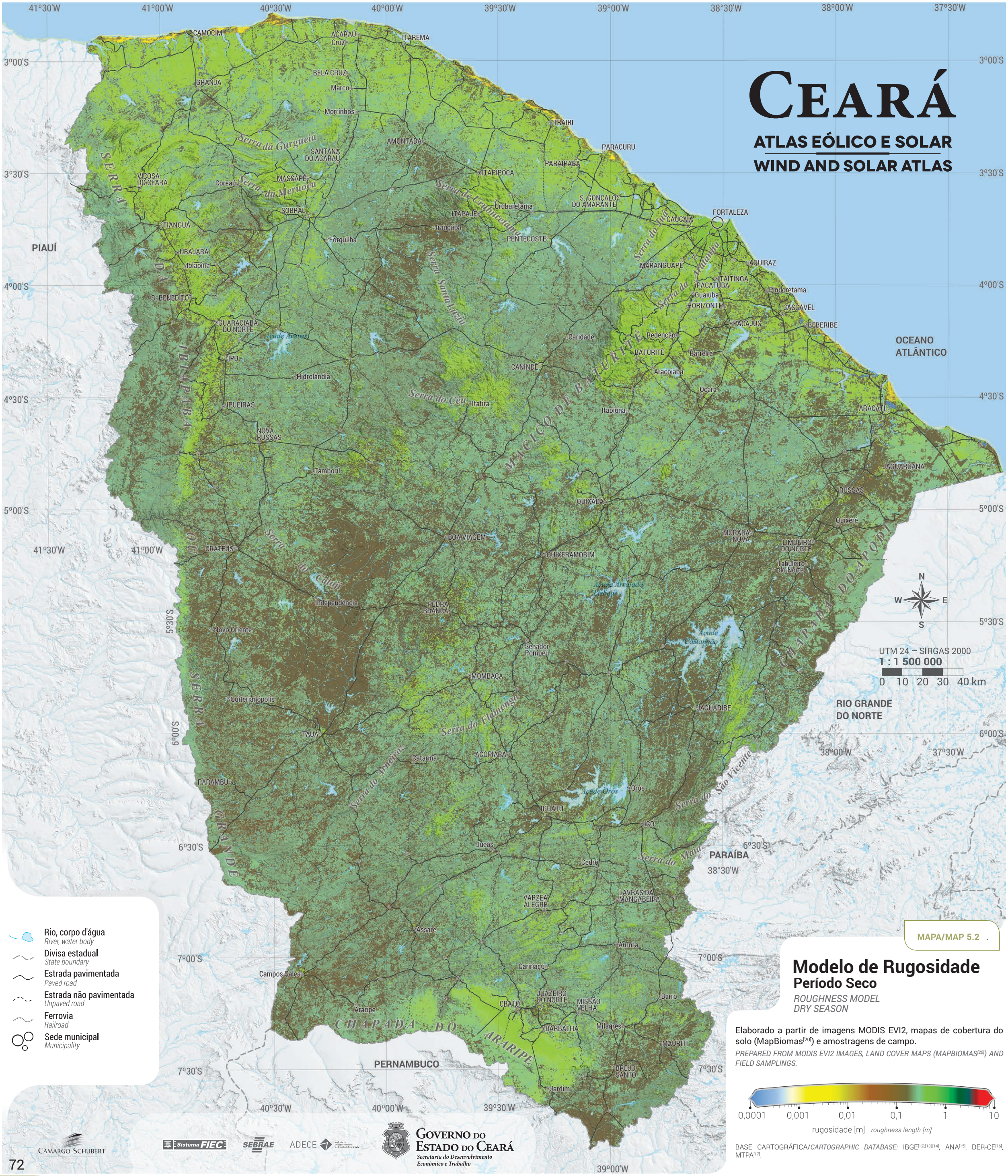
THE VEGETATION AND THE ROUGHNESS MODEL

Ceará is located in the caatinga *Biome, with vegetation characteristics that vary substantially from the coast to the interior[19]. In coastal regions, there is great diversity, with mangrove cover, tableland forests, herbaceous vegetation, and coastal scrublands. Therefore, a complex roughness mosaic is formed, with values of z_0 that progressively increase from the region of the dunes, passing through the mangroves, and tableland forests until reaching urban areas. The* caatinga *region is characterized by a mosaic of* stricto senso caatinga*, sparse* caatinga*, riparian forests, and areas showing human impact with pasture, agriculture, and livestock activities. The highest regions concentrate the wet and dry forests, with larger vegetation and, consequently, greater roughness.*

In Maps 5.2 and 5.3, representing roughness in dry and wet periods, respectively, the most evident seasonality is observed in the areas covered by caatinga*, where biomass accumulation results in the increased roughness.*

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 5.2 .

Modelo de Rugosidade
Período Seco

ROUGHNESS MODEL
DRY SEASON

Elaborado a partir de imagens MODIS EVI2, mapas de cobertura do solo (MapBiomas[20]) e amostragens de campo.

PREPARED FROM MODIS EVI2 IMAGES, LAND COVER MAPS (MAPBIOMAS[20]) AND FIELD SAMPLINGS.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[12][13][14], ANA[15], DER-CE[16], MTPA[17].

CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

Rio, corpo d'água
River, water body
Divisa estadual
State boundary
Estrada pavimentada
Paved road
Estrada não pavimentada
Unpaved road
Ferrovia
Railroad
Sede municipal
Municipality

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 5.3

Modelo de Rugosidade
Período Úmido
ROUGHNESS MODEL
RAINY SEASON

Elaborado a partir de imagens MODIS EVI2, mapas de cobertura do solo (MapBiomas[20]) e amostragens de campo.

PREPARED FROM MODIS EVI2 IMAGES, LAND COVER MAPS (MAPBIOMAS[20]) AND FIELD SAMPLINGS.

0,0001 0,001 0,01 0,1 1 10
rugosidade [m] *roughness length [m]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[12],[13],[14], ANA[15], DER-CE[16], MTPA[17].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

FIGURA 5.3 Perfil da velocidade do vento para diferentes valores de comprimento de rugosidade aerodinâmica.

FIGURE 5.3 *Wind speed profile for different values of aerodynamic roughness length.*

Aerogeradores em rugosidade baixa
Wind turbines at low surface roughness



Praia e litoral
Beach and coast



$(0{,}0001 < z_0 < 0{,}01)$

Dunas
Dunes



$(0{,}0001 < z_0 < 0{,}05)$

Lagos, lagoas e corpos d'água
Lakes, ponds and water bodies



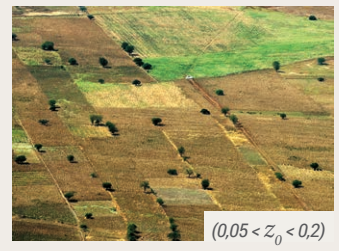
$(0{,}0001 < z_0 < 0{,}01)$

Vegetação rasteira litorânea
Coastal undergrowth



$(0{,}01 < z_0 < 0{,}1)$

Mosaico de áreas agrícolas
Agricultural mosaic



$(0{,}05 < z_0 < 0{,}2)$

FOTOS/PHOTOS: RAMON F.

Vegetação antropizada em área de carnaúbas
Anthropogenic vegetation in area of carnaúbas



$(0{,}1 < z_0 < 0{,}3)$

Pastagem
Pasture



$(0{,}1 < z_0 < 0{,}3)$

Caatinga esparsa
Sparse caatinga



$(0{,}2 < z_0 < 0{,}4)$

Floresta de Tabuleiro
Tabuleiro forest



$(0{,}4 < z_0 < 0{,}8)$

Área antropizada e plantação de caju
Anthropogenic vegetation and cashew plantation



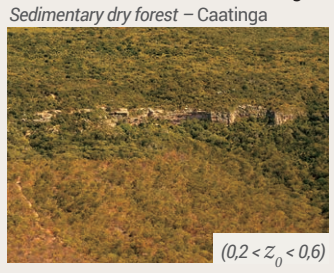
$(0{,}2 < z_0 < 0{,}6)$

Aerogeradores em rugosidade alta
Wind turbines at high surface roughness



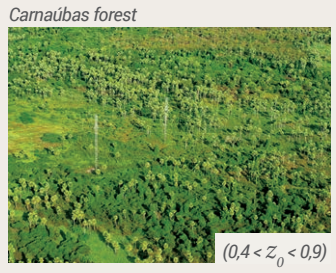
FOTOS/PHOTOS: RAMON F.

Mata seca sedimentar – Caatinga
Sedimentary dry forest – Caatinga



$(0{,}2 < z_0 < 0{,}6)$

Floresta de Carnaúbas
Carnaúbas forest



$(0{,}4 < z_0 < 0{,}9)$

Coqueiral
Coconut grove



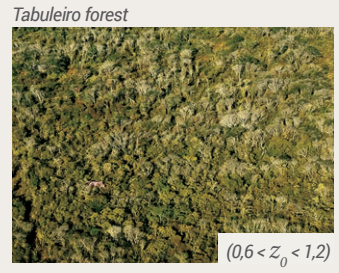
$(0{,}5 < z_0 < 0{,}8)$

Mata úmida – Chapada do Araripe
Rainforest – Chapada do Araripe



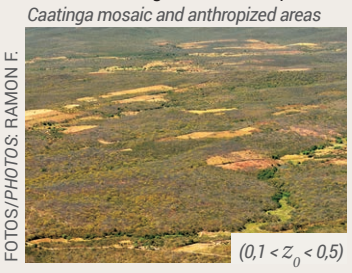
$(0{,}6 < z_0 < 1{,}2)$

Floresta de Tabuleiro
Tabuleiro forest



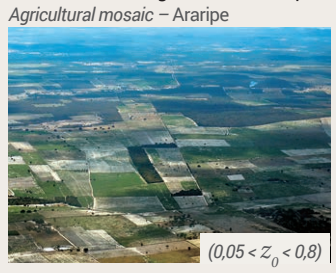
$(0{,}6 < z_0 < 1{,}2)$

Mosaico Caatinga e áreas antropizadas
Caatinga mosaic and anthropized areas



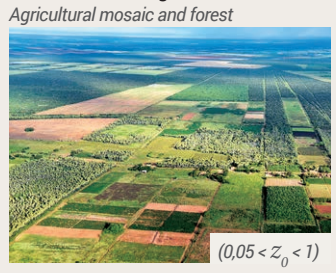
$(0{,}1 < z_0 < 0{,}5)$

Mosaico áreas agrícolas – Araripe
Agricultural mosaic – Araripe



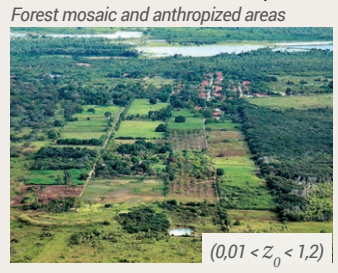
$(0{,}05 < z_0 < 0{,}8)$

Mosaico áreas agrícolas e floresta
Agricultural mosaic and forest



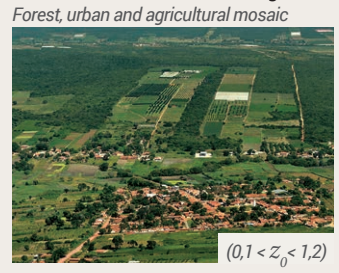
$(0{,}05 < z_0 < 1)$

Mosaico floresta e áras antropizadas
Forest mosaic and anthropized areas

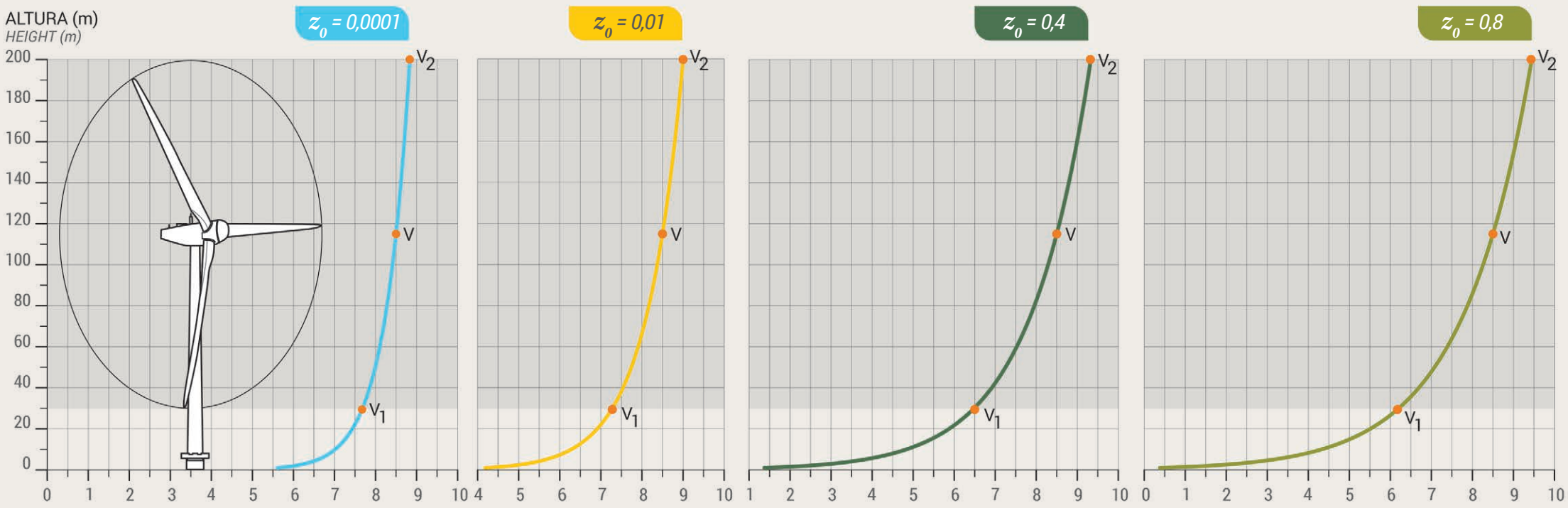


$(0{,}01 < z_0 < 1{,}2)$

Mosaico floresta, urbana e agrícola
Forest, urban and agricultural mosaic



$(0{,}1 < z_0 < 1{,}2)$



VELOCIDADE DO VENTO (m/s)
WIND SPEED (m/s)

E_1 = Energia livre do vento de 0 a 30 m para z_0 = 0,0001 (energia de referência)
E_1 = Free stream wind energy from 0 to 30 m for z_0 = 0,0001 (reference energy)

E_2 = Energia livre do vento de 30 a 200 m para z_0 = 0,0001 (energia de referência)
E_2 = Free stream wind energy from 30 to 200 m for z_0 = 0,0001 (reference energy)

$V_2 - V_1$ = 1,15 m/s V = 8,5 m/s

Energia livre do vento de 0 a 30 m = 76% de E_1
Free stream wind energy from 0 to 30 m = 76% of E_1

Energia livre do vento de 30 a 200 m = 99% de E_2
Free stream wind energy from 30 to 200 m = 99% of E_2

$V_2 - V_1$ = 1,72 m/s

V = 8,5 m/s

Energia livre do vento de 0 a 30 m = 42% de E_1
Free stream wind energy from 0 to 30 m = 42% of E_1

Energia livre do vento de 30 a 200 m = 98% de E_2
Free stream wind energy from 30 to 200 m = 98% of E_2

$V_2 - V_1$ = 2,85 m/s

V = 8,5 m/s

Energia livre do vento de 0 a 30 m = 33% de E_1
Free stream wind energy from 0 to 30 m = 33% of E_1

Energia livre do vento de 30 a 200 m = 98% de E_2
Free stream wind energy from 30 to 200 m = 98% of E_2

$V_2 - V_1$ = 3,24 m/s

V = 8,5 m/s

5.3 MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS E SOLARIMÉTRICAS

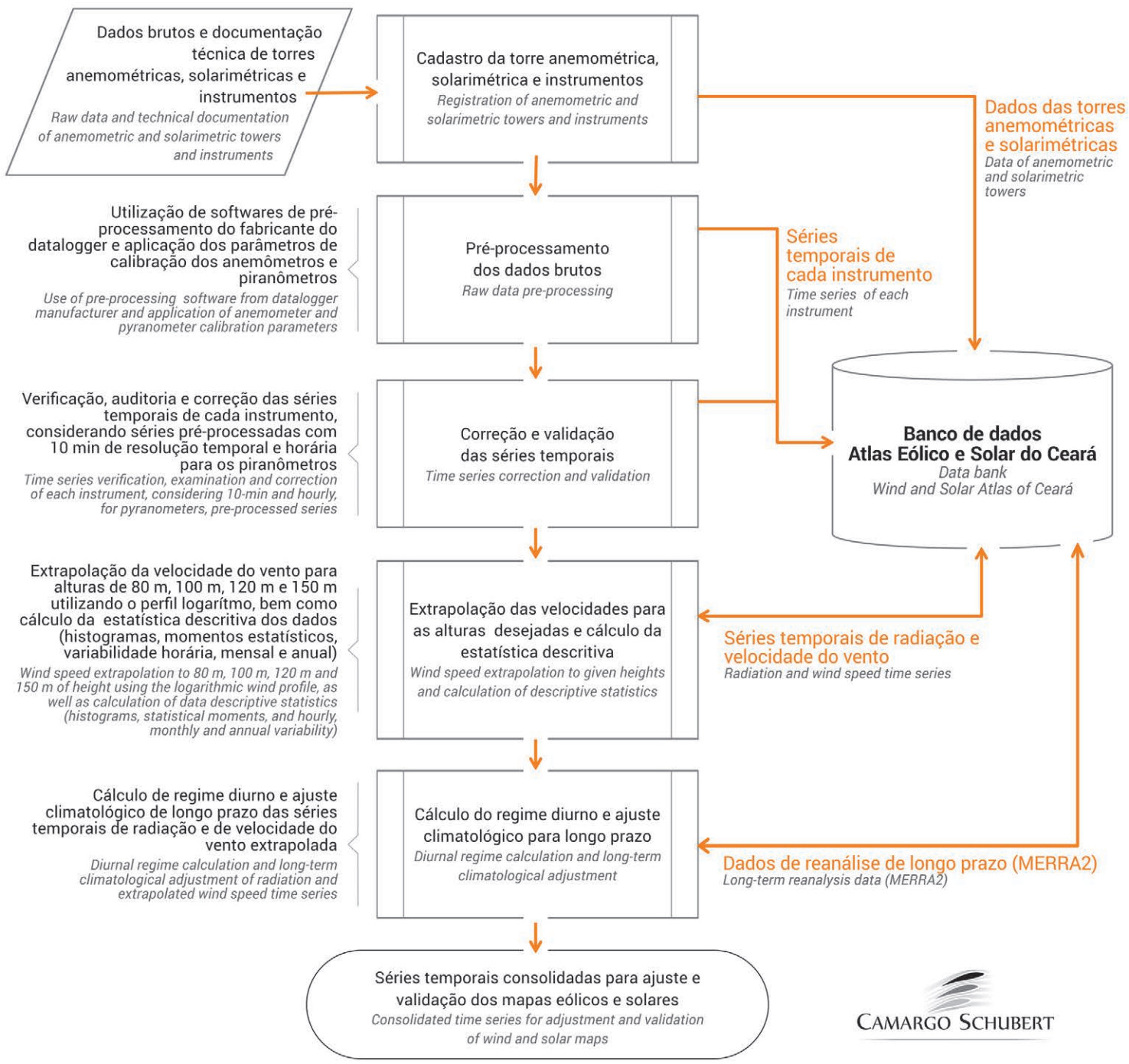
As medições anemométricas e solarimétricas contribuíram para a validação e ajuste das simulações realizadas no presente trabalho. Um maior número de medições possibilita a elaboração de mapas com maior precisão. Por essa razão, os dados observacionais tiveram sua qualidade atestada, para garantir que representam adequadamente as condições meteorológicas do local de medição.

5.3.1 Metodologia de Processamento

Todos os dados anemométricos e solarimétricos passaram por um processo de filtragem, validação, organização, consolidação e compilação, com o objetivo de eliminar possíveis distorções causadas por falhas ou lacunas nas séries temporais. Na Figura 5.4, é apresentado um fluxograma com as etapas da metodologia de processamento de dados aplicada neste trabalho.

O primeiro passo foi compilar as informações das estações de medição (localização, equipamentos e altura dos instrumentos), assim como os dados brutos registrados por cada uma delas. Os dados posteriormente passaram por um pré-processamento, com o registro das configurações de instalação e aplicação de parâmetros de calibração. A etapa subsequente englobou a compilação das séries temporais, de médias horárias dos piranômetros ou de médias de 10 minutos dos demais sensores, com inspeção visual e analítica para eliminação de dados inválidos. As séries temporais (de dados de vento) foram então extrapoladas verticalmente das alturas dos anemômetros para as alturas de confecção dos mapas, isto é, para 80 m, 100 m, 120 m e 150 m acima do nível do solo. Durante a fase de análise gráfica e estatística dos dados, foram confeccionados histogramas e realizados estudos de variabilidade. Os dados observacionais validados e padronizados seguiram para o ajuste climatológico (para a qual foram tomados como referência dados de reanálise do MERRA2[21]), com o objetivo de diminuir a influência da variabilidade interanual nas medições anemométricas e solarimétricas.

FIGURA 5.4 Fluxograma do processamento dos dados anemométricos e solarimétricos.
FIGURE 5.4 *Flowchart of anemometric and solarimetric data processing.*



5.3 Anemometric and Solarimetric Measurements

Anemometric and solarimetric measurements contributed to validate and adjust the simulations performed in the present study. A larger number of measurements enables maps to be drawn with greater precision. For this reason, observation data had their quality attested to ensure that they adequately represent the meteorological conditions at the measurement site.

5.3.1 PROCESSING METHODOLOGY

All the anemometric and solarimetric data went through a filtering, validation, organization, consolidation, and compilation process, with the objective of eliminating possible distortions caused by failures or gaps in the time series. Figure 5.4 shows a flowchart with the steps of the data processing methodology applied to this study.

The first step was to compile information from the measuring stations (location, equipment, and instrument height), as well as the raw data recorded by each one of them. The data subsequently went through pre-processing, with the recording of the installation settings and the application of calibration parameters. The subsequent step comprised the compilation of the time series, of the hourly averages from the pyranometers, or of 10-minute averages from the other sensors, with visual and analytical inspections to eliminate invalid data. The time series (wind data) were then extrapolated vertically from the heights of the anemometers to the heights used to create the maps, i.e., to 80 m, 100 m, 120 m, and 150 m above ground level. During the graphical and statistical data analysis phase, histograms were made and variability studies were performed. The validated and standardized observational data were forwarded for climatological adjustment (for which MERRA2[21] re-analysis data were used as reference), with the objective of reducing the influence of inter-annual variability in the anemometric and solarimetric measurements.

5.3.2 INMET AND FUNCEME METEOROLOGICAL STATIONS

The database used for producing this Atlas includes measurements from 14 INMET Automatic Weather Stations distributed throughout Ceará, as represented in Map 5.4. The EMAs are equipped with meteorological sensors that record local information of temperature, humidity, atmospheric pressure, precipitation, wind speed and direction, and solar radiation[22]. Data from the EMAs were reprocessed to obtain hourly radiation values, which were subjected to the methodology described in Section 5.3.1.

In 2018, INMET published the Brazilian Climatological Normals[25], a compilation containing monthly climatological averages from 26 meteorological parameters, calculated from data collected at INMET stations between 1981 and 2010. Among the parameters presented are the monthly temperature averages which were used in this Atlas.

Data from 52 FUNCEME weather and solarimetric stations, belonging to the Data Collection Platforms – PCDs[24]- network, were also used in validating and adjusting the solarimetric maps. These stations are distributed as represented in Map 5.4.

Table 5.3 shows the main equipment used in the measurement stations. The data obtained from the pyranometer (in bold) were used to produce the maps and the analyses of this Atlas.

5.3.2 Estações Meteorológicas do INMET e FUNCEME

O banco de dados utilizado para a confecção deste Atlas inclui medições de 14 Estações Meteorológicas Automáticas do INMET distribuídas no território cearense, conforme representado no Mapa 5.4. As EMAs são equipadas com sensores meteorológicos que registram informações locais de temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, velocidade e direção do vento e radiação solar[22]. Os dados das EMAs foram reprocessados, para obtenção dos valores horários de radiação, sendo submetidos à metodologia descrita na Seção 5.3.1.

Em 2018, o INMET publicou as Normais Climatológicas do Brasil[25], uma compilação contendo médias climatológicas mensais de 26 parâmetros meteorológicos, calculadas a partir de dados coletados em estações do INMET entre 1981 a 2010. Dentre os parâmetros apresentados, encontram-se as médias mensais de temperatura, utilizadas neste Atlas.

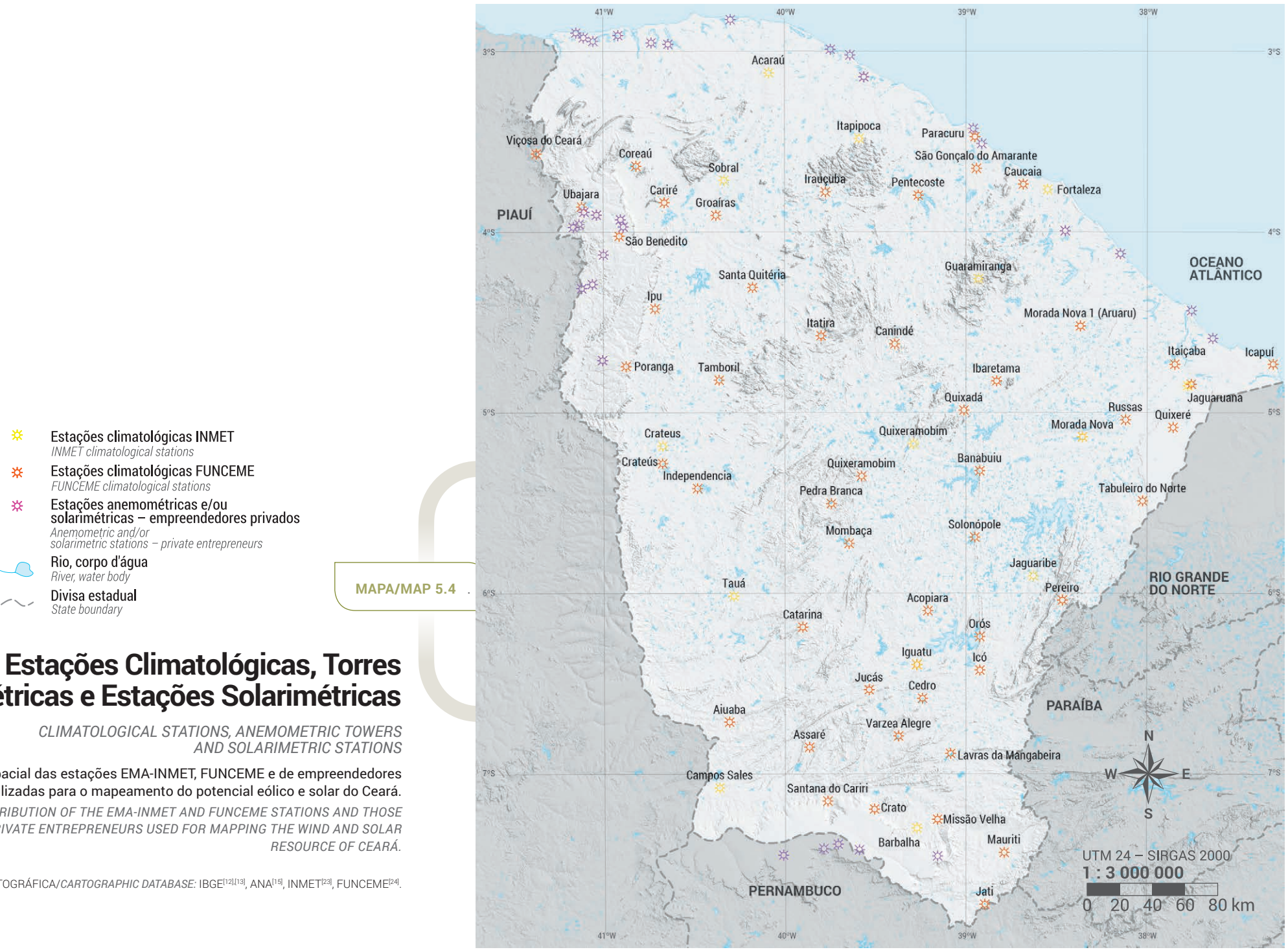
Dados provenientes de 52 estações meteorológicas e solarimétricas da FUNCEME, pertencentes à rede de Plataformas de Coleta de Dados – PCDs[24], foram igualmente utilizados na validação e ajuste dos mapas solarimétricos. Essas estações encontram-se distribuídas conforme representado no Mapa 5.4.

A Tabela 5.3 mostra os principais equipamentos utilizados nas estações de medições. Os dados obtidos do piranômetro (em negrito) foram os utilizados para a confecção dos mapas e análises deste Atlas.

	Funceme	EMA-INMET
Sensor *Sensor*	Fabricante – Modelo *Manufacturer – Model*	
Velocidade do vento *Wind speed*	Met One – 034	Vaisala – WAA151
Direção do vento *Wind direction*	Met One – 034	Vaisala – WAV151
Temperatura e humidade *Temperature and humidity*	**Vaisala – HMP 45 ou 155**	**Vaisala – QMT102**
Piranômetro *Pyranometer*	**Kipp & Zonen – SP Lite ou CMP3**	**Kipp & Zonen – CM 6B**

TABELA 5.3 Principais equipamentos das estações de medição FUNCEME e EMA-INMET.

TABLE 5.3 *Main equipment from the FUNCEME and EMA-INMET measuring stations.*



Estações climatológicas INMET
INMET climatological stations

Estações climatológicas FUNCEME
FUNCEME climatological stations

Estações anemométricas e/ou solarimétricas – empreendedores privados
Anemometric and/or solarimetric stations – private entrepreneurs

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

MAPA/MAP 5.4

Estações Climatológicas, Torres Anemométricas e Estações Solarimétricas

CLIMATOLOGICAL STATIONS, ANEMOMETRIC TOWERS AND SOLARIMETRIC STATIONS

Distribuição espacial das estações EMA-INMET, FUNCEME e de empreendedores privados utilizadas para o mapeamento do potencial eólico e solar do Ceará.

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE EMA-INMET AND FUNCEME STATIONS AND THOSE BELONGING TO PRIVATE ENTREPRENEURS USED FOR MAPPING THE WIND AND SOLAR RESOURCE OF CEARÁ.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[12],[13], ANA[15], INMET[23], FUNCEME[24].

	Nome *Name*	GHI Medido [kWh/m²/ano] *Measured GHI [kWh/m²/year]*	GHI Previsto pelo WRF [kWh/m²/ano] *GHI forecasted by WRF [kWh/m²/year]*	Diferença Percentual *Percentual Difference*
Estações FUNCEME • *FUNCEME Stations*	Ubajara	1889	2168	15%
	Tabuleiro do Norte	1992	2163	9%
	Solonópole	1968	2140	9%
	Santana do Cariri	1873	2126	14%
	Russas	1963	2139	9%
	Quixeré	1902	2144	13%
	Quixeramobim	1935	1977	2%
	Quixadá	1950	1995	2%
	Poranga	1819	1879	3%
	Pereiro (desativada)	2053	2135	4%
	Pentecoste	1966	2012	2%
	Orós	1978	2148	9%
	Morada Nova 1 (Aruaru)	1989	1994	<1%
	Missão Velha	1985	2137	8%
	Lavras da Mangabeira	1936	2150	11%
	Jucás	1990	2055	3%
	Itatira	2015	2068	3%
	Itaiçaba (desativada)	1916	2071	8%
	Ipu	1869	1807	-3%
	Iguatu	2036	2133	5%
	Icó	2070	2173	5%
	Icapuí (desativada)	1973	2158	9%
	Ibaretama	1867	2042	9%
	Crateús	2013	1974	-2%
	Acopiara	1957	2111	8%
	Crato	2017	2132	6%
Estações INMET • *INMET Stations*	Fortaleza	1834	1916	4%
	Sobral	2054	1993	-3%
	Guaramiranga	1597	1683	5%
	Barbalha	2208	2144	-3%
	Iguatú	2191	2133	-3%
	Tauá	2050	2023	-1%
	Quixeramobim	2126	2048	-4%
	Morada Nova	2204	2133	-3%
	Jaguaruana	2173	2127	-2%
	Crateús	1979	1973	-1%
	Campos Sales	2150	2106	-2%

TABELA 5.4 Comparação do dados do mapeamento solar com as medições EMA e estações da FUNCEME.

TABLE 5.4 *Solar power mapping data comparison with the measurements from EMA and from the FUNCEME stations.*

5.3.3 Estações Solarimétricas e Anemométricas Privadas

Complementando os dados da rede pública do INMET e da FUNCEME, também foram utilizadas medições privadas realizadas em 35 estações anemométricas e por 9 piranômetros, localizadas no Ceará. Estas são pertencentes a empreendedores que concederam o uso dos dados para a confecção do Atlas. Dentre as torres anemométricas privadas, 48% possuíam altura entre 80 m e 90 m e 51% acima ou igual a 100 m.

Todas as estações apresentaram dados por um período de medições maior que 12 meses, ou seja, um ciclo climatológico, cobrindo, portanto, variações interanuais no local de medição. Além disso, as torres utilizadas encontram-se posicionadas em locais representativos dos pontos de maior potencial eólico e solar do Estado, como apresentado no Mapa 5.4.

Como as medições anemométricas são destinadas a subsidiar projetos de aproveitamento eólico, seus dados apresentam alta qualidade e taxa de disponibilidade, atendendo às especificações mínimas da EPE (três anemômetro de copo, duas *wind vanes*, um sensor de umidade do ar, um sensor de pressão barométrica, um termômetro e um *datalogger*[26]), para participação em leilões de energia. As medições solarimétricas, no entanto, não atendem aos padrões da EPE (dois piranômetros classe 1, sensores de umidade relativa, temperatura e velocidade do vento[27]). Essas especificações seguem a regulamentação vigente.

5.3.4 Validação dos Mapas Eólicos

Como em qualquer modelo atmosférico, os resultados das simulações *MesoMap* podem divergir dos dados observacionais, principalmente sob condições de escoamento complexo. Por esse motivo, ao final do mapeamento eólico, os dados previstos pelo modelo foram comparados com os medidos nas estações anemométricas. A partir dessas comparações, foram calculadas métricas estatísticas (desvios médios e erros quadráticos médios) e aplicadas correções do viés (*bias*), em casos onde a representatividade da modelagem foi baixa, resultando nos mapas eólicos apresentados no Capítulo 6.

5.3.5 Validação dos Mapas Solares

O mapeamento da radiação solar utilizando o modelo WRF permite caracterizar a distribuição espacial do recurso, principalmente em regiões onde não há medições. No entanto, esta estimativa apresenta limitações e erros inerentes ao processo de simulação. Com o objetivo de se obter resultados mais representativos, a modelagem solar foi ajustada com medições de radiação em superfície.

Caracterizado pela diferença média entre o valor da radiação estimada pelo modelo e da medição no local (FUNCEME, INMET e privadas), o *bias* foi aplicado nos mapas solares do WRF, resultando nos mapas apresentados no Capítulo 6. Para essa avaliação, foram excluídas as torres próximas com inconsistência entre as medições e com período de valores válidos inferiores a 3 anos.

A Tabela 5.4 apresenta as diferenças entre os dados das estações e do modelo após o ajuste do viés. Na maior parte dos casos, o erro global é baixo, igual a 6,60%, porém a comparação com medições de empreendedores privados sugere uma tendência da modelagem a superestimar a radiação nas regiões mais altas e a subestimar próximo ao litoral. Tal desvio reforça a importância de medições solarimétricas específicas e

5.3.3 PRIVATE SOLARIMETRIC AND ANEMOMETRIC STATIONS

Complementing the data from the INMET and FUNCEME public network, private measurements were also used, performed at 35 anemometric stations and by 9 pyranometers, located in Ceará. These belong to entrepreneurs who granted the use of the data for the preparation of this Atlas. Among the private anemometric towers, 48% feature heights between 80 m and 90 m, and 51% are equal to or higher than 100 m.

All stations reported data for a measurement period longer than 12 months, i.e., a climate cycle, covering, therefore, interannual variations at the measurement site. In addition, the towers used are positioned at representative locations in relation to the points of greatest wind or solar power potential in the State, as presented in Map 5.4.

Since the anemometric measurements are destined to subsidize wind power projects, their data present high quality and availability rates, meeting the minimum specifications from EPE (three cup anemometers, two wind vanes, one air humidity sensor, one barometric pressure sensor, one thermometer, and one datalogger[26]), in order to participate in energy auctions. The solarimetric measurements, however, do not meet EPE standards (two first class pyranometers, relative humidity, temperature, and wind speed sensors[27]). These specifications comply with current regulations.

5.3.4 WIND MAP VALIDATION

As in any atmospheric model, results from MesoMap simulations may differ from observational data, mainly under complex flow conditions. For this reason, at the end of wind mapping, the data provided by the model were compared with those measured at the anemometric stations. From these comparisons, statistical metrics were calculated (mean deviations and mean square errors) and bias corrections were applied, in cases where the representativeness of the modeling was low, resulting in the wind maps presented in Chapter 6.

5.3.5 SOLAR MAP VALIDATION

Solar radiation mapping using the WRF model allows the characterization of the spatial distribution of the resource, especially in regions where there are no measurements. However, this estimation presents limitations and errors inherent to the simulation process. In order to obtain more representative results, the solar modeling was adjusted with radiation measurements at the surface.

Characterized by the average difference between the radiation value estimated by the model and the one measured at the site (FUNCEME, INMET and private), the bias was applied to the WRF solar maps, resulting in the maps presented in Chapter 6. For this evaluation, nearby towers with inconsistencies between measurements and periods with valid values for less than 3 years were excluded.

Table 5.4 shows the differences between the data from the stations and the model after bias adjustment. In most cases, the overall error is low, equal to 6,60%, but the comparison with the measurements made by private entrepreneurs suggests a tendency of the modeling to overestimate the radiation in the higher regions and to underestimate it near the coast. This deviation reinforces the importance of specific solarimetric measurements for the purpose of large solar power projects. The calculation of the combined uncertainty, considering the model error (6,60%) and the measurement error (5,00%) results in 8,28%. However, in some regions, such as the coast and Serra da Ibiapaba*, the percentage errors and monthly uncertainties exceed 10%.*

The uncertainty from the direct and diffuse radiation variables was not evaluated due to the lack of specific measurements in the State. It should also be noted that, in the Atlas, no solar observational data used follow the quality standard of large-scale projects[27]. In this context, measurements at the site of interest are fundamental to reduce the uncertainty involved in the numerical modeling process and to represent the actual solar radiation, characterizing its direct and diffuse components, albedo, wind speed, and temperature. The reduction of uncertainties is essential to ensure financing in the development of centralized solar projects.

5.4 Map integration

For map integration, calculation of the wind and solar power resource and quantification of the installable capacity in the State, presented in Chapter 7, conservative assumptions were adopted. The installed capacities were calculated considering the mapping of suitable areas (Map 6.3) for the installation of photovoltaic and wind power projects. These areas were delimited using geoprocessing techniques, based on maps of land use and land cover from different sources, such as Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE, National Water Agency – ANA, ANEEL, EPE, Brazilian Annual Land Use and Land Cover Mapping Project – MapBiomas, Ceará State Department of Highways – DER-CE – and National Aeronautics and Space Administration – NASA, as well as slope maps, derived from SRTM topography data[11] and methodology described in Section 5.2.

The map of suitable solar and wind power areas (Map 6.3) details the areas of restriction, the areas suitable for wind power exploitation (v>7 m/s at 150 m), the areas suitable for centralized and distributed solar power exploitation, the intersection between the areas suitable for wind and solar power projects, and the heavily degraded areas in the State.

The installable capacity of Ceará was also integrated by mesoregion and by microregion, considering the geographical limits available in IBGE (2018)[13]. The results are presented in Chapter 7.

The assumptions adopted in calculating the integration are as follows:

(I) TO CALCULATE THE WIND POWER RESOURCE, THE FOLLOWING WAS ADOPTED:

- *exclusion of urban areas, villas, villages, artificial constructions (such as roads, transmission lines and areas with already-existing wind power projects), dunes, mangroves, floodplains, lakes, rivers and waterways, areas of permanent preservation, areas of full protection, indigenous lands, and quilombola lands.*
- *exclusion of areas with slopes above 15% to ensure the installation of bases, accesses, and transport logistics of the wind turbine;*
- *integration of the areas by annual wind speed ranges, from 7,0 m/s;*
- *occupancy rate of 4 MW/km², considering the wind turbines presently offered on the market;*
- *assumptions for the purpose of the global energy estimation: grid, turbine, and maintenance downtime (4,68%); electrical losses to the connection point (3,00%); blade and performance degradation (1,30%); aerodynamic losses (6,00%).*

(II) TO CALCULATE THE OFFSHORE WIND POWER RESOURCE, THE FOLLOWING WAS ADOPTED:

- *exclusion of full protection areas in the sea, areas of undersea cables, fishing areas, and concession areas for the exploration of oil and gas;*
- *integration up to 24 nautical miles from the coastline, representing the territorial sea and contiguous zone;*
- *integration between bathymetries from 5 m to 50 m;*
- *integration from 2 km from the coastline to represent tidal effects and to prevent erosive processes near the beach;*
- *occupancy rate of 6 MW/km², considering the characteristic power curve of offshore wind turbines;*
- *assumptions for the purpose of the global energy estimation: grid, turbine, and maintenance downtime (5,0%); electrical losses to the connection point (varying from 3,0% to 4,5%, calculated from the bathymetry and coastline); blade and performance degradation (1,3%); and aerodynamic losses (8,0%).*

(III) TO CALCULATE THE SOLAR POWER RESOURCE IN CENTRALIZED PHOTOVOLTAIC POWER PROJECTS, THE FOLLOWING WAS ADOPTED:

- *exclusion of urban areas, villas, villages, artificial constructions (such as roads and transmission lines), agricultural areas, dunes, forest formations, mangroves, floodplains, lakes, rivers and waterways, areas of permanent preservation, areas of full protection, indigenous lands, and quilombola lands;*
- *exclusion of areas with slopes above 8%, thus considering only flat lands (0% to 3%) and slightly undulating lands (3% to 8%);*
- *effective occupancy rate of 8 MW/km², considering the technical work carried out by NREL[28] and the average size of plants with environmental license approved in the State. It is considered that even in suitable areas, 100% land occupation with solar panels is not possible, since there are several other socio-economic needs for land use; in addition, space must also be planned for service installations and environmental restrictions inside the plant; it was estimated, therefore, that solar power plants could occupy, on average, 20% of the suitable area in lands featuring optimal conditions, denominating this proportion as land use fraction. Taking as reference that a modern solar power plant achieves a power density of 40 MW/km² and a land use fraction of 20%, the viable density of photovoltaic power modules is calculated, and equals to 8 MW/km².*
- *degraded areas occupancy rate of 16 MW/km², i.e., exploitation of 40% of the surface; these areas, delimited according to FUNCEME's mapping, were evaluated separately due to a particular interest from the State in making them productive with incentives towards electrical power generation.*

para o propósito de grandes empreendimentos solares. O cálculo da incerteza combinada considerando o erro do modelo (6,60%), e o erro das medições (5,00%) resulta em 8,28%. No entanto, em algumas regiões, como o litoral e a Serra de Ibiapaba, os erros percentuais e incertezas mensais superam 10%.

A incerteza das variáveis de radiação direta e difusa não foi avaliada, devido à ausência de medições específicas no Estado. Ressalte-se também que, no Atlas, nenhum dado observacional solar utilizado segue o padrão de qualidade de projetos de grande porte[27]. Nesse contexto, medições no local de interesse são fundamentais para reduzir a incerteza envolvida no processo de modelagem numérica e representar a radiação solar real, caracterizando suas componentes direta e difusa, o albedo, a temperatura e a velocidade do vento. A redução das incertezas é essencial para garantir financiamentos no desenvolvimento de empreendimentos solares centralizados.

5.4 INTEGRAÇÃO DOS MAPAS

Para a integração dos mapas, cálculo do potencial eólico e solar e quantificação da capacidade instalável no Estado, apresentadas no Capítulo 7, foram adotadas premissas conservadoras. As capacidades instaladas foram calculadas considerando o mapeamento das áreas aptas (Mapa 6.3) para instalação de projetos eólicos e fotovoltaicos. Essas áreas foram delimitadas utilizando técnicas de geoprocessamento, fundamentadas por mapas de uso e cobertura do solo de diferentes fontes, tais como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Agência Nacional de Águas – ANA, ANEEL, EPE, Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil – MapBiomas, Departamento Estadual de Rodovias do Ceará – DER-CE – e *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, assim como de mapas de declividade, derivados dos dados de topografia SRTM[11] e metodologia descrita na Seção 5.2.

O mapa de áreas aptas solar e eólica (Mapa 6.3) detalha as áreas de restrição, as áreas aptas para o aproveitamento eólico (v> 7m/s à 150 m), as áreas aptas para aproveitamento solar centralizado e distribuído, a interseção entre as áreas aptas para projetos solares e eólicos e as áreas fortemente degradadas no Estado.

A capacidade instalável do Ceará também foi integrada por mesorregião e microrregião, considerando os limites geográficos disponíveis no IBGE (2018)[13]. Os resultados são apresentados no Capítulo 7.

As premissas adotadas no cálculo de integração são apresentadas a seguir:

(I) PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO ADOTOU-SE:

- exclusão de áreas urbanas, vilas, povoados, construções artificiais (como vias, linhas de transmissão e áreas de projetos eólicos já existentes), dunas, mangues, áreas inundáveis, lagos, rios e cursos d'água, áreas de preservação permanente, áreas de proteção integral, terras indígenas e quilombolas.
- exclusão das áreas com declividade acima de 15% para garantir a instalação de bases, acessos e logística de transporte do aerogerador;
- integração das áreas por faixas de velocidade média anual do vento, a partir de 7,0 m/s;
- taxa de ocupação de 4 MW/km², considerando os aerogeradores oferecidos atualmente no mercado;
- premissas para fins da estimativa global de energia: indisponibilidade de rede, turbina e manutenção (4,68%); perdas elétricas até o ponto de conexão (3,00%); degradação de pás e desempenho (1,30%); perdas aerodinâmicas (6,00%).

(II) PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO *OFFSHORE*, ADOTOU-SE:

- exclusão das áreas de proteção integral no mar, áreas de cabos submarinos, pesca e áreas de concessão de exploração de óleo e gás;
- integração até 24 milhas náuticas da linha de costa, representando o mar territorial e zona contígua;
- integração entre as batimetrias de 5 m a 50 m;
- integração a partir de 2 km da linha de costa para representar efeitos de maré e evitar processos erosivos próxima à praia;
- taxa de ocupação de 6 MW/km², considerando curva de potência característica de aerogeradores *offshore*;
- premissas para fins da estimativa global de energia: indisponibilidade de rede, turbinas e manutenção (5,0%); perdas elétricas até o ponto de conexão (variando entre 3,0% a 4,5%, calculadas a partir da batimetria e linha de costa); degradação de pás e desempenho (1,3%); e perdas aerodinâmicas (8,0%).

(III) PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL SOLAR EM PROJETOS FOTOVOLTAICOS CENTRALIZADOS, ADOTOU-SE:

- exclusão de áreas urbanas, vilas, povoados, construções artificiais (como vias e linhas de transmissão), áreas agrícolas, dunas, formações florestais, mangues, áreas inundáveis, lagos, rios e cursos d'água, áreas de preservação permanente, áreas de proteção integral, terras indígenas e quilombolas;
- exclusão das áreas com declividade acima de 8%, considerando-se somente terrenos planos (0% a 3%) e pouco ondulados (3% a 8%);
- taxa de ocupação efetiva de 8 MW/km², considerando trabalhos técnicos realizados pelo NREL[28] e o tamanho médio das usinas com licença ambiental aprovadas no Estado. Considera-se que mesmo em áreas aptas, não é possível 100% de ocupação do solo com painéis solares, pois há diversas outras necessidades socioeconômicas para o uso da terra; também, deve-se prever espaço para instalações de serviço e restrições ambientais dentro da usina; estimou-se, portanto, que plantas solares poderiam ocupar, em média, 20% da área apta em terrenos com condições ótimas, denominando-se essa proporção de fração de aproveitamento da superfície. Tomando-se como referência que uma usina solar moderna atinge uma densidade de potência da ordem de 40 MW/km² e a fração de aproveitamento de 20%, calcula-se a densidade viável de módulos fotovoltaicos igual a 8 MW/km²;
- taxa de ocupação de áreas degradadas de 16 MW/km², ou seja, aproveitamento de 40% da superfície; essas áreas, delimitadas segundo mapeamento da FUNCEME, foram avaliadas separadamente devido a um interesse específico do Estado em torná-las produtivas com o incentivo à geração de energia.

5 METODOLOGIA
METHODOLOGY

(IV) PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL SOLAR EM PROJETOS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS ADOTOU-SE:

- integração somente em áreas urbanas construídas, delimitadas conforme dados do IBGE, e mapas de uso e cobertura da terra;
- taxa de ocupação de 2 MW/km².

Nas simulações para fins de estimativa global de energia solar foram adotadas as seguintes premissas: eficiência do módulo (17%) nas Condições Padrão de Teste (*Standard Test Conditions* – STC); reflectância da superfície do módulo (0,16), para estimativa de perdas ópticas; Temperatura (44°C) Nominal de Operação da Célula (*Nominal Operating Cell Temperature* – NOCT); coeficiente de temperatura da célula (0,03°C/W); perdas por temperatura na potência máxima – Pmax (-0,44%/°C); eficiência do inversor (97,5%); perdas por sujidade (3,5%); perdas nos cabos (2,5%); perdas sobre o descasamento (0,5%) da quantidade de energia gerada pelos módulos em um arranjo (*mismatch*); perdas no transformador (1,5%); e disponibilidade (99%).

A estimativa da produtividade fotovoltaica foi calculada considerando premissas típicas de projetos com a tecnologia de silício policristalino e o ângulo de inclinação de 10° orientado para o Norte. A produtividade nesse ângulo é bem próxima à produtividade no ângulo de inclinação teórico ótimo, que no Ceará varia entre 3° a 9°, lembrando que, todavia, é recomendado pelo fabricante uma inclinação mínima de instalação de 10°, para auxiliar a autolimpeza dos painéis. A produtividade teórica máxima pode ser deduzida para outras angulações, para algumas regiões do Estado, conforme gráficos da Figura 7.16.

Os valores de produtividade calculados referem-se à capacidade instalável em painéis fotovoltaicos, sendo portanto apresentados em unidade de energia/capacidade do painel/tempo (Wh/W_p/dia ou múltiplos).

É importante ressaltar que as estimativas aqui apresentadas neste trabalho representam a produtividade média, e que a produtividade real depende da tecnologia dos painéis solares, do uso ou não de rastreadores solares, das perdas elétricas, das perdas por sujidade e de perdas elétricas que estão diretamente relacionadas à topologia elétrica dos arranjos dos painéis e inversores.

(IV) TO CALCULATE THE SOLAR POWER RESOURCE IN DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC PROJECTS, THE FOLLOWING WAS ADOPTED:

• integration only in constructed urban areas, delimited according to IBGE data, and maps of land cover and land use;

• occupancy rate of 2 MW/km².

In simulations for the purpose of the global estimation of solar energy, the following assumptions were adopted: module efficiency (17%) in Standard Test Conditions – STC; module surface reflectance (0,16), for estimating optical losses; Nominal Operating Cell Temperature – NOCT (44°C); cell temperature coefficient (0,03°C/W); losses due to temperature under maximum power – Pmax (-0,44%/°C); inverter efficiency (97,5%); losses due to dirtiness (3,5%); losses in the cables (2,5%); mismatching losses (0,5%); transformer losses (1,5%); and availability (99%).

The estimation of photovoltaic energy yield was calculated considering typical assumptions of projects using polycrystalline silicon technology and a tilt angle of 10° oriented to the North. Energy yield in this angle is very close to the energy yield in the optimal theoretical tilt angle, which in Ceará ranges from 3° to 9°, remembering that, however, the manufacturer recommends a minimum tilt angle of 10° to assist the self-cleaning of panels. The maximum theoretical productivity can be deduced for other angles, for some regions of the State, according to the graphs presented in Figure 7.16.

The energy yield values calculated refer to the installable capacity in photovoltaic panels, therefore, they are presented in energy unit/panel capacity/time (Wh/W_p/day or multiples).

It is important to emphasize that the estimations presented in this work represent the average energy yield and that the actual energy yield depends on the solar panel technology, the use or not of solar trackers, electrical power losses, losses due to dirtiness, and electrical power losses that are directly related to the electrical topology of panel and inverter arrangement.

FIGURA 5.5 Complexo Solar Apodi, município de Quixeré.
FIGURE 5.5 *Apodi Solar Complex, municipality of Quixeré.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

FIGURA 6.1 Complexo Eólico de Icaraí, município de Amontada.

FIGURE 6.1 *Icaraí Wind Farm, Amontada municipality.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

6 MAPAS EÓLICOS E SOLARES

WIND AND SOLAR MAPS

6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rosas dos Ventos Anuais
ANNUAL WIND ROSES

6.1.1 Frequências x Direções 82
FREQUENCIES X DIRECTIONS

6.1.2 Velocidades Normalizadas x Direções 83
NORMALIZED SPEEDS X DIRECTIONS

Potencial Eólico
WIND RESOURCE

6.1.3 Sazonal a 80 m de Altura 84
SEASONAL AT 80 m HEIGHT

6.1.4 Anual a 80 m de Altura 85
ANNUAL AT 80 m HEIGHT

6.1.5 Sazonal a 100 m de Altura 86
SEASONAL AT 100 m HEIGHT

6.1.6 Anual a 100 m de Altura 87
ANNUAL AT 100 m HEIGHT

6.1.7 Sazonal a 120 m de Altura 88
SEASONAL AT 120 m HEIGHT

6.1.8 Anual a 120 m de Altura 89
ANNUAL AT 120 m HEIGHT

6.1.9 Mensal a 120 m de Altura 90
MONTHLY AT 120 m HEIGHT

6.1.10 Sazonal a 150 m de Altura 92
SEASONAL AT 150 m HEIGHT

6.1.11 Anual a 150 m de Altura 93
ANNUAL AT 150 m HEIGHT

Regime Diurno de Vento
WIND SPEED DIURNAL CYCLE

6.1.12 Média Anual 94
ANNUAL AVERAGE

6.1.13 Fator de Forma de Weibull Anual 95
ANNUAL WEIBULL SHAPE FACTOR

6.1.14 Densidade Média Anual do Ar 96
AVERAGE ANNUAL AIR DENSITY

Potencial Eólico Anual Sobre o Mar
ANNUAL OFFSHORE WIND RESOURCE

6.1.15 a 100 m de Altura 97
AT 100 m HEIGHT

6.1.16 a 150 m de Altura 97
AT 150 m HEIGHT

FIGURA 6.2 Complexo Solar Apodi, município de Quixeré.
FIGURE 6.2 *Apodi Solar Power Plant, Quixeré municipality.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

Irradiação Global Horizontal
GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

6.2.1 Sazonal 98
SEASONAL

6.2.2 Anual 99
ANNUAL

6.2.3 Mensal 100
MONTHLY

Irradiação Difusa Horizontal
DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION

6.2.4 Sazonal 102
SEASONAL

6.2.5 Anual 103
ANNUAL

6.2.6 Mensal 104
MONTHLY

Irradiação Normal Direta
DIRECT NORMAL IRRADIATION

6.2.7 Sazonal 106
SEASONAL

6.2.8 Anual 107
ANNUAL

6.2.9 Mensal 108
MONTHLY

Irradiação Total no Plano Inclinado a 10º
GLOBAL IRRADIATION ON THE 10º TILTED PLANE

6.2.10 Sazonal 110
SEASONAL

6.2.11 Anual 111
ANNUAL

6.2.12 Mensal 112
MONTHLY

Produtividade Fotovoltaica no Plano Inclinado 10º
PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

6.2.13 Sazonal 114
SEASONAL

6.2.14 Anual 115
ANNUAL

6.2.15 Mensal 116
MONTHLY

6.3 Áreas Aptas 119
SUITABLE AREAS

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

PIAUÍ

OCEANO ATLÂNTICO

RIO GRANDE DO NORTE

PARAÍBA

PERNAMBUCO

CAMOCIM · ACARAÚ · Cruz · ITAREMA · BELA CRUZ · GRANJA · Marco · Morrinhos · TRAIRI · AMONTADA · PARACURU · SANTANA DO ACARAÚ · PARAIPABA · ITAPIPOCA · VICOSA DO CEARÁ · Coreaú · MASSAPÊ · S. GONÇALO DO AMARANTE · Uruburetama · SOBRAL · ITAPAJÉ · FORTALEZA · CAUCAIA · TIANGUÁ · Irauçuba · Forquilha · PENTECOSTE · UBAJARA · Ibiapina · MARANGUAPE · AQUIRAZ · ITAITINGA · PACATUBA · Pindoretama · S. BENEDITO · Guaiúba · HORIZONTE · CASCAVEL · GUARACIABA DO NORTE · PACAJUS · BEBERIBE · Caridade · Redenção · BATURITÉ · Barreira · IPU · CANINDÉ · Aracoiaba · Hidrolândia · Ocara · IPUEIRAS · Itatira · Itapiúna · ARACATI · NOVA RUSSAS · JAGUARUANA · Tamboril · RUSSAS · QUIXADÁ · Quixeré · BOA VIAGEM · MORADA NOVA · LIMOEIRO DO NORTE · CRATEÚS · QUIXERAMOBIM · Tabuleiro do Norte · Independência · PEDRA BRANCA · Novo Oriente · Senador Pompeu · MOMBAÇA · Quiterianópolis · JAGUARIBE · TAUÁ · Catarina · ACOPIARA · PARAMBU · Orós · IGUATU · ICÓ · Jucás · Cedro · VÁRZEA ALEGRE · LAVRAS DA MANGABEIRA · Assaré · Aurora · Caririaçu · Campos Sales · JUAZEIRO DO NORTE · CRATO · MISSÃO VELHA · Barro · Araripe · BARBALHA · Milagres · MAURITI · BREJO SANTO · Jardim

3°00'S · 3°30'S · 4°00'S · 4°30'S · 5°00'S · 5°30'S · 6°00'S · 6°30'S · 7°00'S · 7°30'S

41°30'W · 41°00'W · 40°30'W · 40°00'W · 39°30'W · 39°00'W · 38°30'W · 38°00'W · 37°30'W

N · W · E · S

UTM 24 – SIRGAS 2000

1 : 1 500 000

0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.1.1 .

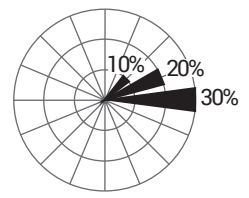
Rosas dos Ventos Anuais
frequências x direções

ANNUAL WIND ROSES
FREQUENCIES X DIRECTIONS

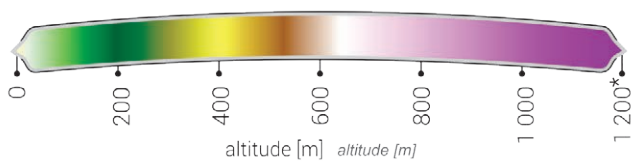
Calculado a 100 m de altura, com base no modelo MesoMap (UL TruePower) e medições anemométricas.

CALCULATED AT 100 m HEIGHT, BASED ON THE MESOMAP MODEL (UL TRUEPOWER) AND WIND MEASUREMENTS.

FREQUÊNCIAS X DIREÇÕES
FREQUENCIES X DIRECTIONS



MAPA DE ROSA DOS VENTOS SOBREPOSTO AO RELEVO SOMBREADO
WIND ROSE MAP OVERLAID TO THE SHADED RELIEF



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Sede municipal
Municipality

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3].

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.

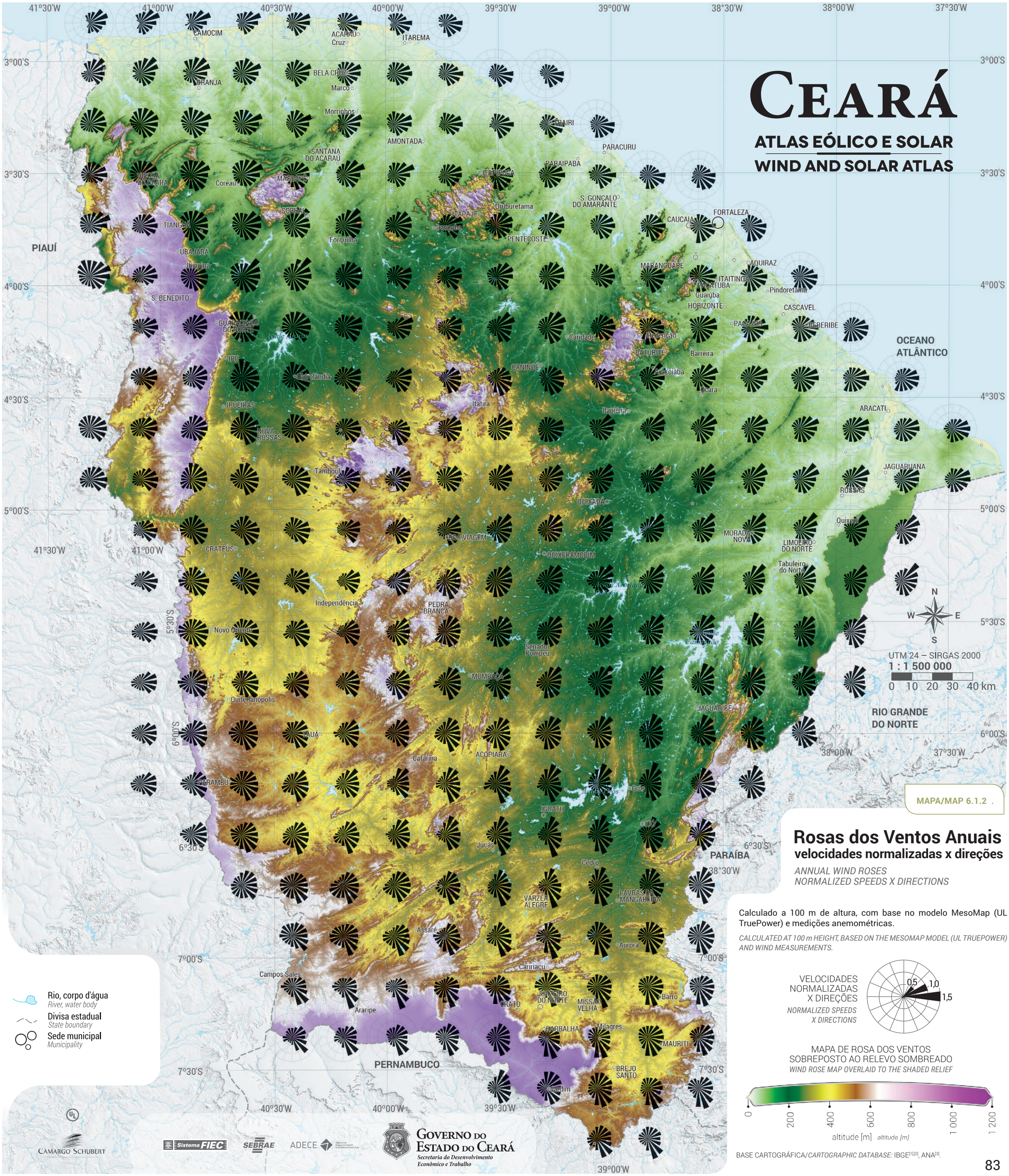
** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



N
W E
S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

Rio, corpo d'água
River, water body
Divisa estadual
State boundary
Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 6.1.2 .

Rosas dos Ventos Anuais
velocidades normalizadas x direções

ANNUAL WIND ROSES
NORMALIZED SPEEDS X DIRECTIONS

Calculado a 100 m de altura, com base no modelo MesoMap (UL TruePower) e medições anemométricas.

CALCULATED AT 100 m HEIGHT, BASED ON THE MESOMAP MODEL (UL TRUEPOWER) AND WIND MEASUREMENTS.

VELOCIDADES NORMALIZADAS X DIREÇÕES
NORMALIZED SPEEDS X DIRECTIONS

MAPA DE ROSA DOS VENTOS SOBREPOSTO AO RELEVO SOMBREADO
WIND ROSE MAP OVERLAID TO THE SHADED RELIEF

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1][2], ANA[3].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

MAPA/MAP 6.1.3 .

Potencial Eólico Sazonal
a 80 m de altura

SEASONAL WIND RESOURCE AT 80 m HEIGHT

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM, COREAÚ, MERUOCA, ITAPIPOCA, SÃO GONÇALO DO AMARANTE, FORTALEZA, ITAPAJÉ, SOBRAL, TIANGUÁ, PENTECOSTE, PIAUÍ, CASCAVEL, PACAJUS, OCEANO ATLÂNTICO, IPU, BATURITÉ, CANINDÉ, HIDROLÂNDIA, OCARA, ARACATI, RUSSAS, QUIXADÁ, CRATEÚS, JAGUARIBE, TAUÁ, ACOPIARA, PEREIRO, RIO GRANDE DO NORTE, IGUATU, VÁRZEA ALEGRE, LAVRAS DA MANGABEIRA, PARAÍBA, CARIRIAÇU, CAMPOS SALES, JUAZEIRO DO NORTE, MAURITI, BREJO SANTO, PERNAMBUCO

41°W 40°W 39°W 38°W
3°S 4°S 5°S 6°S 7°S

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11*

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)*
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.1.4 .

Potencial Eólico Anual
a 80 m de altura
ANNUAL WIND RESOURCE AT 80 m HEIGHT

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower), com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, interpolado para 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulações de camada -limite atmosférica no *software WindMap*.

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER), WITH HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, INTERPOLATED TO 200 m X 200 m USING WIND MEASUREMENTS AND ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS WITH WINDMAP SOFTWARE.

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11].

** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT.*

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ — Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

MAPA/MAP 6.1.5 .

Potencial Eólico Sazonal
a 100 m de altura

SEASONAL WIND RESOURCE AT 100 m HEIGHT

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM
COREAÚ
MERUOCA
SOBRAL
TIANGUÁ
ITAPIPOCA
ITAPAJÉ
SÃO GONÇALO DO AMARANTE
FORTALEZA
PENTECOSTE
CASCAVEL
PACAJUS
PIAUÍ
OCEANO ATLÂNTICO
IPU
HIDROLÂNDIA
CANINDÉ
BATURITÉ
OCARA
ARACATI
RUSSAS
QUIXADÁ
CRATEÚS
JAGUARIBE
TAUÁ
ACOPIARA
PEREIRO
RIO GRANDE DO NORTE
IGUATU
VÁRZEA ALEGRE
LAVRAS DA MANGABEIRA
PARAÍBA
CAMPOS SALES
CARIRIAÇU
JUAZEIRO DO NORTE
MAURITI
BREJO SANTO
PERNAMBUCO

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

N
W E
S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)*
- EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.1.6 .

Potencial Eólico Anual
a 100 m de altura
ANNUAL WIND RESOURCE AT 100 m HEIGHT

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower), com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, interpolado para 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulações de camada -limite atmosférica no *software WindMap*.

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER), WITH HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, INTERPOLATED TO 200 m X 200 m USING WIND MEASUREMENTS AND ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS WITH WINDMAP SOFTWARE.

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

MAPA/MAP 6.1.7 .

Potencial Eólico Sazonal
a 120 m de altura

SEASONAL WIND RESOURCE AT 120 m HEIGHT

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM
COREAÚ
MERUOCA
SOBRAL
ITAPIPOCA
SÃO GONÇALO DO AMARANTE
ITAPAJÉ
FORTALEZA
TIANGUÁ
PENTECOSTE
PIAUÍ
CASCAVEL
PACAJUS
OCEANO ATLÂNTICO
IPU
BATURITÉ
CANINDÉ
HIDROLÂNDIA
OCARA
ARACATI
RUSSAS
QUIXADÁ
CRATEÚS
JAGUARIBE
TAUÁ
ACOPIARA
PEREIRO
RIO GRANDE DO NORTE
IGUATU
VÁRZEA ALEGRE
LAVRAS DA MANGABEIRA
PARAÍBA
CARIRIAÇU
CAMPOS SALES
JUAZEIRO DO NORTE
MAURITI
BREJO SANTO
PERNAMBUCO

41°W 40°W 39°W 38°W
3°S 4°S 5°S 6°S 7°S

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

SE operação (TS/DT)*
*Operating SS (TS/DT)**
SE planejada (TS)*
*Planned SS (TS)**
EOL operação (isolada/grupo)*
Operating WPP (single/cluster)
EOL planejadas (grupo)*
*Planned WPP (cluster)**
UFV operação (isolada/grupo)*
*Operating PVP (single/cluster)**
UFV planejada (grupo)*
*Planned PVP (cluster)**
UTE operação (isolada/grupo)*
*Operating THP (single/cluster)**
CGH operação*
*Operating HYP**
Área de PI ou TI*
*IL or FP area**
Rio, corpo d'água
River, water body
Divisa estadual
State boundary
Porto
Port
Aeroporto, campo de pouso
Airport, airfield
Estrada pavimentada
Paved road
Estrada não pavimentada
Unpaved road
Ferrovia
Railroad
Sede municipal
Municipality
Linha de transmissão/distribuição:
Transmission/distribution line:
500 kV
69 kV
230 kV
Linha em operação
Operating lines
Linha planejada
Planned lines

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.1.8 .

Potencial Eólico Anual
a 120 m de altura
ANNUAL WIND RESOURCE AT 120 m HEIGHT

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower), com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, interpolado para 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulações de camada -limite atmosférica no *software WindMap*.

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER), WITH HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, INTERPOLATED TO 200 m X 200 m USING WIND MEASUREMENTS AND ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS WITH WINDMAP SOFTWARE.

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]
3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11].

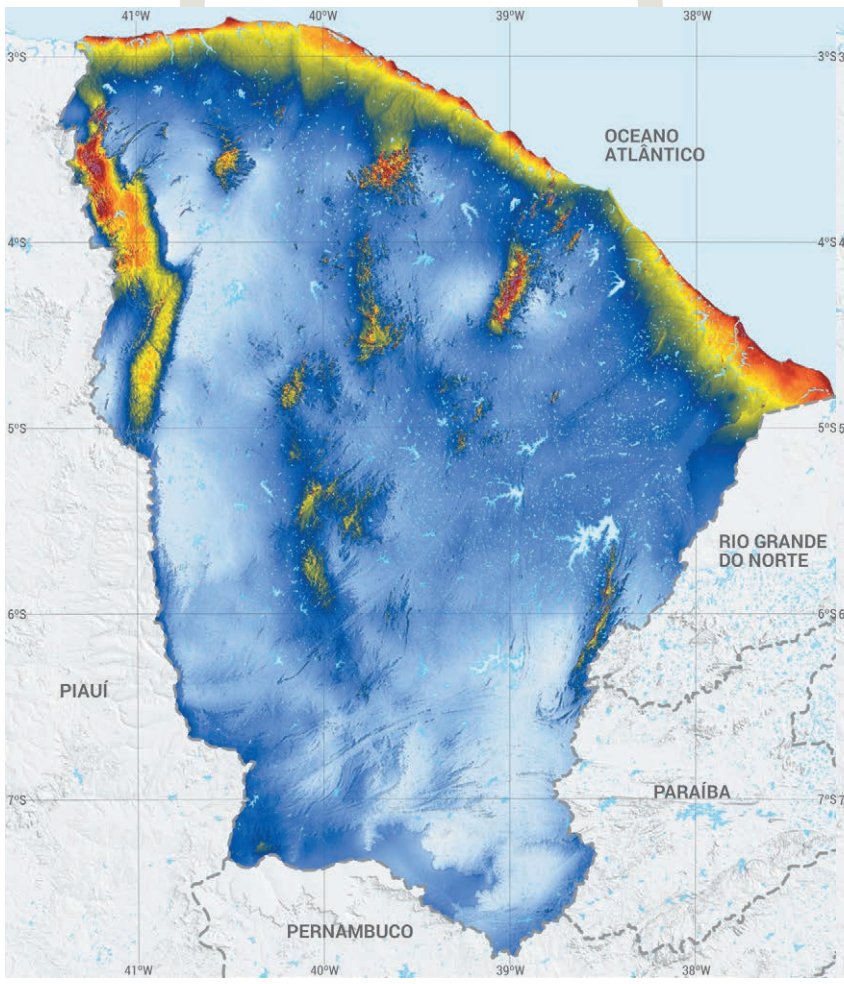
CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

Potencial Eólico Mensal
a 120 m de altura

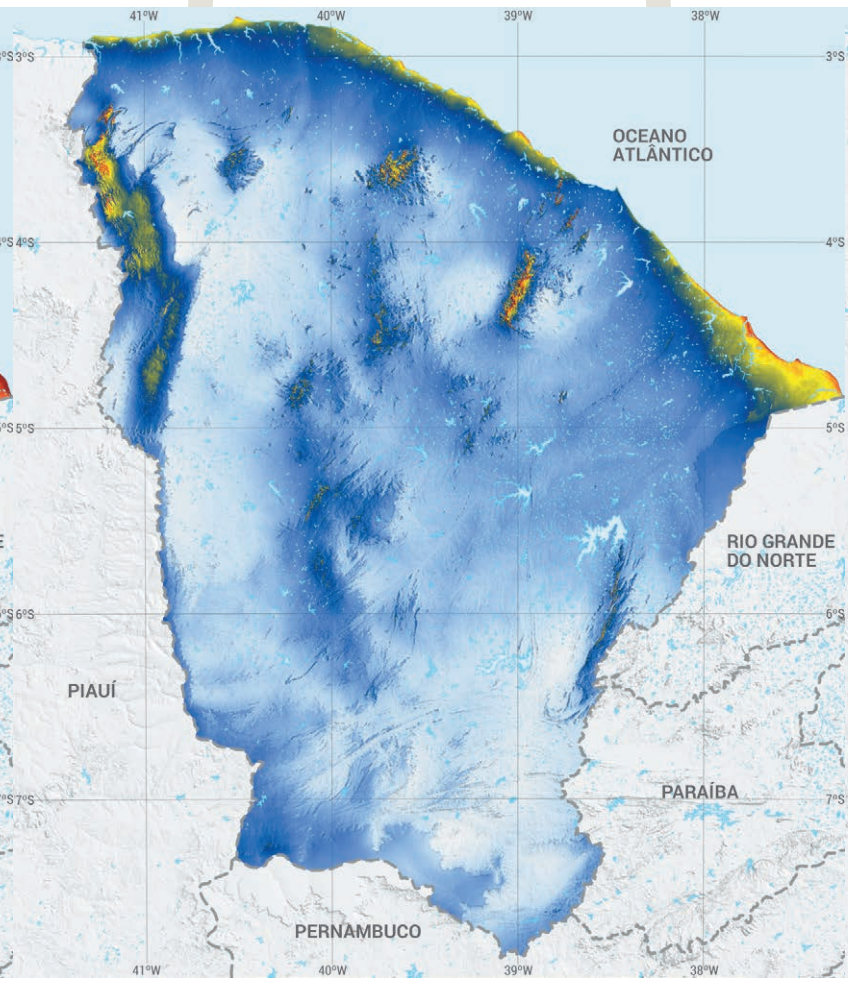
MONTHLY WIND RESOURCE AT 120 m HEIGHT

MAPA/MAP 6.1.9 .

JANUARY
JANEIRO



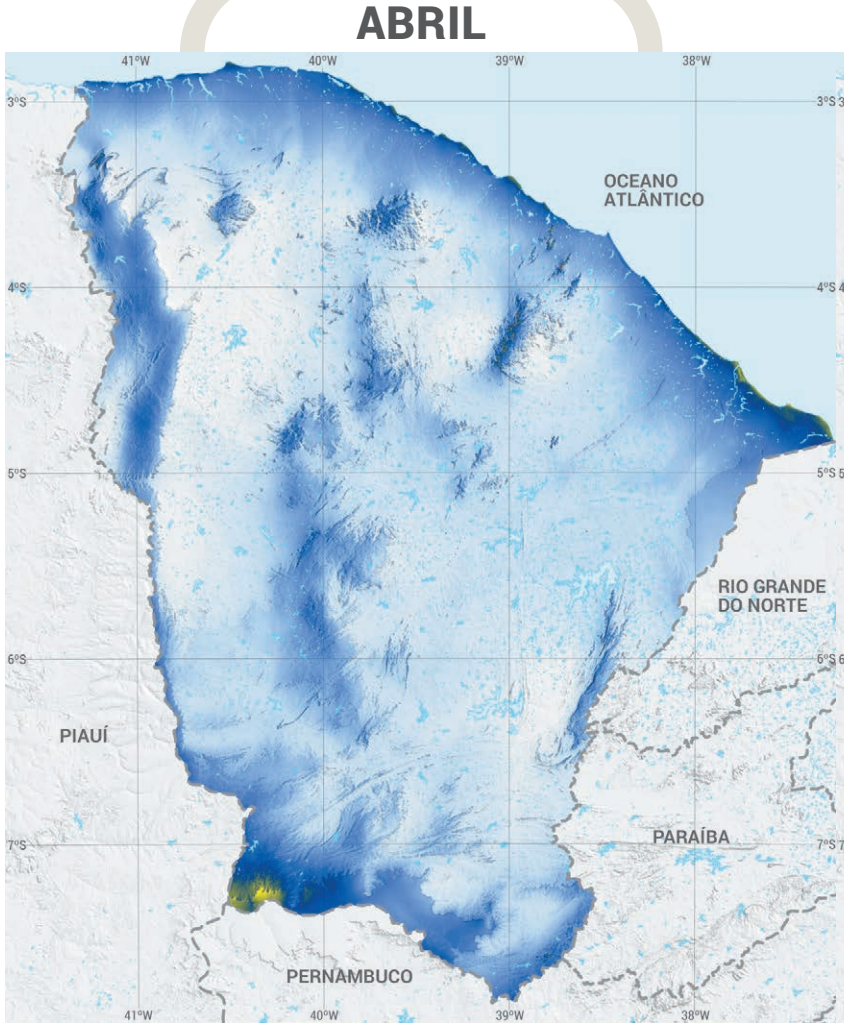
FEBRUARY
FEVEREIRO



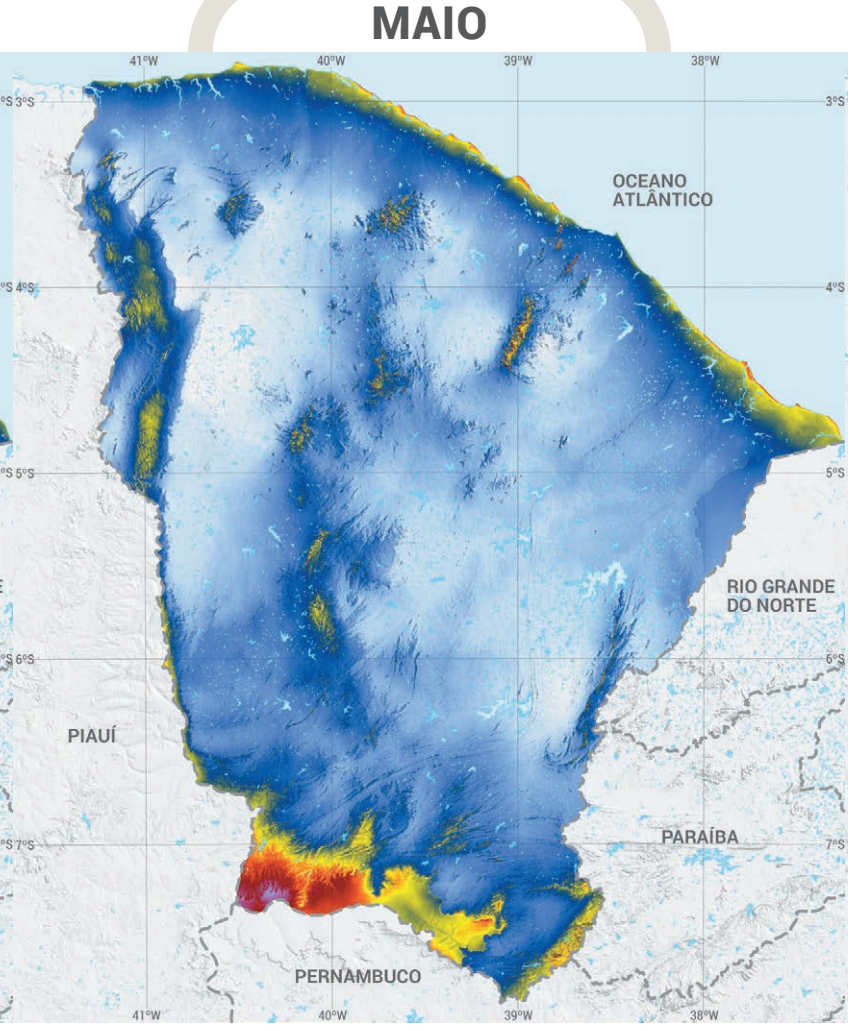
MARCH
MARÇO



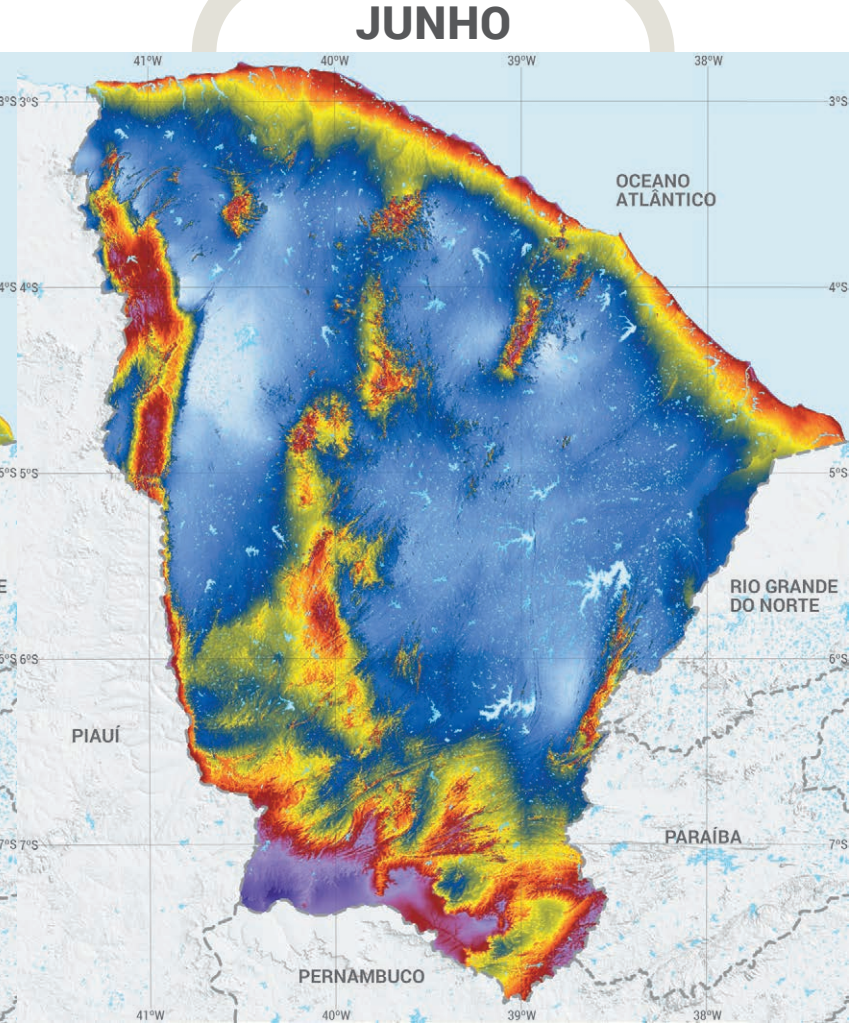
APRIL
ABRIL



MAY
MAIO



JUNE
JUNHO



6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

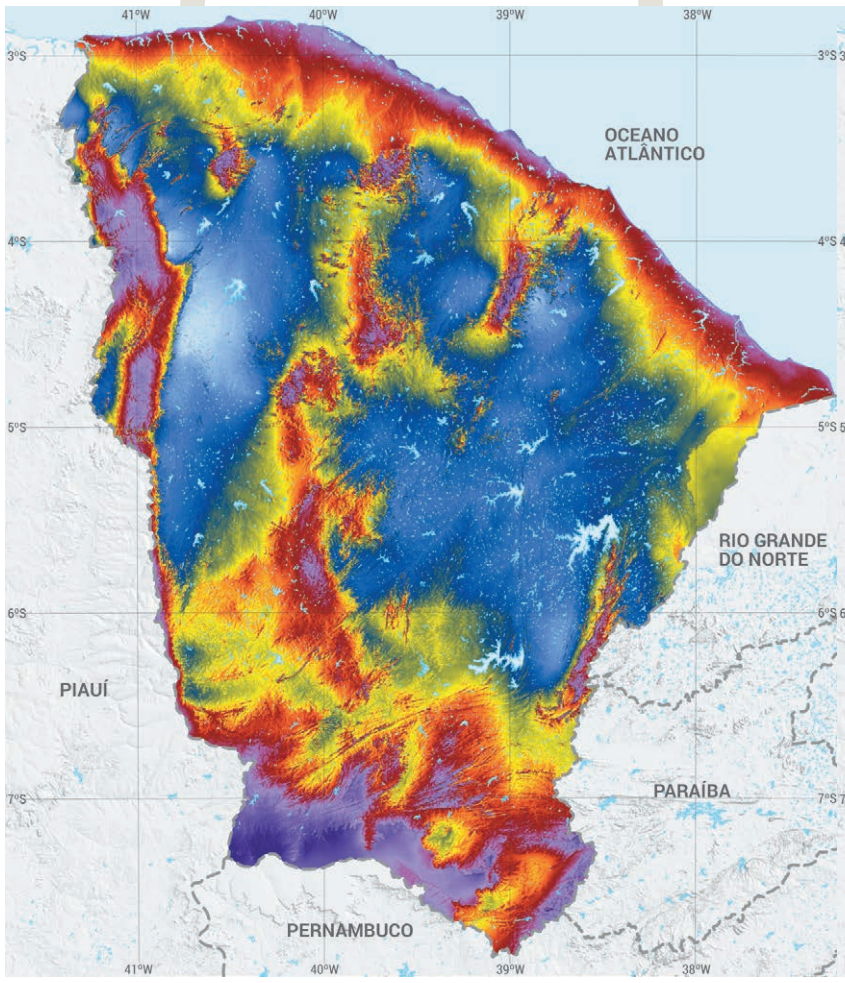
VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

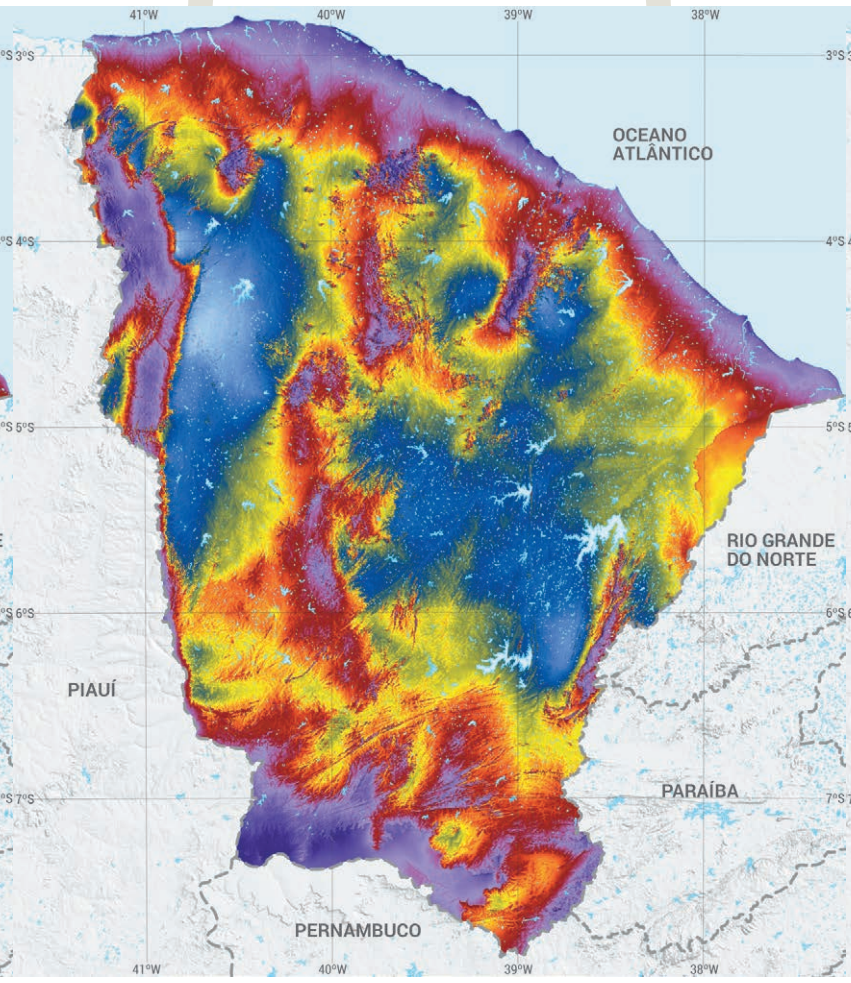
N
W E
S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 4 500 000
0 50 100 150 km

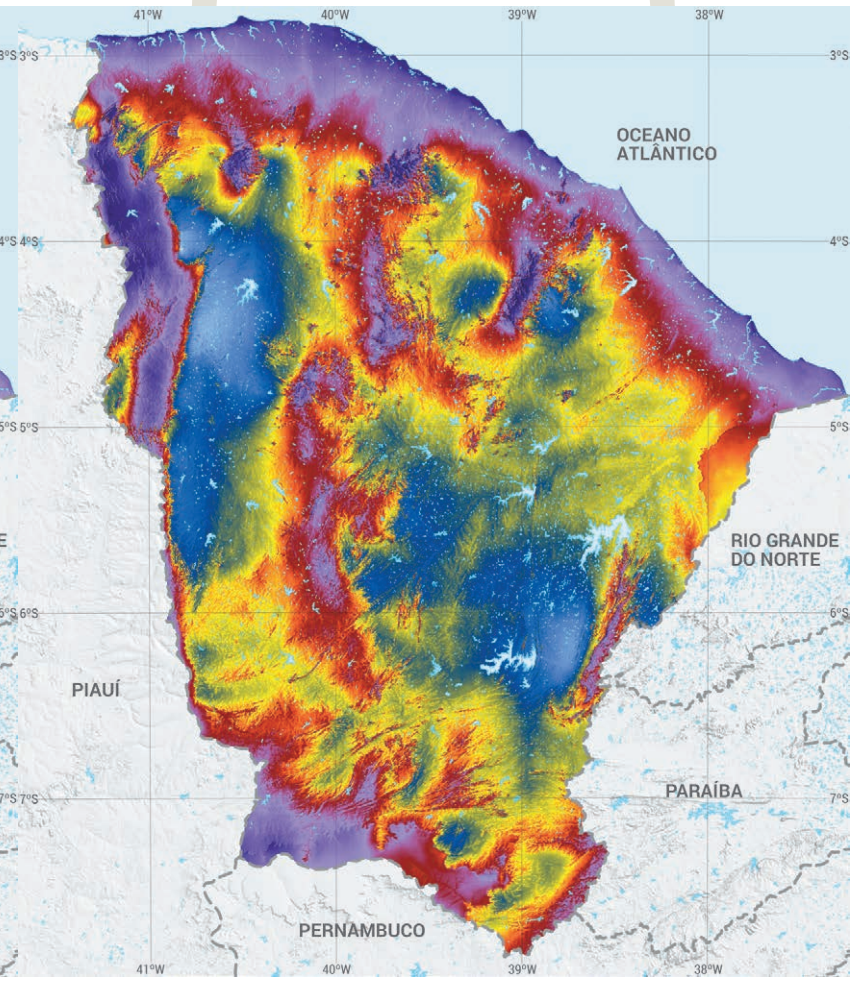
JULY
JULHO



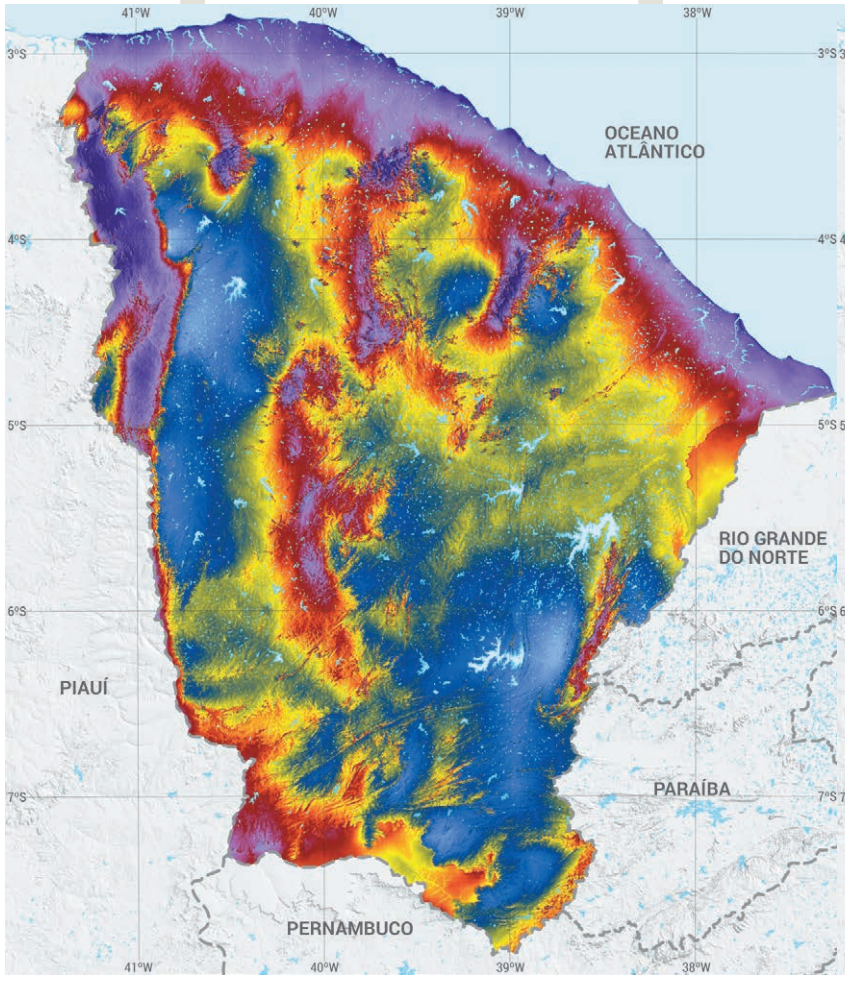
AUGUST
AGOSTO



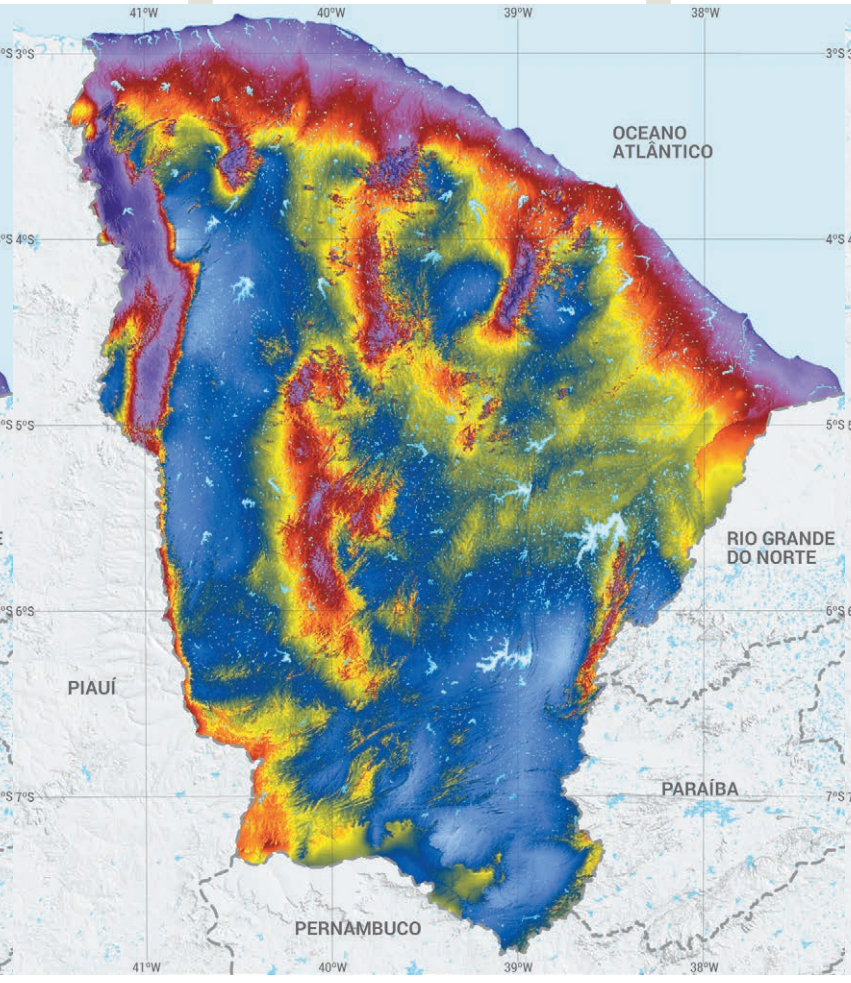
SEPTEMBER
SETEMBRO



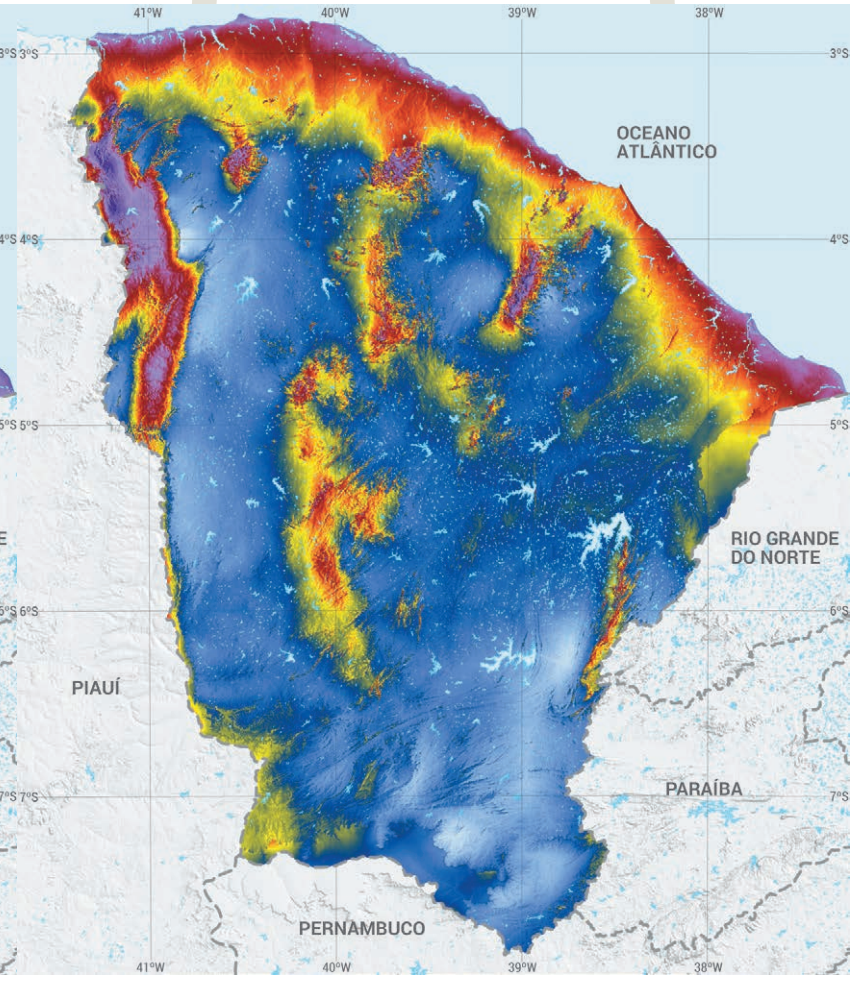
OCTOBER
OUTUBRO



NOVEMBER
NOVEMBRO



DECEMBER
DEZEMBRO



MAPA/MAP 6.1.10 .

Potencial Eólico Sazonal
a 150 m de altura

SEASONAL WIND RESOURCE AT 150 m HEIGHT

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM
COREAÚ
MERUOCA
SOBRAL
ITAPIPOCA
SÃO GONÇALO DO AMARANTE
ITAPAJÉ
FORTALEZA
TIANGUÁ
PENTECOSTE
PIAUÍ
CASCAVEL
PACAJUS
OCEANO ATLÂNTICO
IPU
BATURITÉ
CANINDÉ
HIDROLÂNDIA
OCARA
ARACATI
RUSSAS
QUIXADÁ
CRATEÚS
JAGUARIBE
TAUÁ
ACOPIARA
PEREIRO
RIO GRANDE DO NORTE
IGUATU
VÁRZEA ALEGRE
LAVRAS DA MANGABEIRA
PARAÍBA
CAMPOS SALES
CARIRIAÇU
JUAZEIRO DO NORTE
MAURITI
BREJO SANTO
PERNAMBUCO

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

N
W
E
S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- EOL operação (isolada/grupo)* [n] — *Operating WPP (single/cluster)*
- EOL planejadas (grupo)* [n] — *Planned WPP (cluster)**
- UFV operação (isolada/grupo)* [n] — *Operating PVP (single/cluster)**
- UFV planejada (grupo)* [n] — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.1.11

Potencial Eólico Anual
a 150 m de altura
ANNUAL WIND RESOURCE AT 150 m HEIGHT

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower), com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, interpolado para 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulações de camada -limite atmosférica no *software WindMap*.

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER), WITH HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, INTERPOLATED TO 200 m X 200 m USING WIND MEASUREMENTS AND ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS WITH WINDMAP SOFTWARE.

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

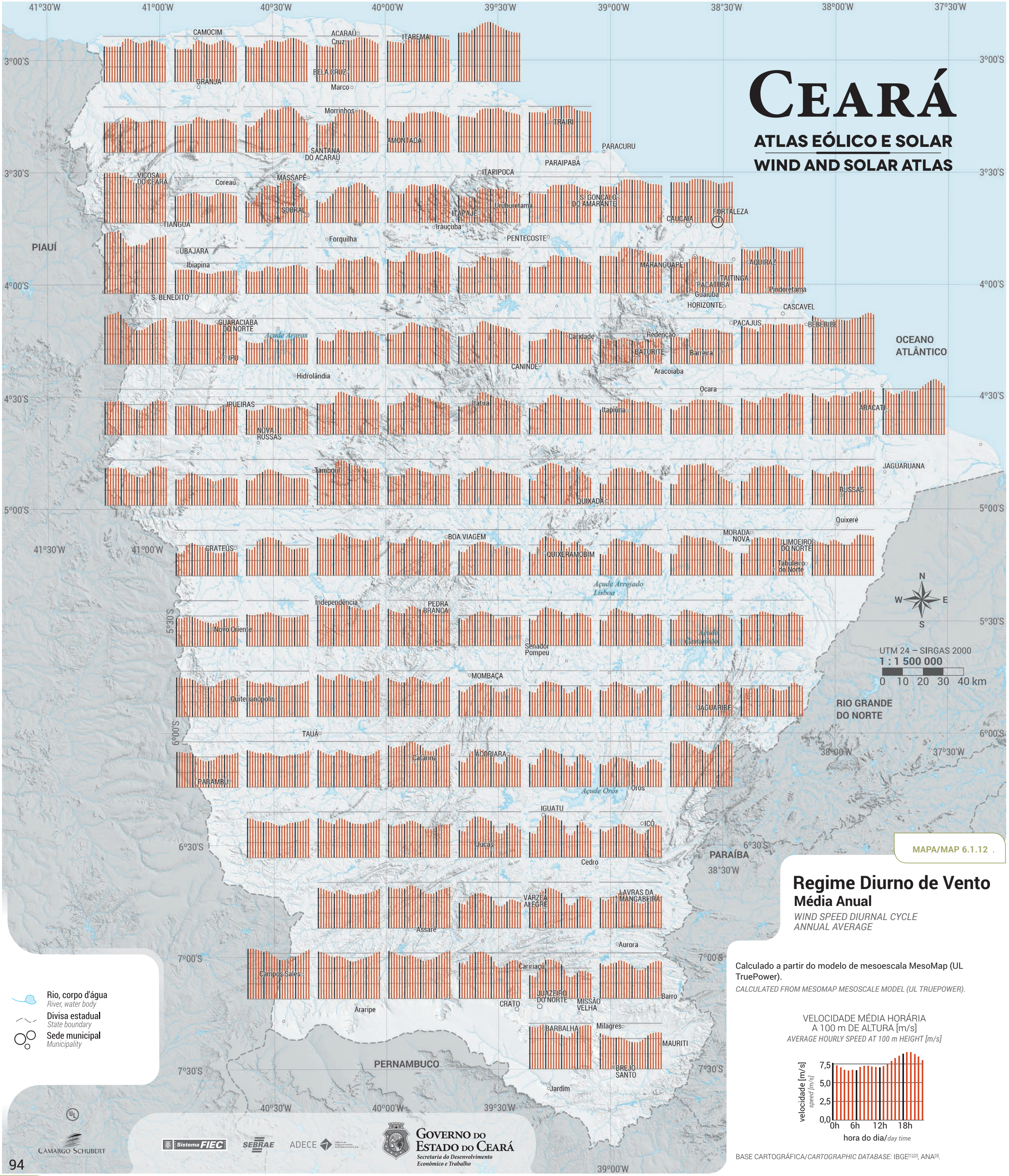
BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 6.1.12 .

Regime Diurno de Vento
Média Anual

WIND SPEED DIURNAL CYCLE
ANNUAL AVERAGE

Calculado a partir do modelo de mesoescala MesoMap (UL TruePower).

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER).

VELOCIDADE MÉDIA HORÁRIA
A 100 m DE ALTURA [m/s]
AVERAGE HOURLY SPEED AT 100 m HEIGHT [m/s]

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3].

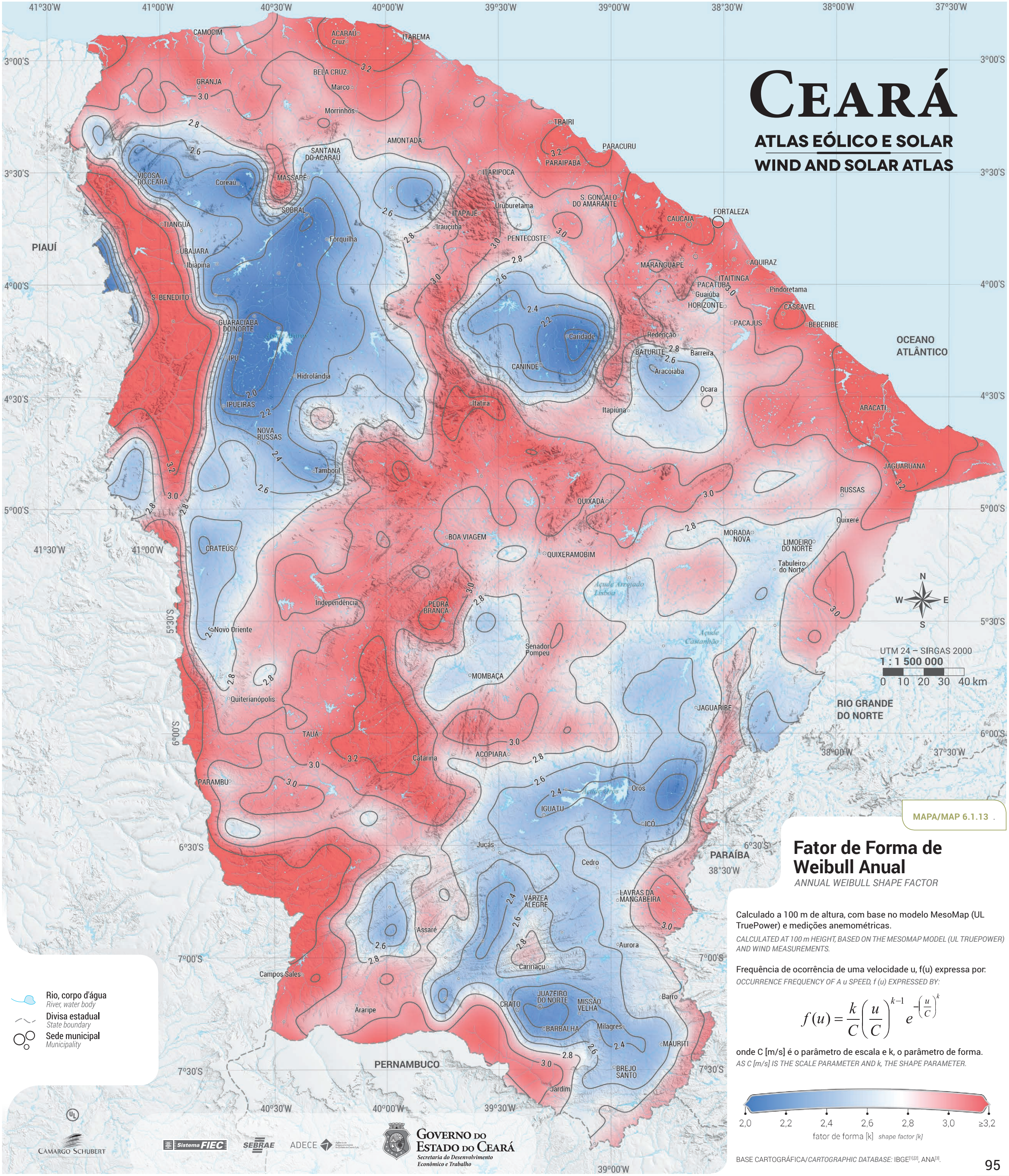
CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 6.1.13 .

Fator de Forma de Weibull Anual
ANNUAL WEIBULL SHAPE FACTOR

Calculado a 100 m de altura, com base no modelo MesoMap (UL TruePower) e medições anemométricas.

CALCULATED AT 100 m HEIGHT, BASED ON THE MESOMAP MODEL (UL TRUEPOWER) AND WIND MEASUREMENTS.

Frequência de ocorrência de uma velocidade u, f(u) expressa por:

OCCURRENCE FREQUENCY OF A u SPEED, f (u) EXPRESSED BY:

$$f(u) = \frac{k}{C}\left(\frac{u}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{C}\right)^{k}}$$

onde C [m/s] é o parâmetro de escala e k, o parâmetro de forma.

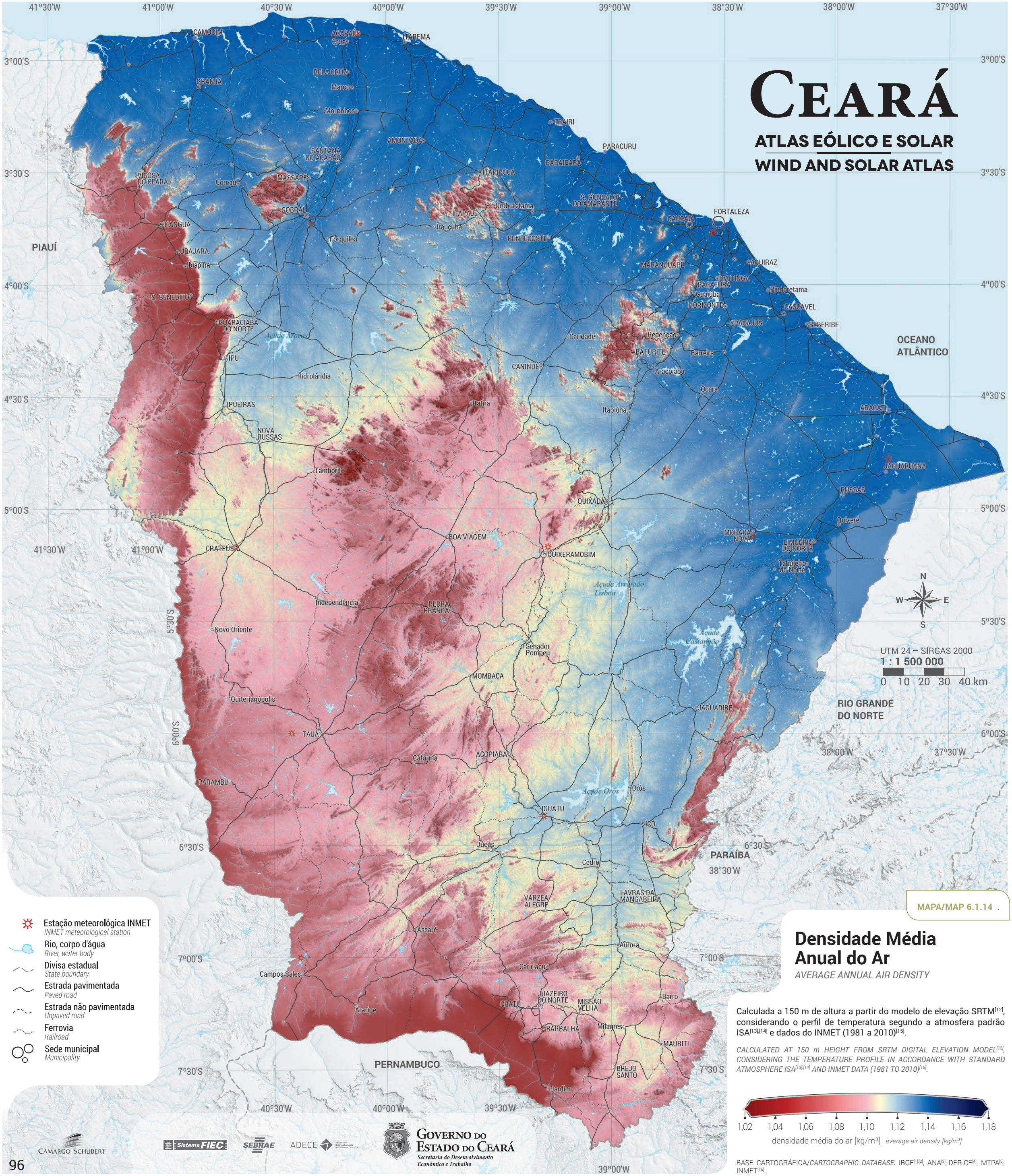
AS C [m/s] IS THE SCALE PARAMETER AND k, THE SHAPE PARAMETER.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS



Estação meteorológica INMET
INMET meteorological station

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP 6.1.14 .

Densidade Média Anual do Ar
AVERAGE ANNUAL AIR DENSITY

Calculada a 150 m de altura a partir do modelo de elevação SRTM[12], considerando o perfil de temperatura segundo a atmosfera padrão ISA[13],[14] e dados do INMET (1981 a 2010)[15].

CALCULATED AT 150 m HEIGHT FROM SRTM DIGITAL ELEVATION MODEL[12], CONSIDERING THE TEMPERATURE PROFILE IN ACCORDANCE WITH STANDARD ATMOSPHERE ISA[13],[14] AND INMET DATA (1981 TO 2010)[15].

1,02 1,04 1,06 1,08 1,10 1,12 1,14 1,16 1,18

densidade média do ar [kg/m³] *average air density [kg/m³]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], INMET[16].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

A

B

OCEANO ATLÂNTICO

CAMOCIM
ACARAÚ
Cruz
ITAREMA
BELA CRUZ
Marco
GRANJA
Morrinhos
SANTANA DO ACARAÚ
AMONTADA
TRAIRI
PARACURU
PARAIPABA
TAPIPOCA
S. GONÇALO DO AMARANTE
CAUCAIA
FORTALEZA
ANGUAPE
AQUIRAZ
PACATUBA
Guaiúba
ITAITINGA
Pindoretama
CASCAVEL
PACAJUS
BEBERIBE
ARACATI
JAGUARUANA
RUSSAS
Quixeré
MORADA NOVA
LIMOEIRO DO NORTE
Tabuleiro do Norte
p/ Mossoró
p/ Açu
p/ Parnaíba
RIO GRANDE DO NORTE

41°00'W 40°30'W 40°00'W 39°30'W 39°00'W 38°30'W 38°00'W 37°30'W
2°00'S 2°30'S 3°00'S 3°30'S 4°00'S 4°30'S 5°00'S

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
  - Linha em operação — *Operating lines*
  - Linha planejada — *Planned lines*

- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Outras áreas com potenciais restrições construtivas (pesca, exploração de petróleo e cabos submarinos), desconsideradas para a integração do potencial — *Other areas with potential constructive constraints (fishing, oil exploration and submarine cables), disregarded for the resource integration*
- Limite mar territorial do CE — *Limits of territorial sea of CE*
- Afastamento 3 km da costa marinha — *3 km distance from sea shore*
- Curvas batimétricas — *bathymetric contours*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

MAPA/MAP 6.1.15 .

A Potencial Eólico Anual Sobre o Mar
a 100 m de altura

ANNUAL OFFSHORE WIND RESOURCE AT 100 m HEIGHT

MAPA/MAP 6.1.16 .

B Potencial Eólico Anual Sobre o Mar
a 150 m de altura

ANNUAL OFFSHORE WIND RESOURCE AT 150 m HEIGHT

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower), com resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, interpolado para 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulações de camada-limite atmosférica no *software WindMap*.

CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER), WITH HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, INTERPOLATED TO 200 m X 200 m USING WIND MEASUREMENTS AND ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS WITH WINDMAP SOFTWARE.

VELOCIDADE DO VENTO [m/s]
WIND SPEED [m/s]

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1][2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7][8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], DHN[17], ANP[18], SRTM30 PLUS[19].

UL
CAMARGO SCHUBERT

Sistema FIEC SEBRAE ADECE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

MAPA/MAP 6.2.1 .

Irradiação Global Horizontal Sazonal

SEASONAL GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM, COREAÚ, MERUOCA, ITAPIPOCA, SÃO GONÇALO DO AMARANTE, FORTALEZA, TIANGUÁ, SOBRAL, ITAPAJÉ, PENTECOSTE, PIAUÍ, CASCAVEL, PACAJUS, OCEANO ATLÂNTICO, IPU, HIDROLÂNDIA, CANINDÉ, BATURITÉ, OCARA, ARACATI, RUSSAS, QUIXADÁ, CRATEÚS, JAGUARIBE, TAUÁ, ACOPIARA, PEREIRO, RIO GRANDE DO NORTE, IGUATU, VÁRZEA ALEGRE, LAVRAS DA MANGABEIRA, PARAÍBA, CAMPOS SALES, CARIRIAÇU, JUAZEIRO DO NORTE, MAURITI, BREJO SANTO, PERNAMBUCO

41°W 40°W 39°W 38°W
3°S 4°S 5°S 6°S 7°S

IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2 3 4 5 6 7 8 9

183 274 365 457 548 639 731 822

soma do período ≅ 3 meses • [kWh/m²/período]
sum of the period ≅ 3 months • [kWh/m²/period]

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Estação meteorológica ou solar — *Meteorological or solar station*
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.2.2 .

Irradiação Global Horizontal Anual
ANNUAL GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF e resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado por medições meteorológicas.

CALCULATED USING WRF MESOSCALE MODEL AND FINAL HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, ADJUSTED BY METEOROLOGICAL MEASUREMENTS.

IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*								
2	3	4	5	6	7	8	9	
731	1 096	1 461	1 826	2 192	2 557	2 922	3 287	soma do ano • [kWh/m²/ano] *yearly sum • [kWh/m²/year]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INMET[16], FUNCEME[20].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ — Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

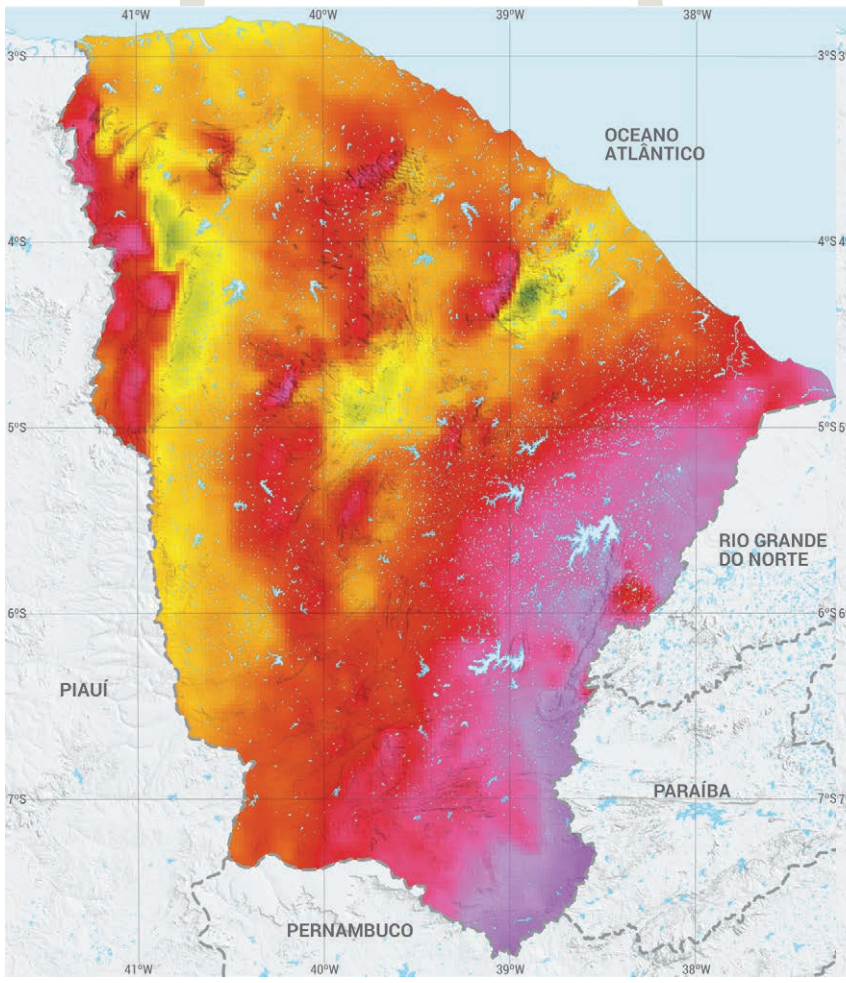
Irradiação Global Horizontal Mensal

MAPA/MAP 6.2.3 .

MONTHLY GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

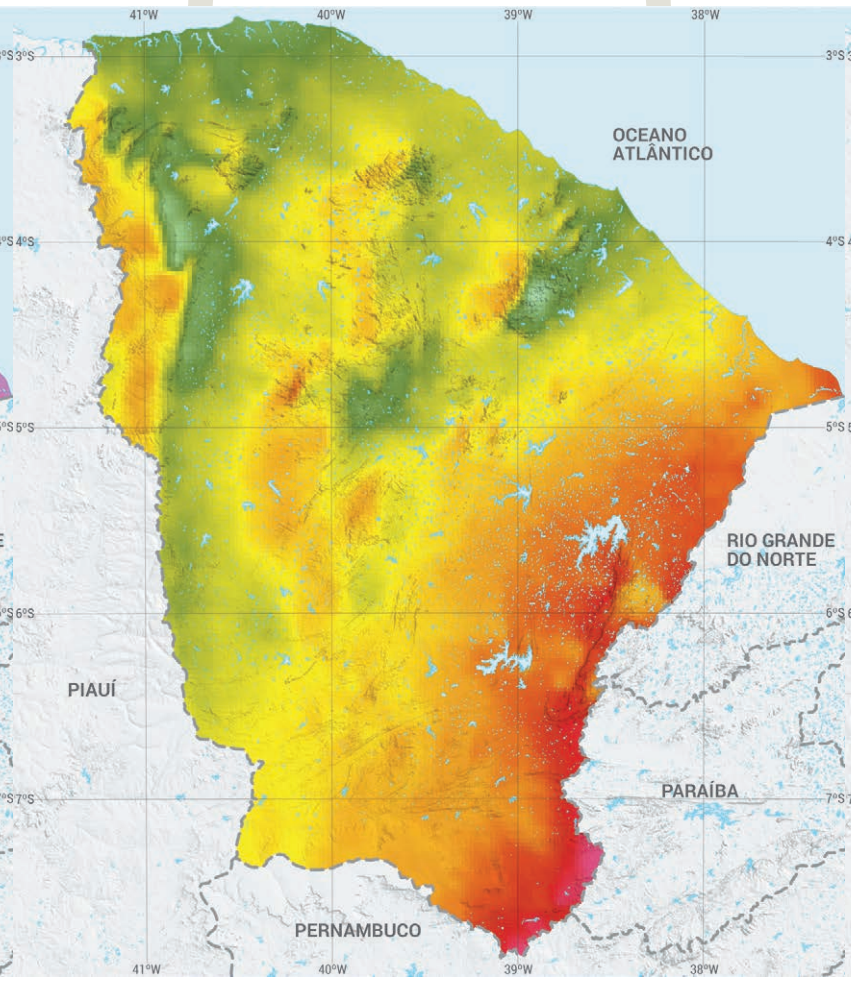
JANUARY

JANEIRO



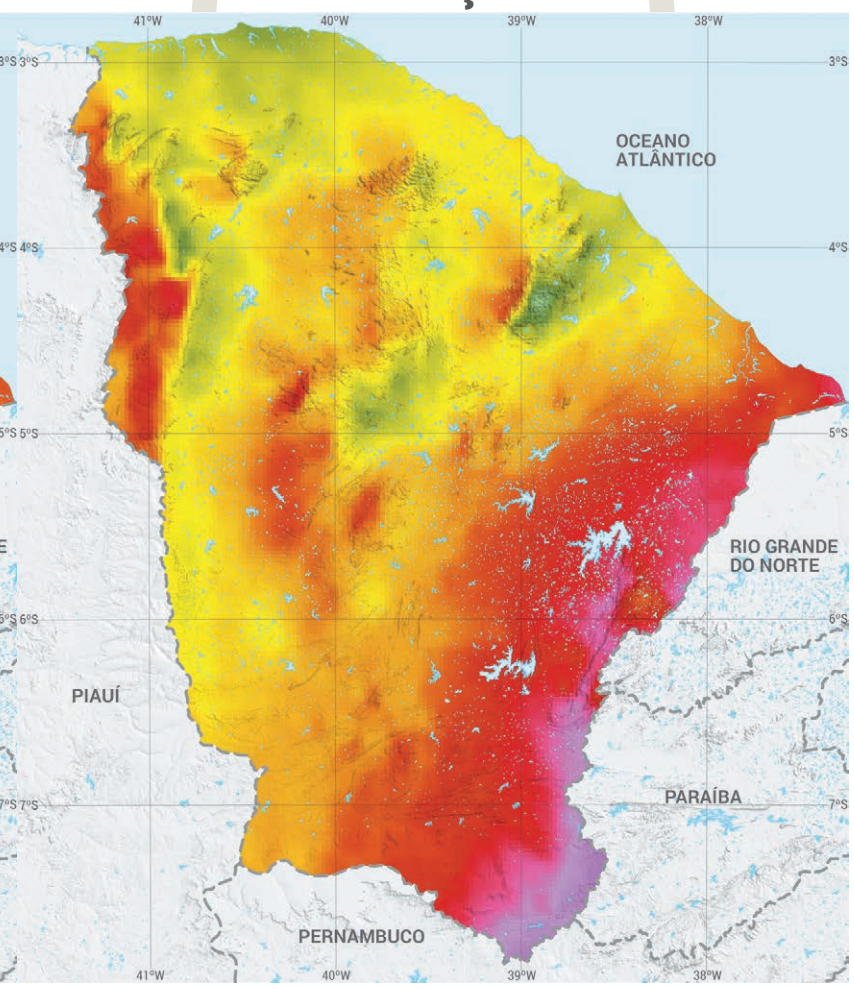
FEBRUARY

FEVEREIRO



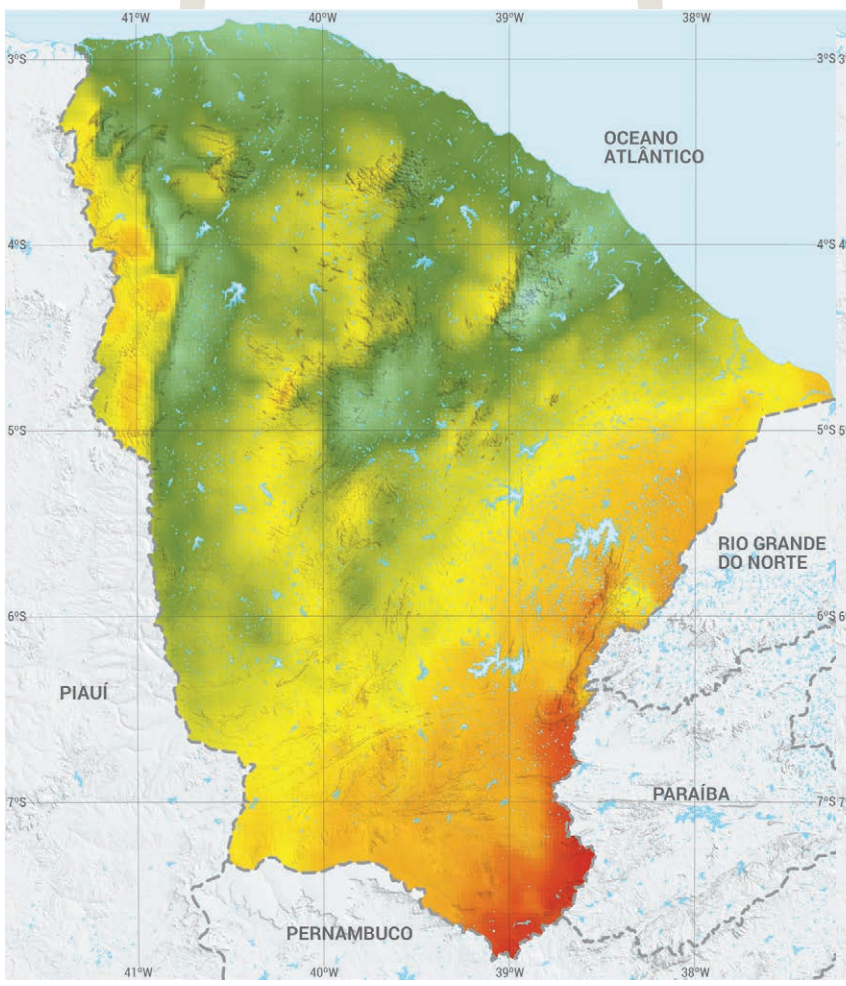
MARCH

MARÇO



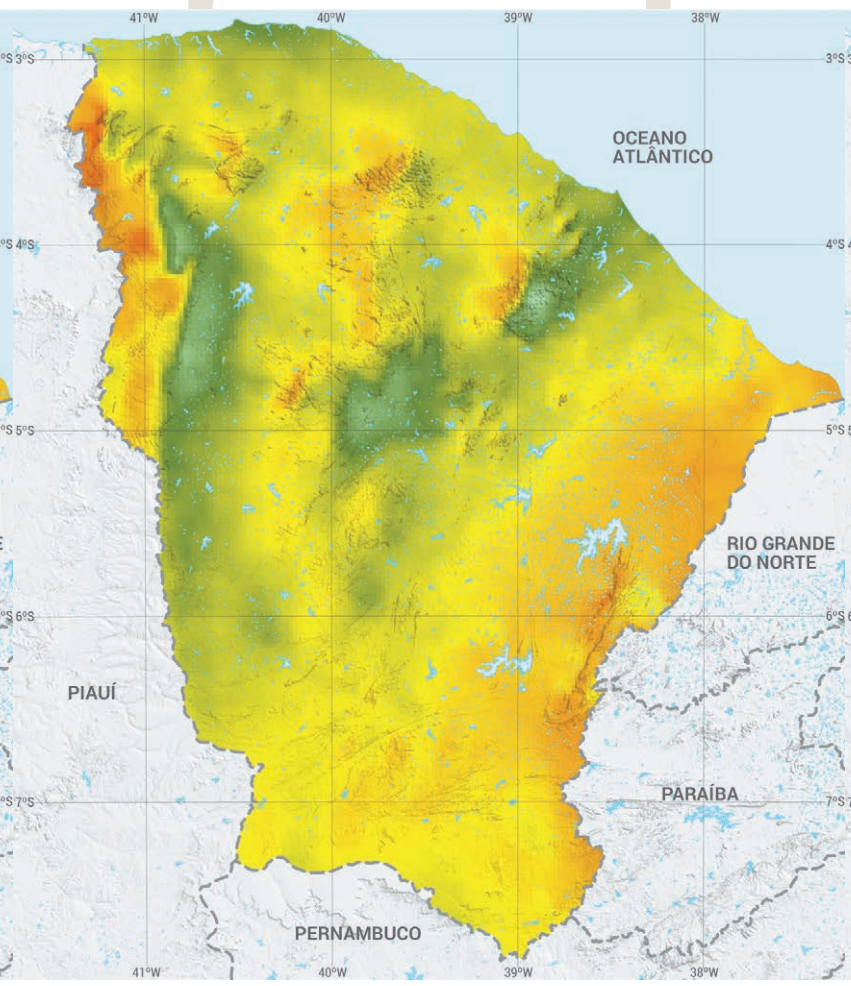
APRIL

ABRIL



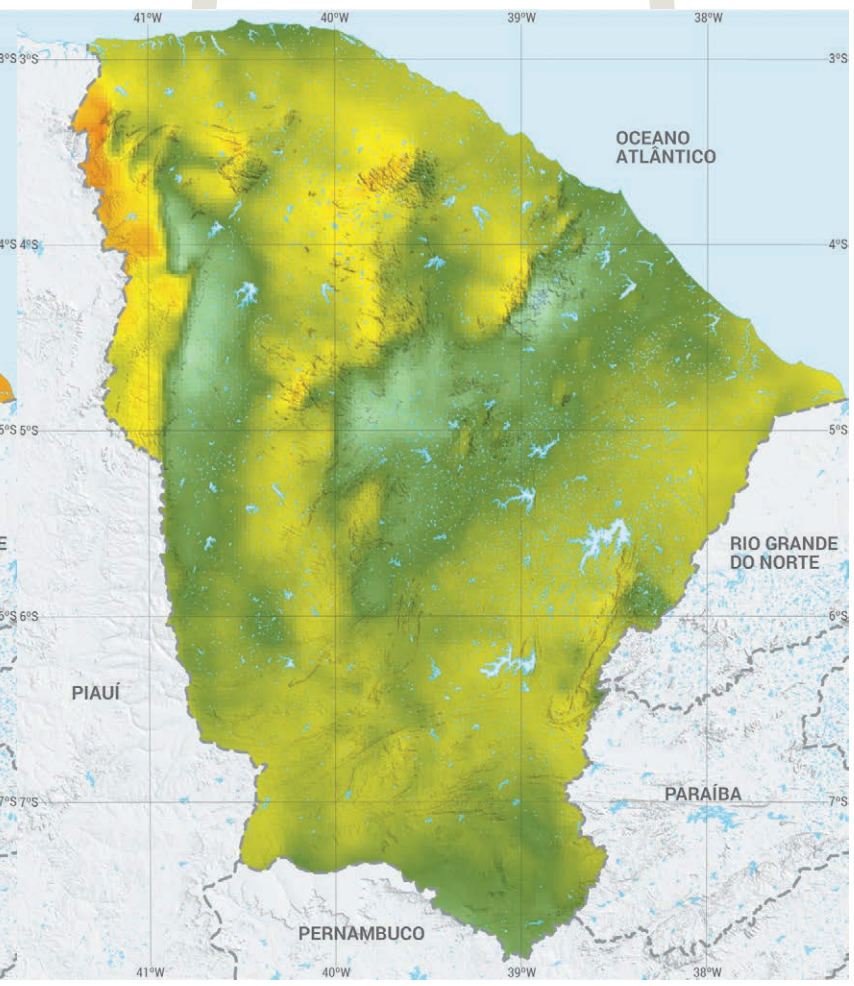
MAY

MAIO



JUNE

JUNHO



6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2 3 4 5 6 7 8 9

61 91 122 152 183 213 244 274

soma do mês ≅ 30 dias • [kWh/m²/mês]
monthly sum ≅ 30 days • [kWh/m²/month]

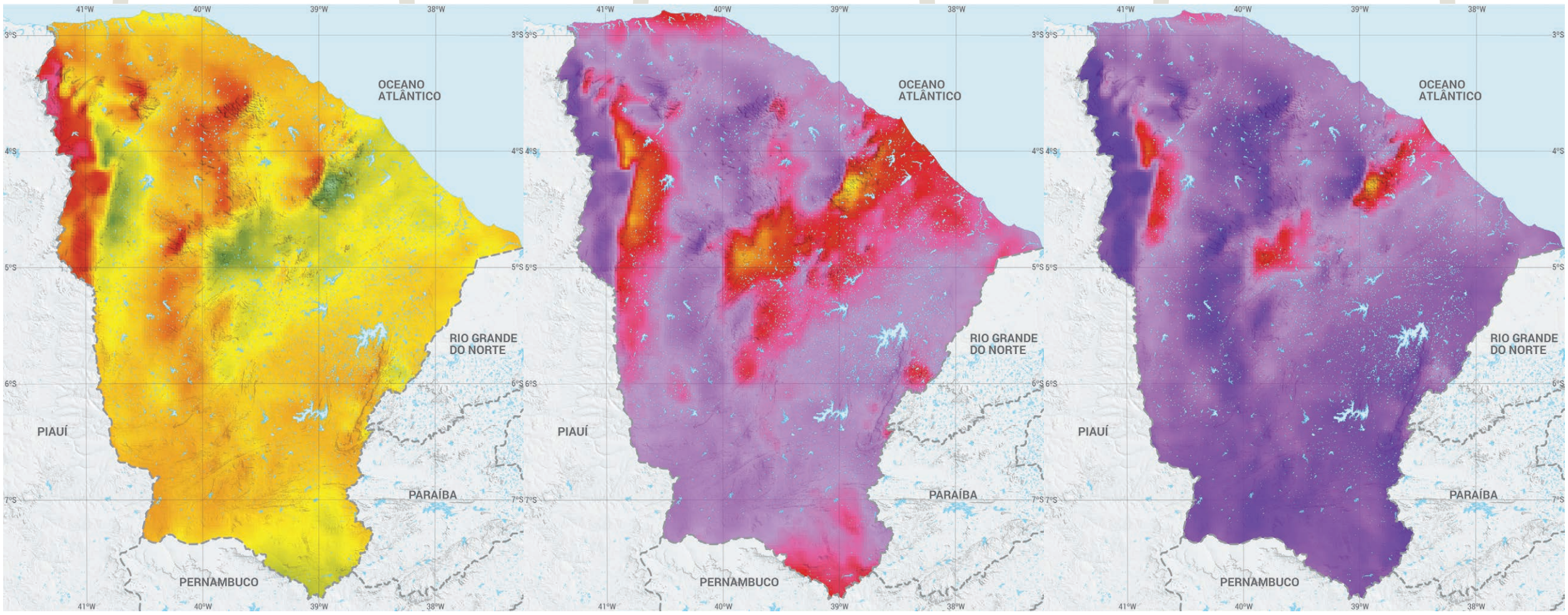
N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 4 500 000
0 50 100 150 km

JULY
JULHO

AUGUST
AGOSTO

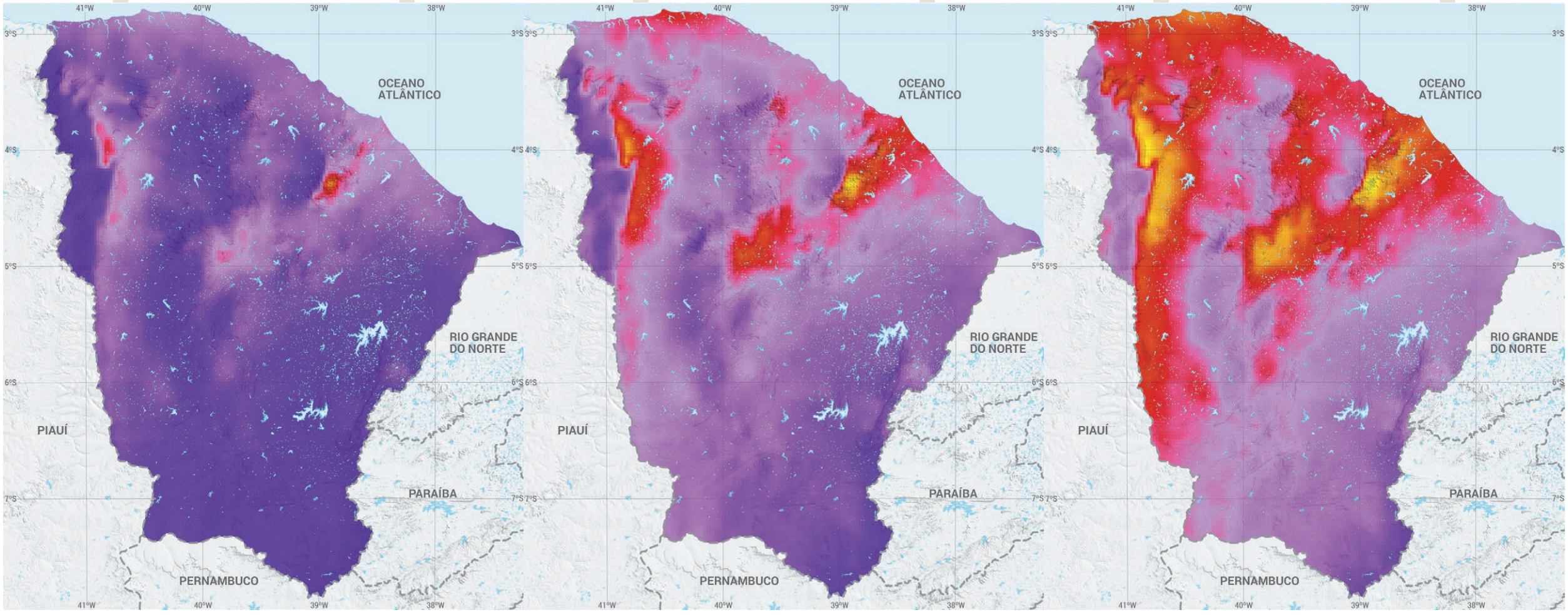
SEPTEMBER
SETEMBRO



OCTOBER
OUTUBRO

NOVEMBER
NOVEMBRO

DECEMBER
DEZEMBRO



MAPA/MAP 6.2.4 .

Irradiação Difusa Horizontal Sazonal

SEASONAL DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION
soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

1,1	1,5	1,9	2,3	2,7
100	137	173	210	247

soma do período ≅ 3 meses • [kWh/m²/período]
sum of the period ≅ 3 months • [kWh/m²/period]

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

SE operação (TS/DT)*
*Operating SS (TS/DT)**

SE planejada (TS)*
*Planned SS (TS)**

EOL operação (isolada/grupo)*
*Operating WPP (single/cluster)**

EOL planejadas (grupo)*
*Planned WPP (cluster)**

UFV operação (isolada/grupo)*
*Operating PVP (single/cluster)**

UFV planejada (grupo)*
*Planned PVP (cluster)**

UTE operação (isolada/grupo)*
*Operating THP (single/cluster)**

CGH operação*
*Operating HYP**

Área de PI ou TI*
*IL or FP area**

Estação meteorológica ou solar
Meteorological or solar station

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

Porto
Port

Aeroporto, campo de pouso
Airport, airfield

Estrada pavimentada
Paved road

Estrada não pavimentada
Unpaved road

Ferrovia
Railroad

Sede municipal
Municipality

Linha de transmissão/distribuição:
Transmission/distribution line:

500 kV · 69 kV
230 kV
Linha em operação
Operating lines
Linha planejada
Planned lines

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.2.5 .

Irradiação Difusa Horizontal Anual
ANNUAL DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF e resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado por medições meteorológicas.

CALCULATED USING WRF MESOSCALE MODEL AND FINAL HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, ADJUSTED BY METEOROLOGICAL MEASUREMENTS.

IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION
soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

1,1	1,5	1,9	2,3	2,7
402	548	694	840	986

soma do ano • [kWh/m²/ano] *yearly sum • [kWh/m²/year]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INMET[16], FUNCEME[20].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ – Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

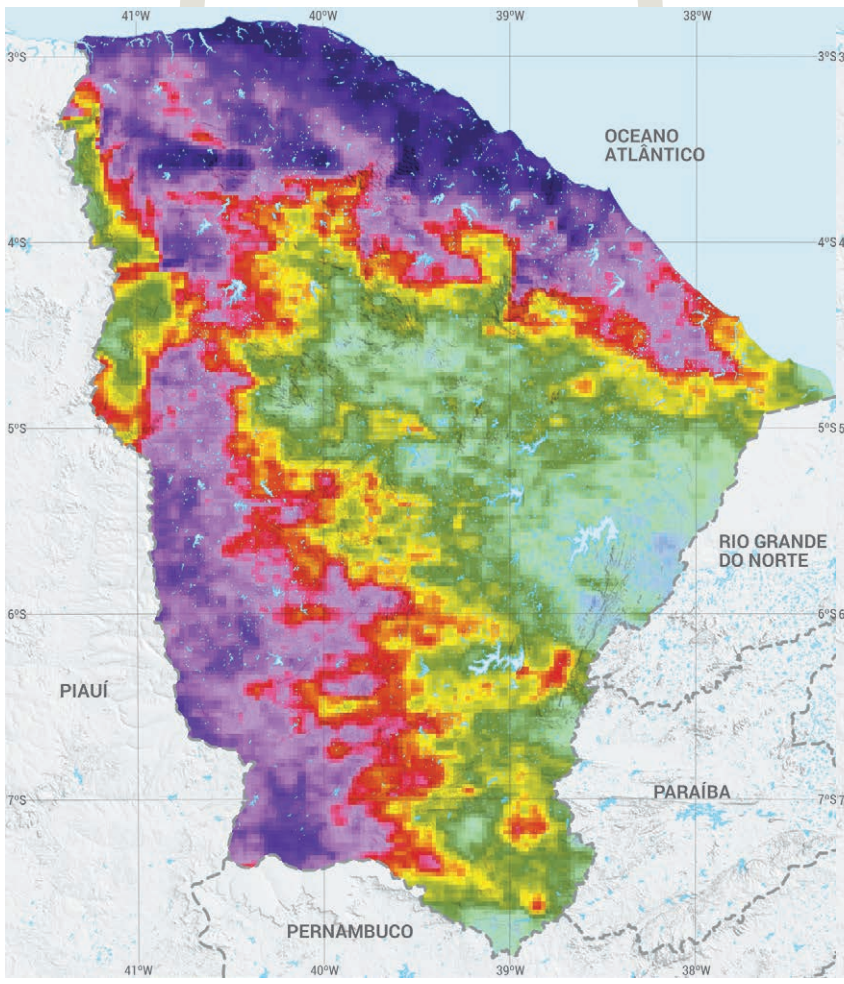
Irradiação Difusa Horizontal Mensal

MAPA/MAP 6.2.6 .

MONTHLY DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION

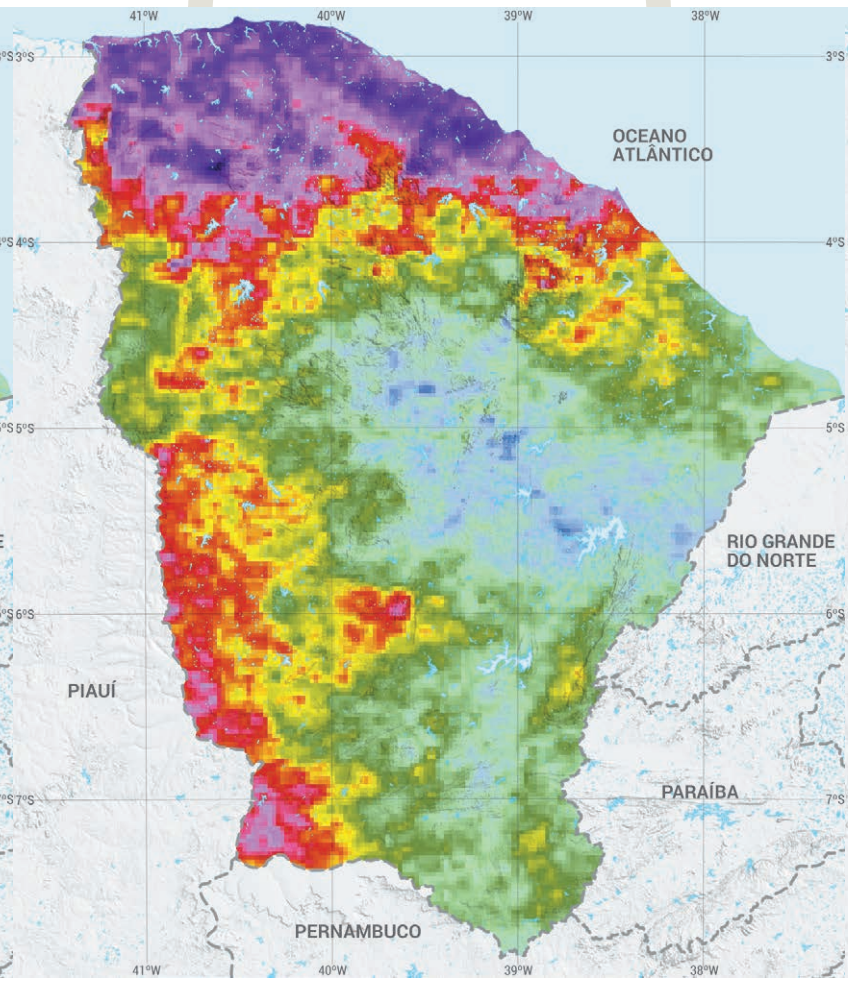
JANUARY

JANEIRO



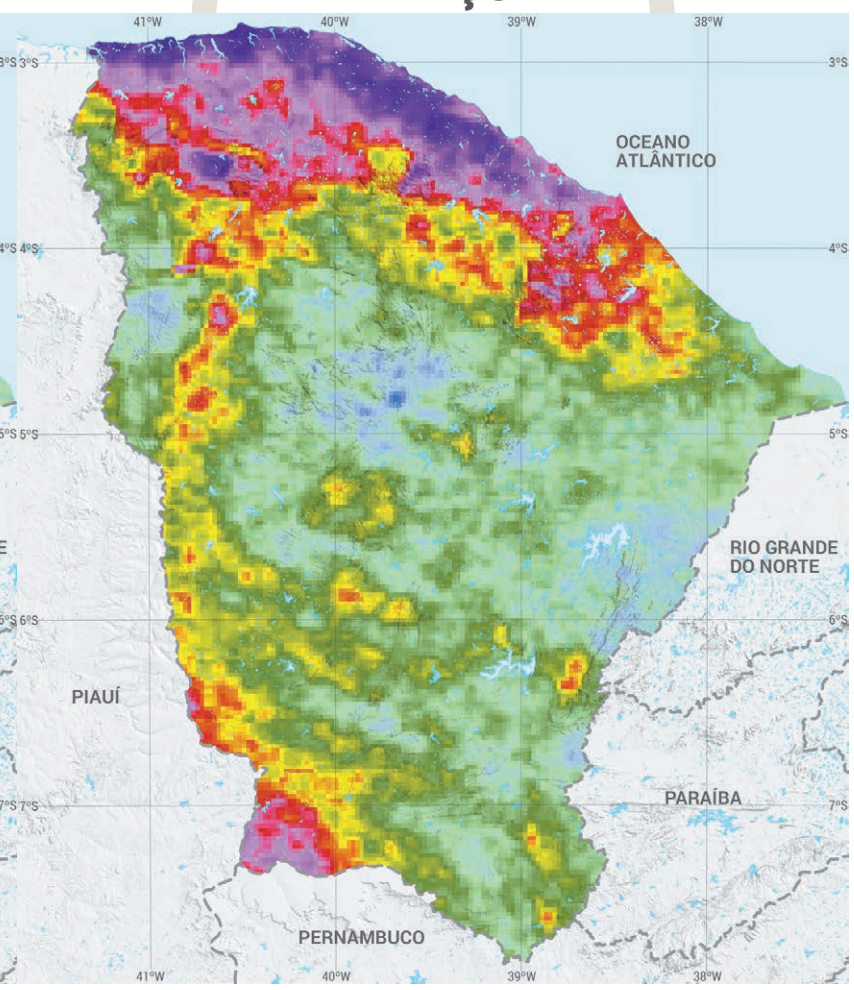
FEBRUARY

FEVEREIRO



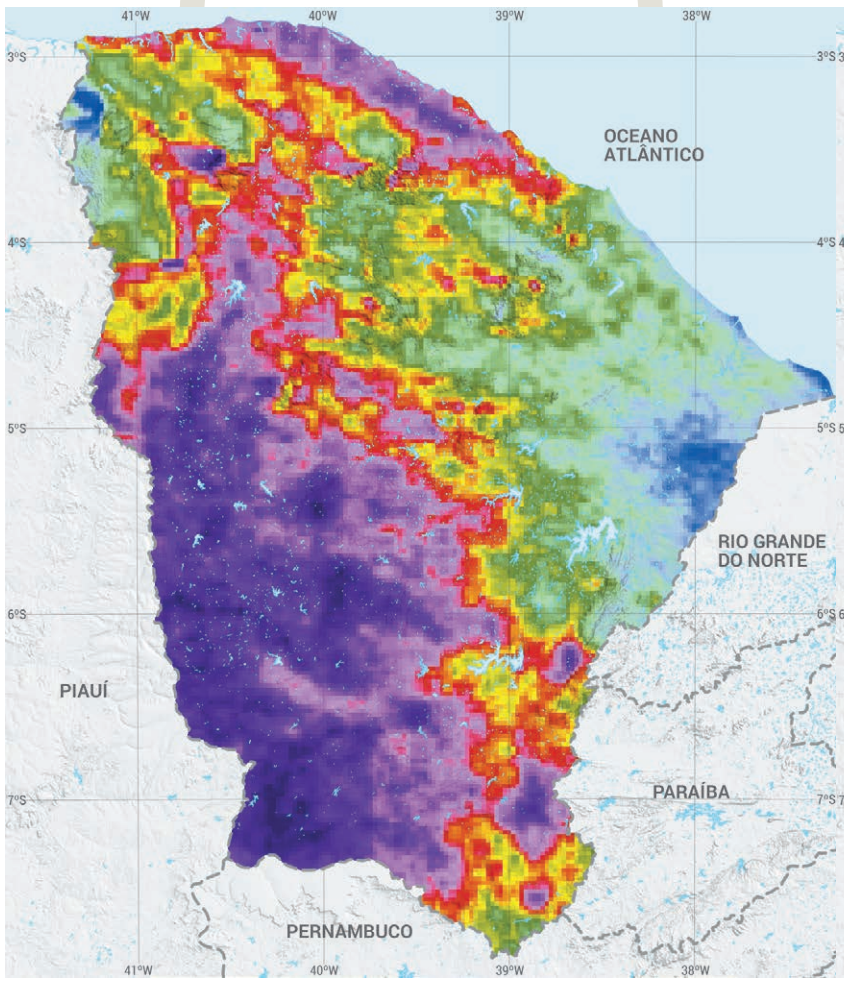
MARCH

MARÇO



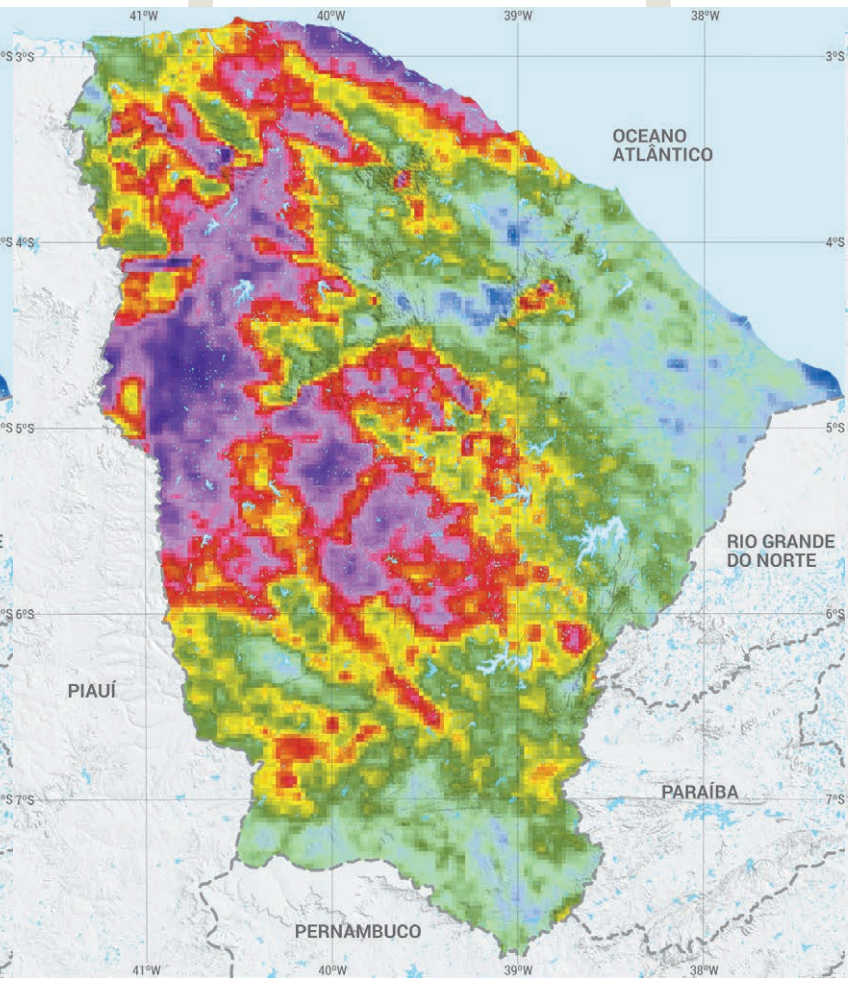
APRIL

ABRIL



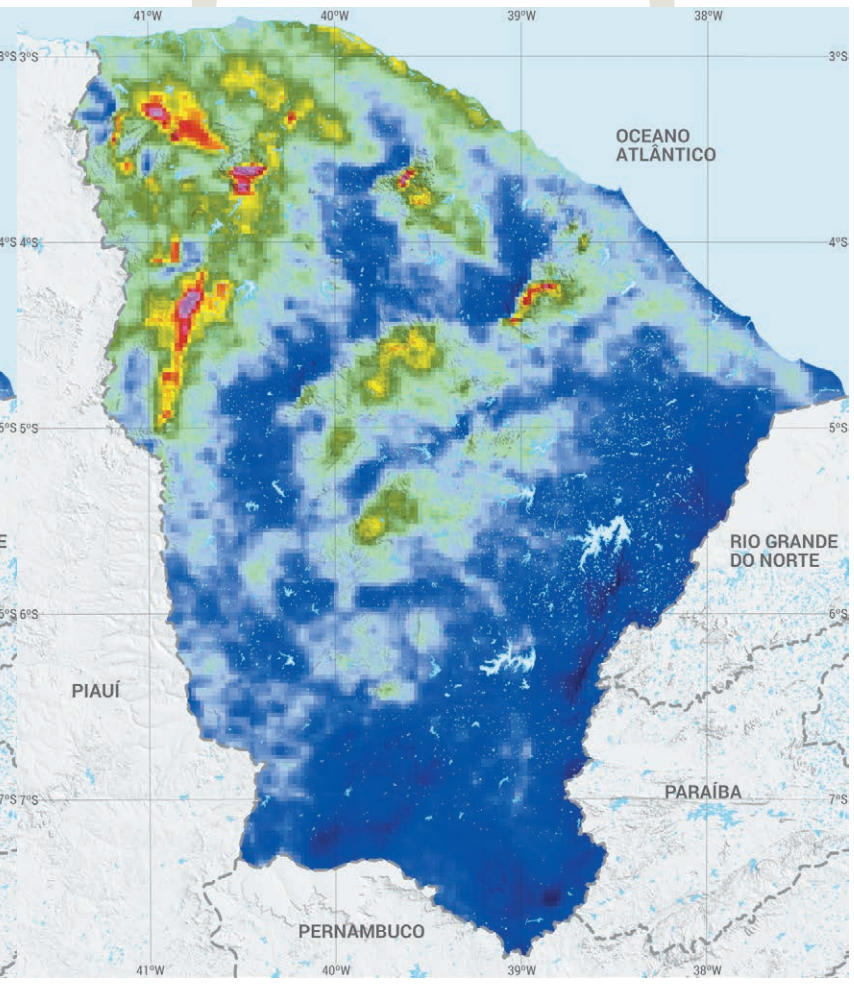
MAY

MAIO



JUNE

JUNHO



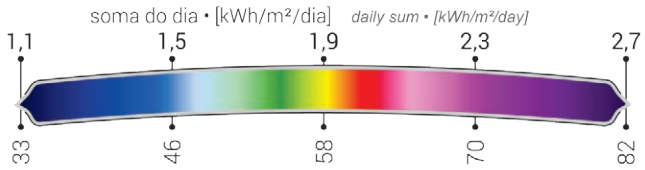
6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

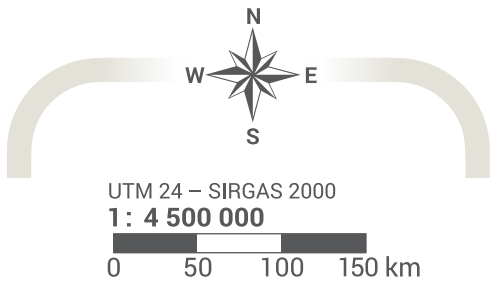
Divisa estadual
State boundary

IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL MÉDIA
AVERAGE DIFFUSE HORIZONTAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*



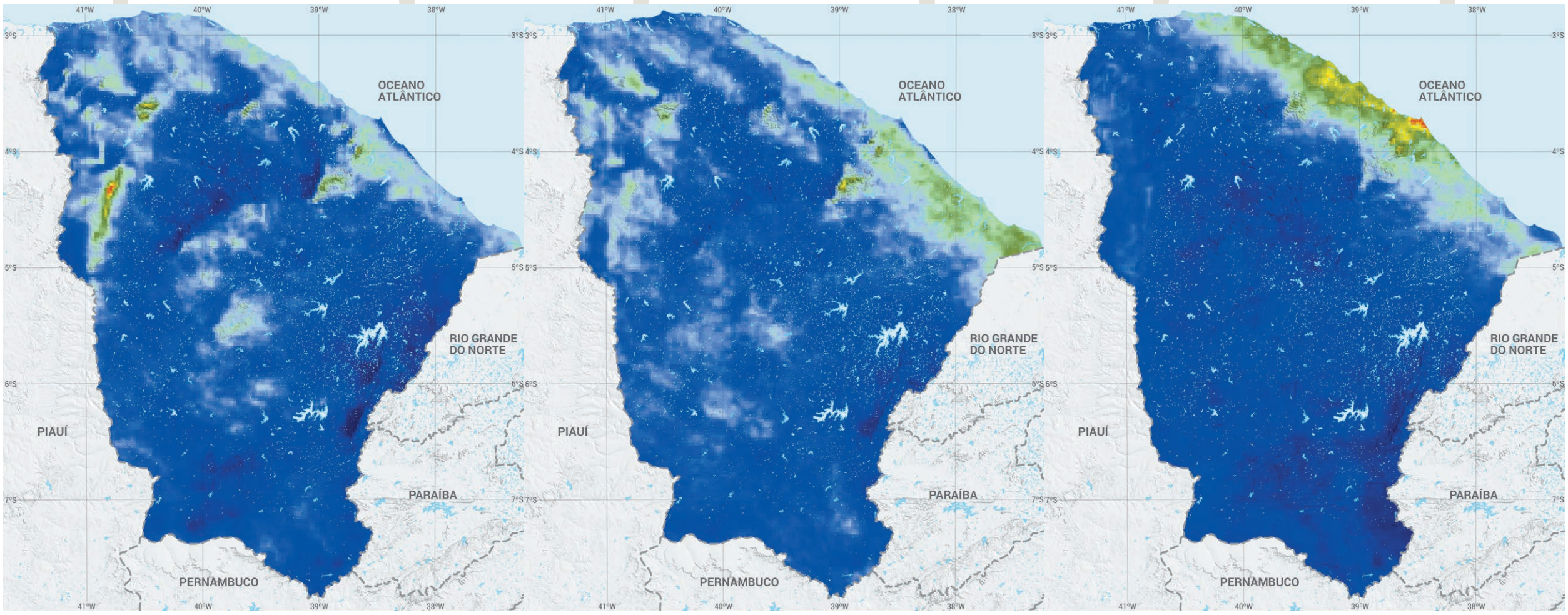
soma do mês ≅ 30 dias • [kWh/m²/mês]
monthly sum ≅ 30 days • [kWh/m²/month]



JULY
JULHO

AUGUST
AGOSTO

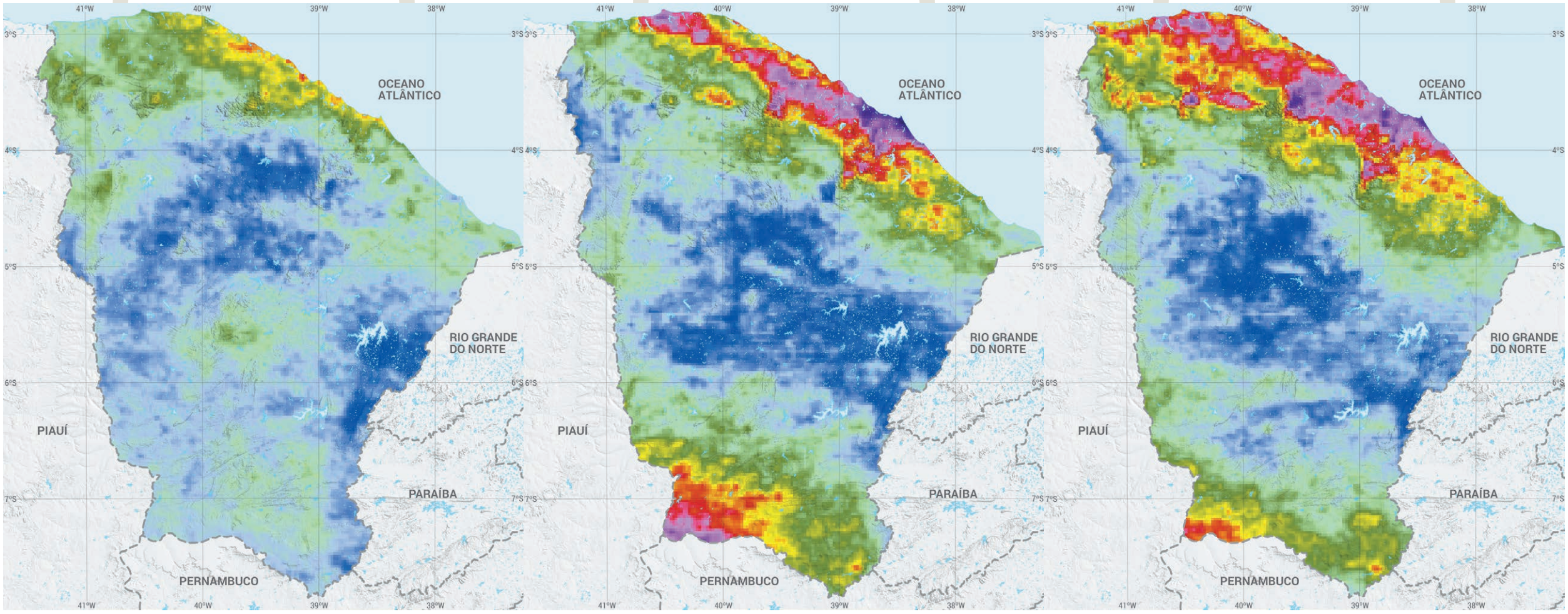
SEPTEMBER
SETEMBRO



OCTOBER
OUTUBRO

NOVEMBER
NOVEMBRO

DECEMBER
DEZEMBRO



MAPA/MAP 6.2.7 .

Irradiação Normal Direta Sazonal

SEASONAL DIRECT NORMAL IRRADIATION

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA MÉDIA
AVERAGE DIRECT NORMAL IRRADIATION
soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*
2 3 4 5 6 7 8 9
183 274 365 457 548 639 731 822
soma do período ≅ 3 meses • [kWh/m²/período]
sum of the period ≅ 3 months • [kWh/m²/period]

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Estação meteorológica ou solar — *Meteorological or solar station*
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.2.8 .

Irradiação Normal Direta Anual

ANNUAL DIRECT NORMAL IRRADIATION

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF e resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado por medições meteorológicas.

CALCULATED USING WRF MESOSCALE MODEL AND FINAL HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, ADJUSTED BY METEOROLOGICAL MEASUREMENTS.

IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA MÉDIA
AVERAGE DIRECT NORMAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2	3	4	5	6	7	8	9
731	1 096	1 461	1 826	2 192	2 557	2 922	3 287

soma do ano • [kWh/m²/ano] *yearly sum • [kWh/m²/year]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INMET[16], FUNCEME[20].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ — Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

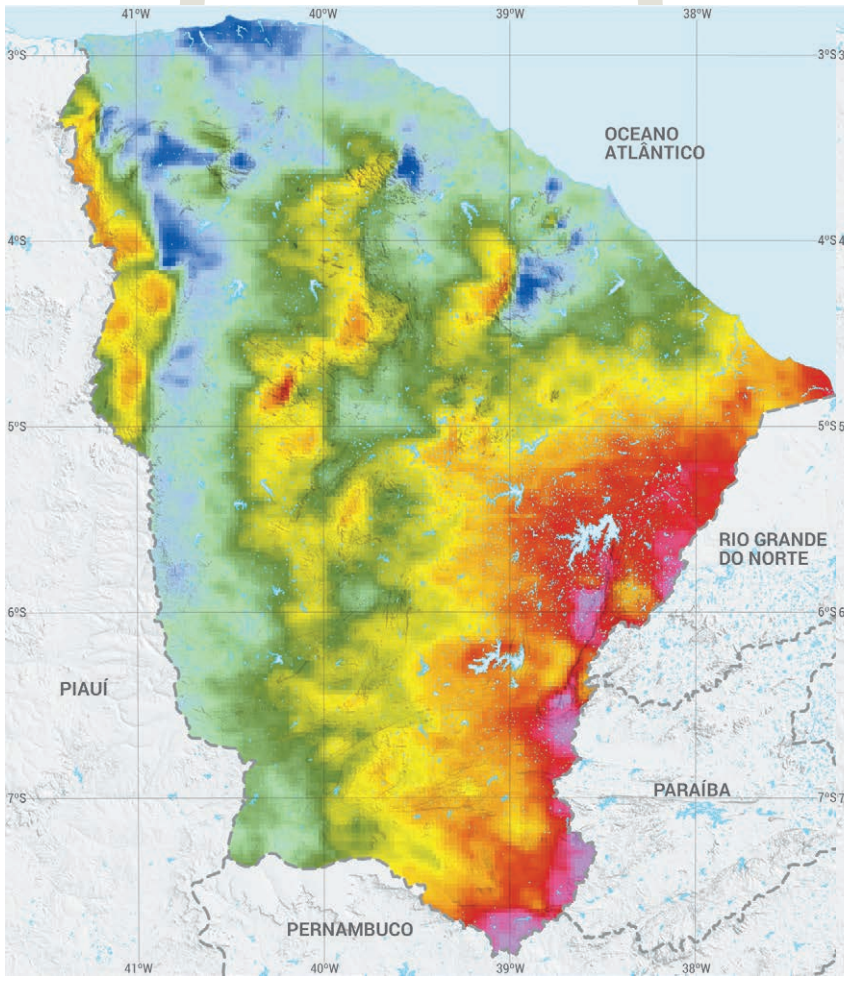
Irradiação Normal Direta Mensal

MONTHLY DIRECT NORMAL IRRADIATION

MAPA/MAP 6.2.9 .

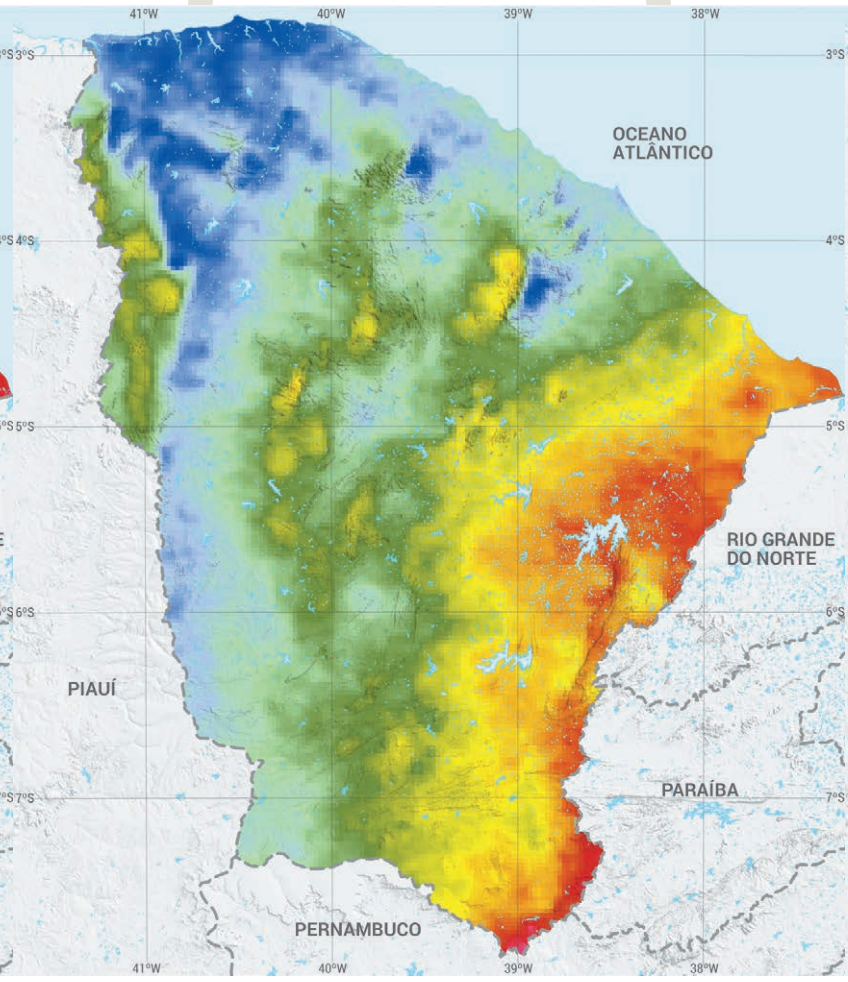
JANUARY

JANEIRO



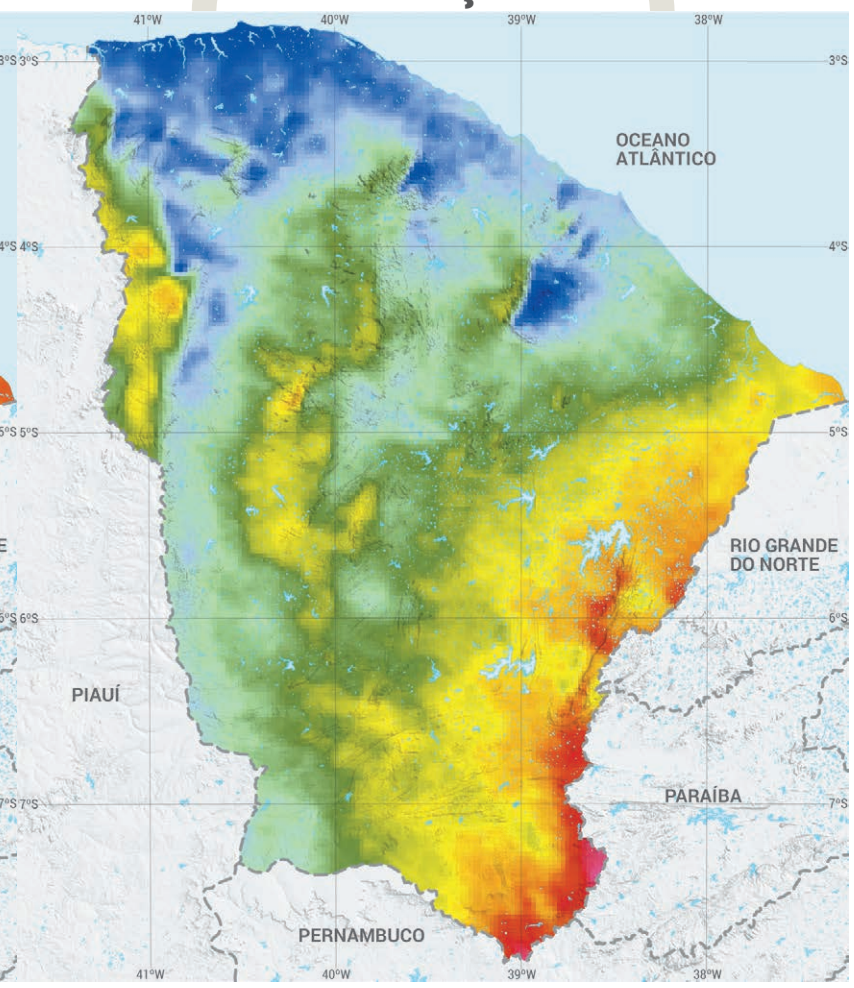
FEBRUARY

FEVEREIRO



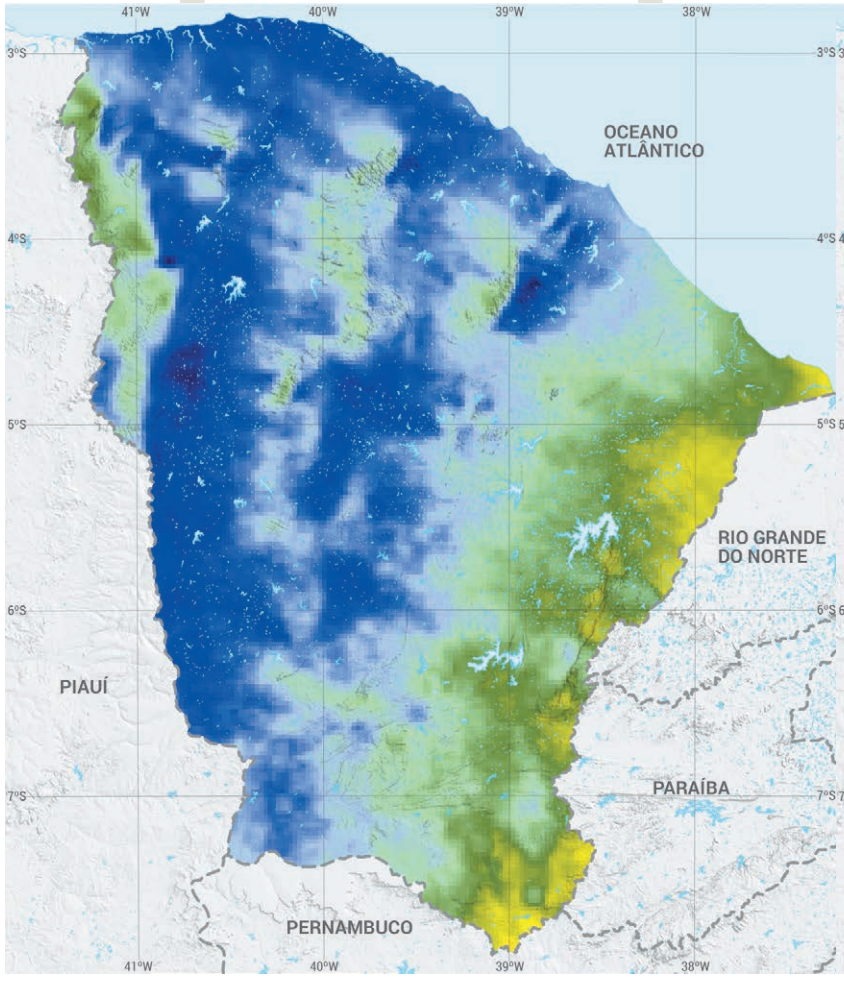
MARCH

MARÇO



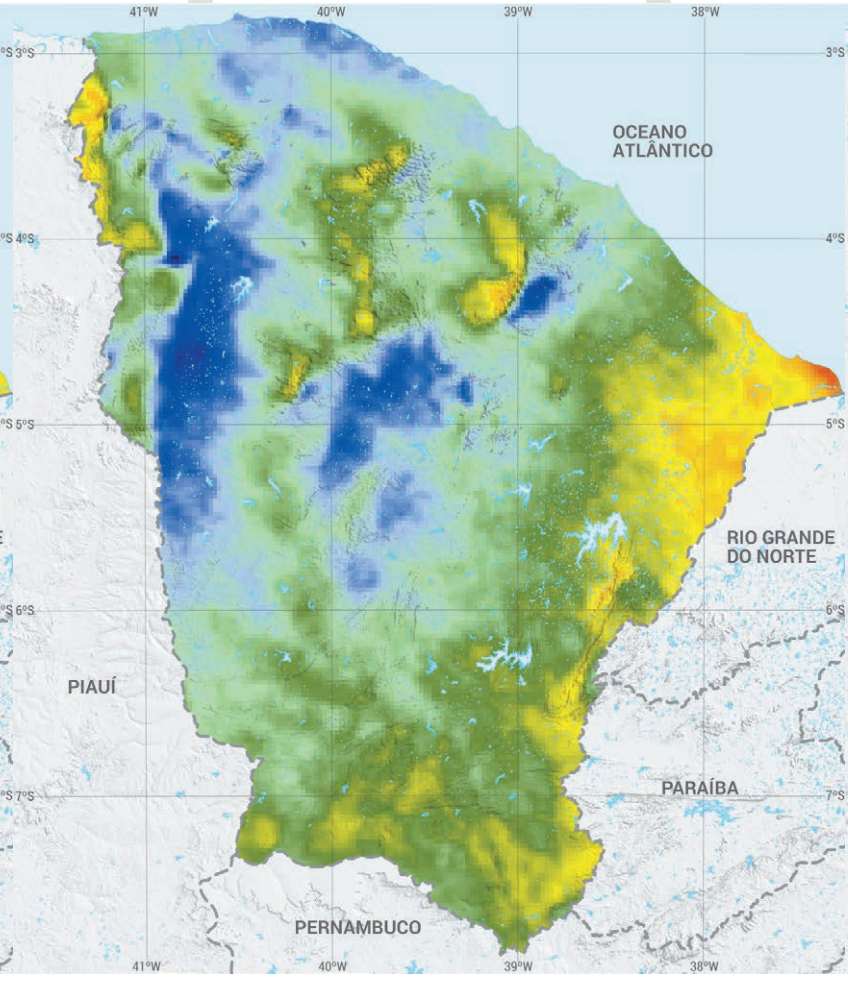
APRIL

ABRIL



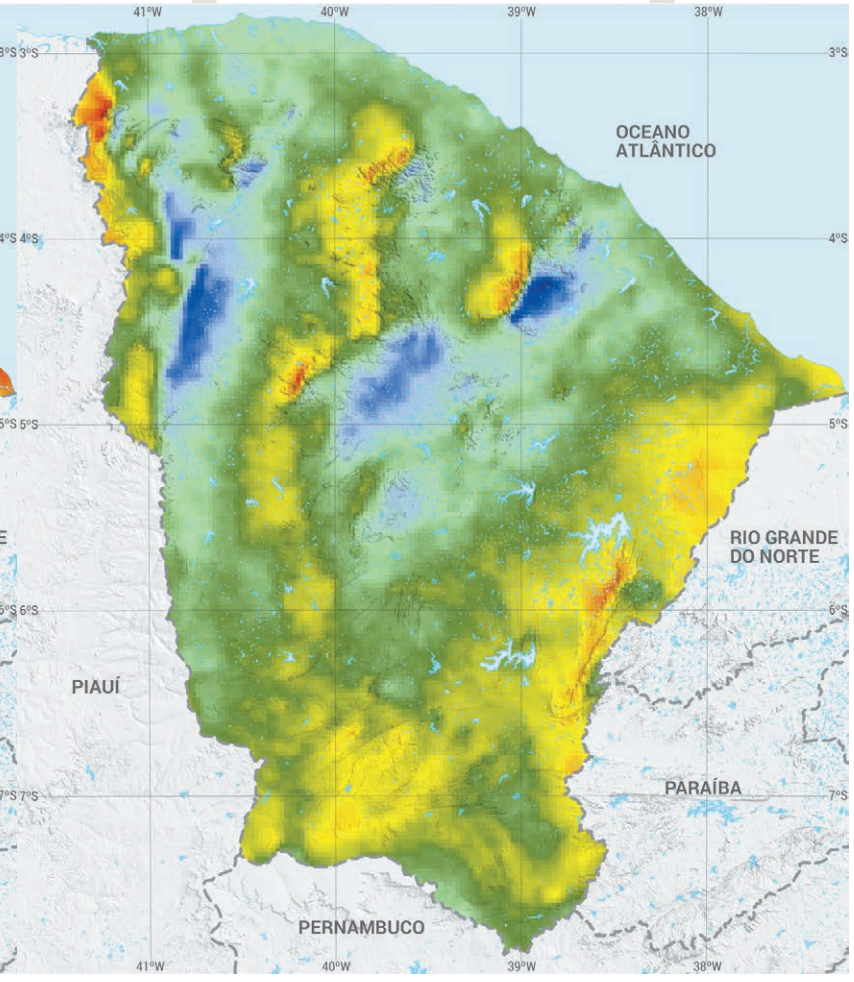
MAY

MAIO



JUNE

JUNHO



6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA MÉDIA
AVERAGE DIRECT NORMAL IRRADIATION

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2 3 4 5 6 7 8 9

61 91 122 152 183 213 244 274

soma do mês ≅ 30 dias • [kWh/m²/mês]
monthly sum ≅ 30 days • [kWh/m²/month]

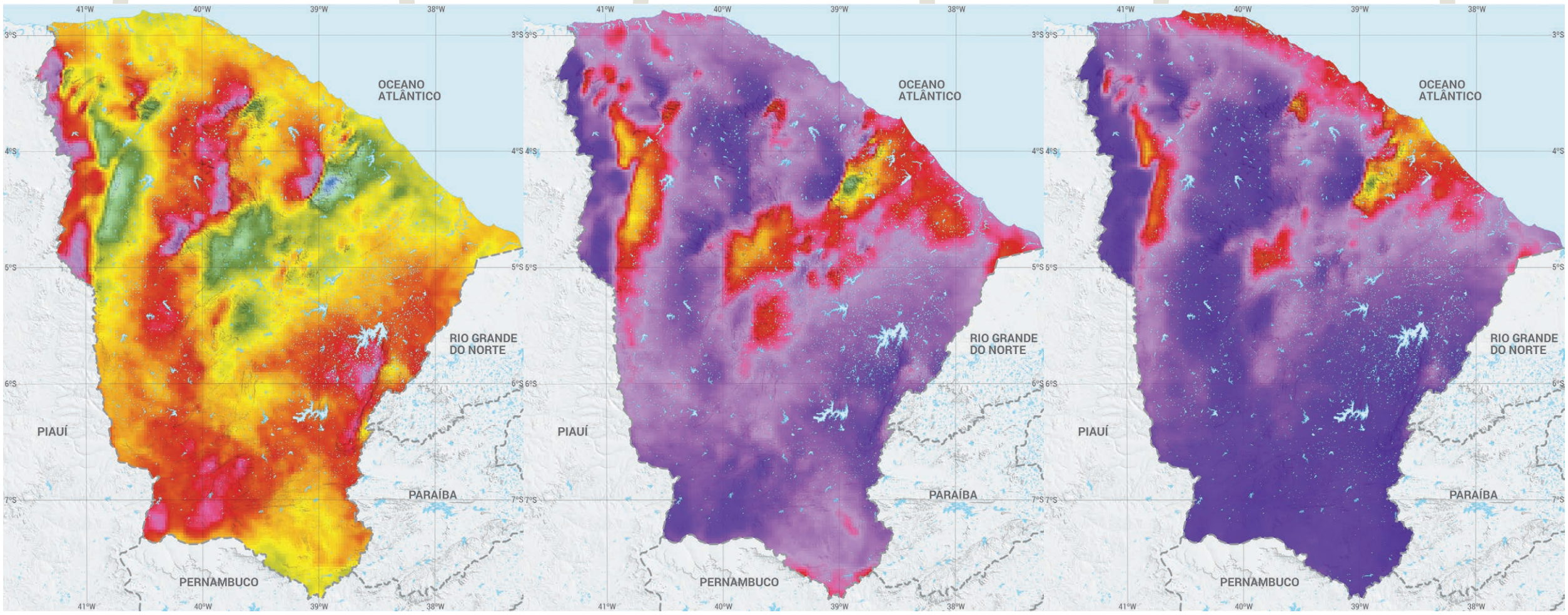
N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 4 500 000
0 50 100 150 km

JULY
JULHO

AUGUST
AGOSTO

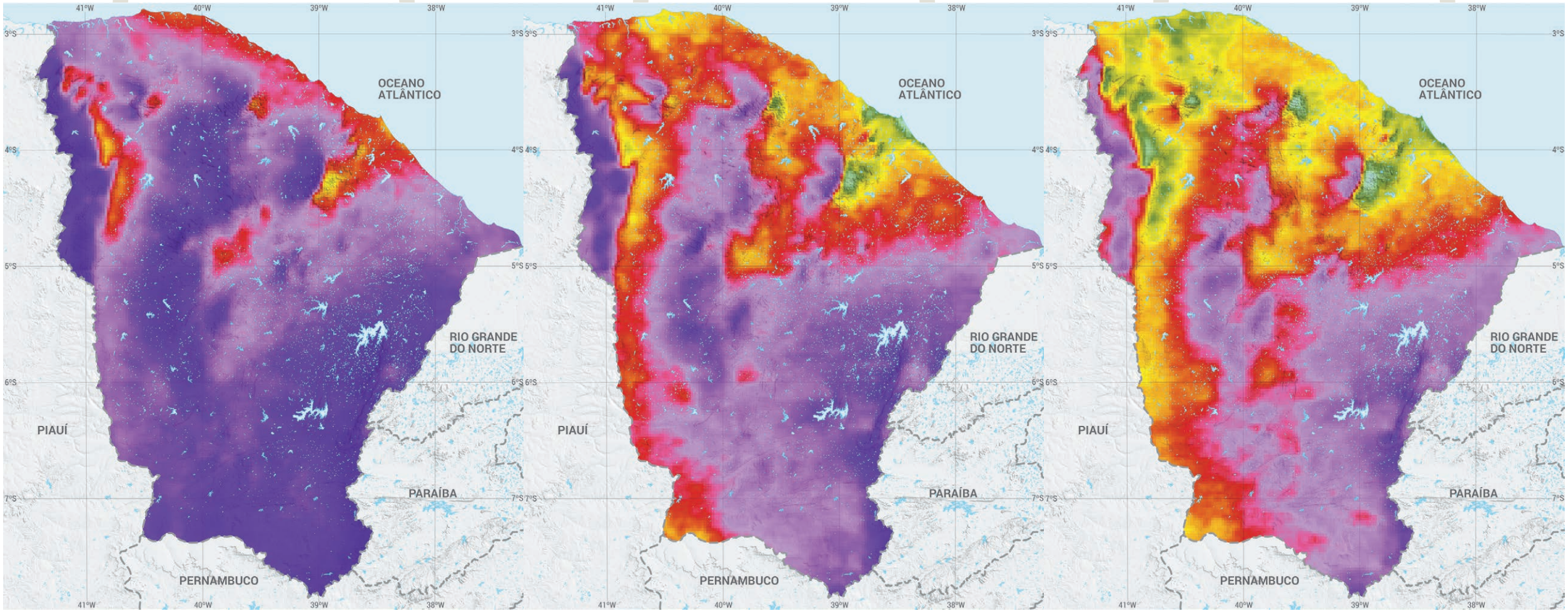
SEPTEMBER
SETEMBRO



OCTOBER
OUTUBRO

NOVEMBER
NOVEMBRO

DECEMBER
DEZEMBRO



MAPA/MAP 6.2.10 .

Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 10º

SEASONAL GLOBAL IRRADIATION ON THE 10º TILTED PLANE

VERÃO dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA set-nov
SPRING: SEP-NOV

IRRADIAÇÃO TOTAL MÉDIA NO PLANO INCLINADO A 10º
AVERAGE ANNUAL GLOBAL IRRADIATION ON THE 10º TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2 3 4 5 6 7 8 9

183 274 365 457 548 639 731 822

soma do período ≅ 3 meses • [kWh/m²/período]
sum of the period ≅ 3 months • [kWh/m²/period]

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Estação meteorológica ou solar — *Meteorological or solar station*
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.2.11

Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 10°

ANNUAL GLOBAL IRRADIATION ON THE 10° TILTED PLANE

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF e resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado por medições meteorológicas.

CALCULATED USING WRF MESOSCALE MODEL AND FINAL HORIZONTAL RESOLUTION OF 2,5 km X 2,5 km, ADJUSTED BY METEOROLOGICAL MEASUREMENTS.

IRRADIAÇÃO TOTAL MÉDIA NO PLANO INCLINADO A 10°
AVERAGE ANNUAL GLOBAL IRRADIATION ON THE 10° TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2	3	4	5	6	7	8	9
731	1 096	1 461	1 826	2 192	2 557	2 922	3 287

soma do ano • [kWh/m²/ano] *yearly sum • [kWh/m²/year]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INMET[16], FUNCEME[20].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ — Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

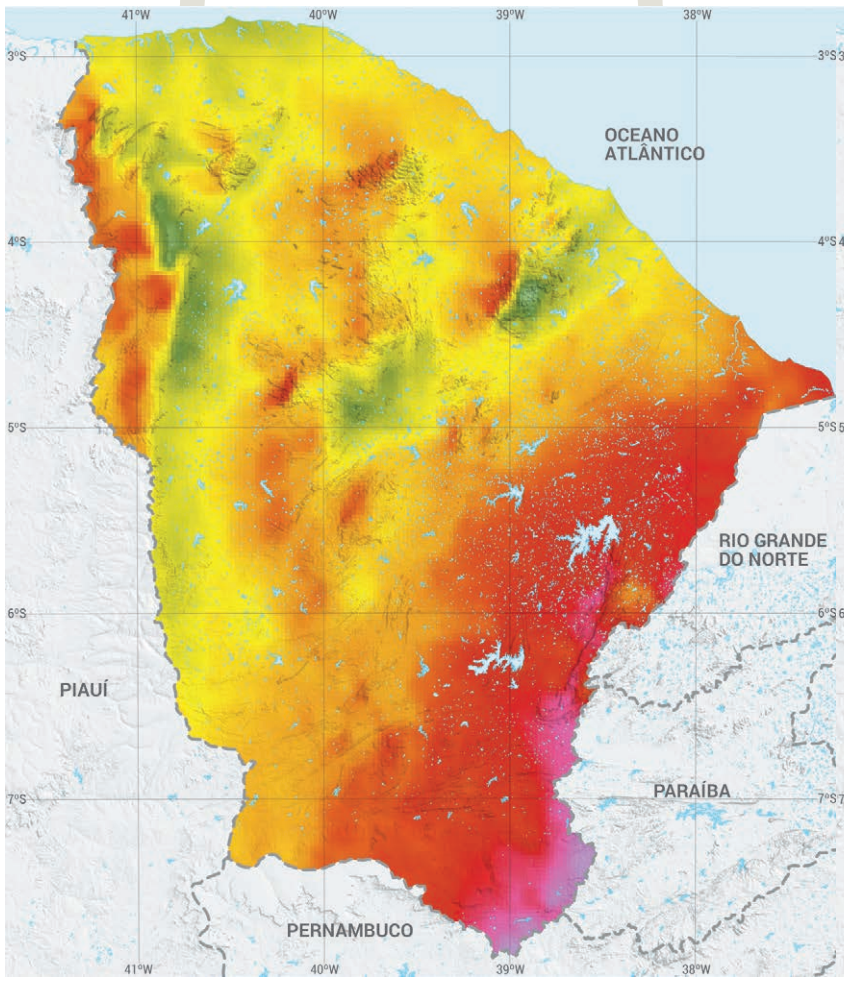
Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 10º

MAPA/MAP 6.2.12 .

MONTHLY GLOBAL IRRADIATION ON THE 10º TILTED PLANE

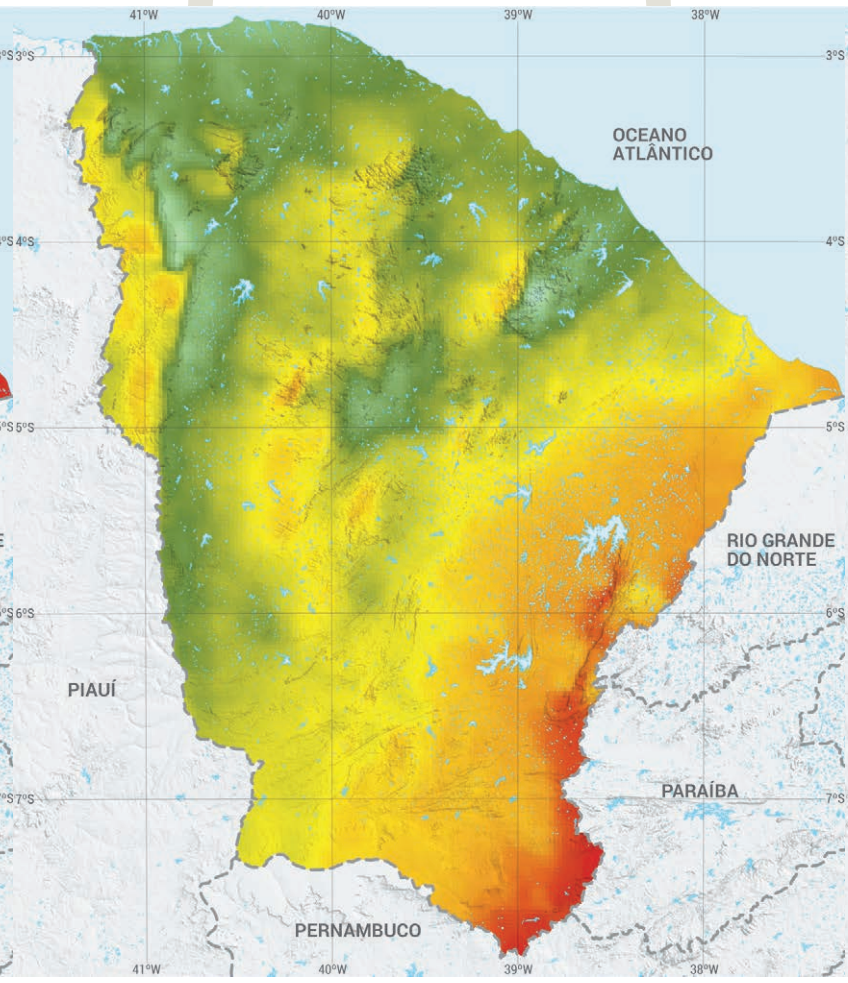
JANUARY

JANEIRO



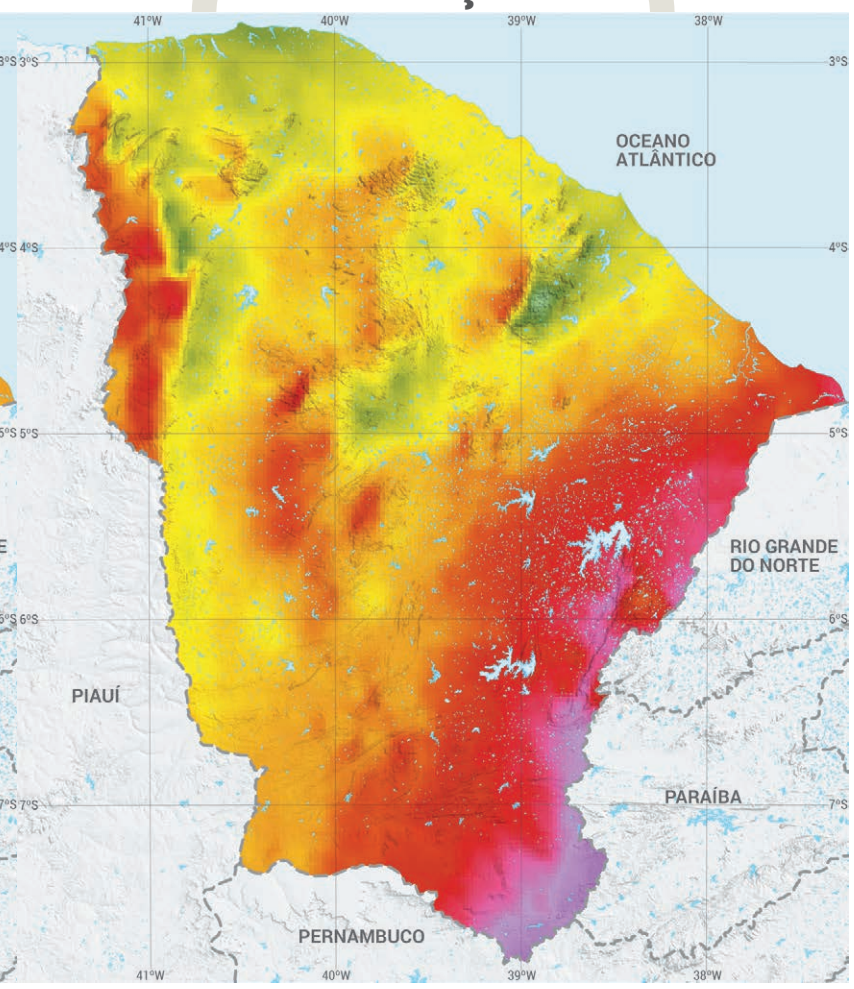
FEBRUARY

FEVEREIRO



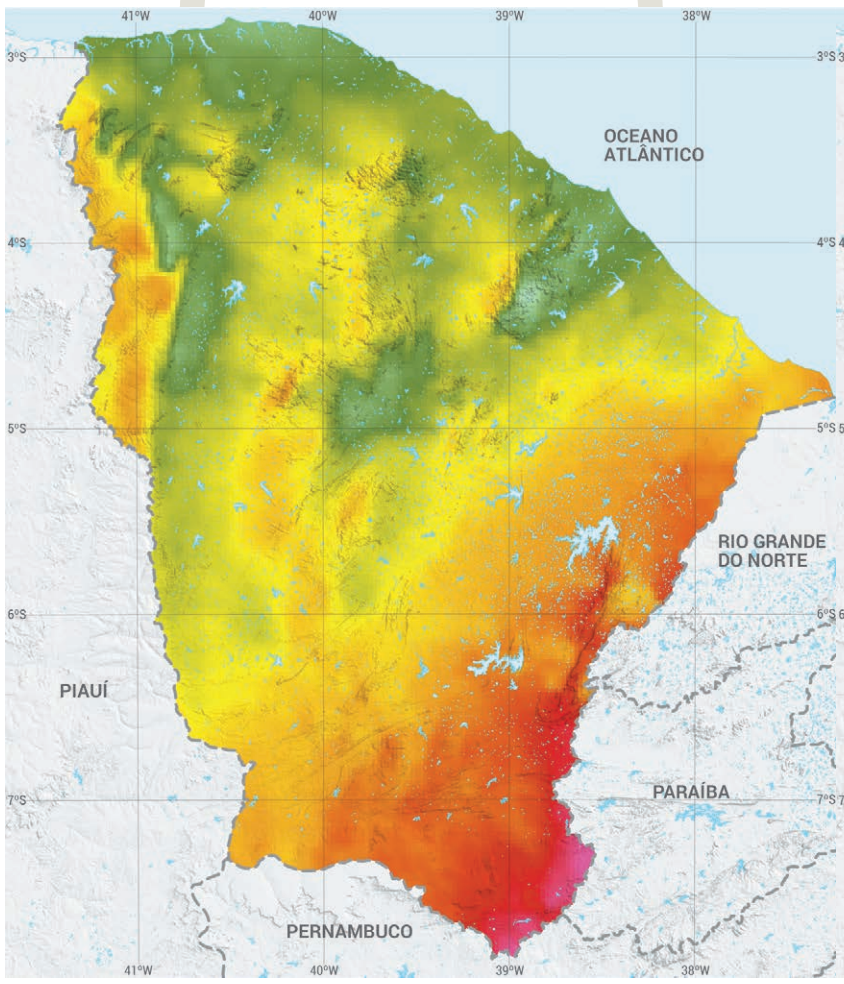
MARCH

MARÇO



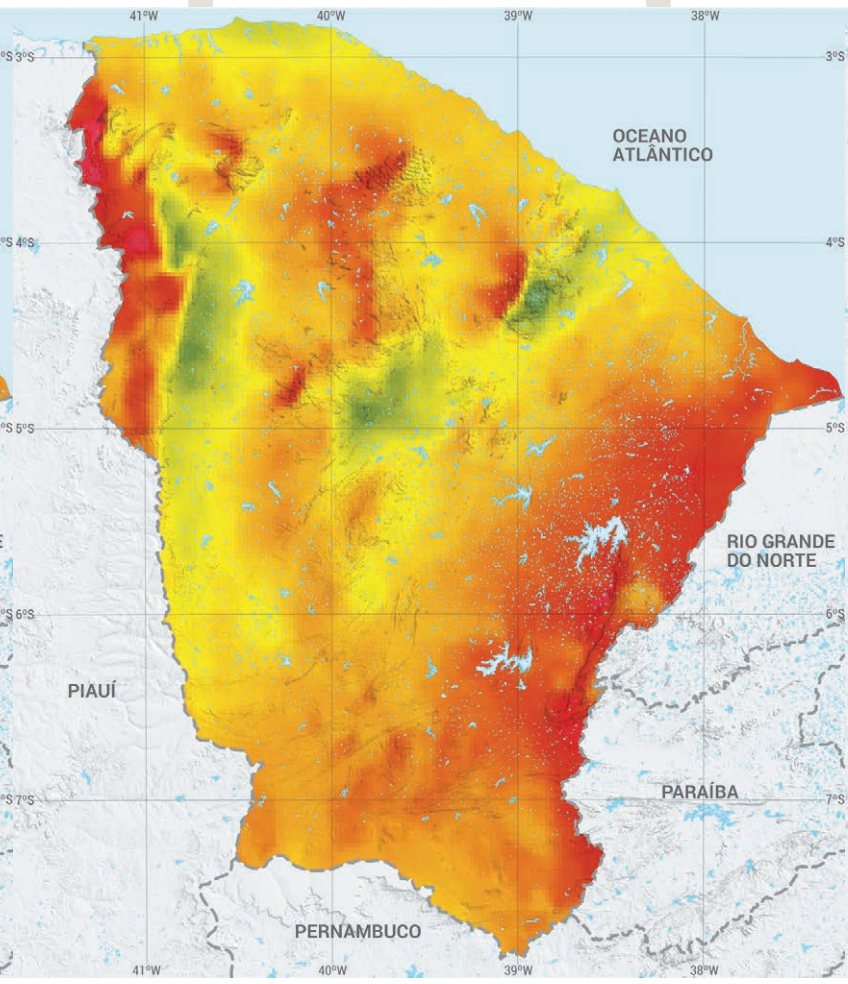
APRIL

ABRIL



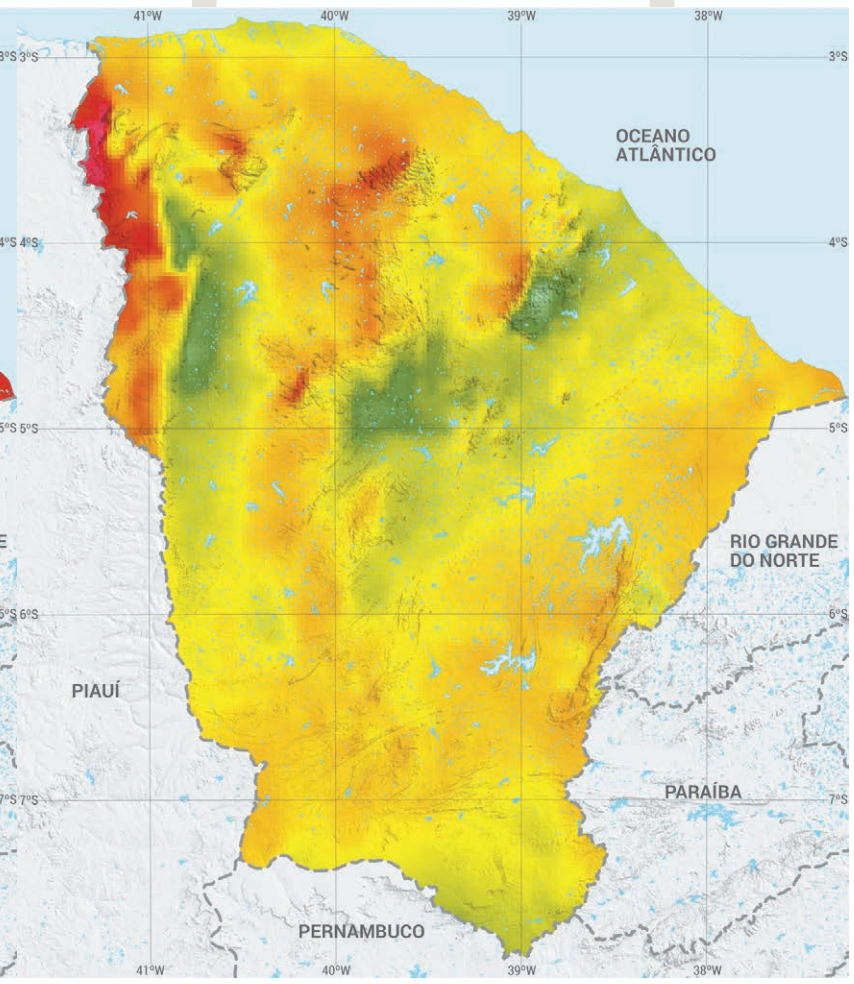
MAY

MAIO



JUNE

JUNHO



6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

IRRADIAÇÃO TOTAL MÉDIA NO PLANO INCLINADO A 10°
AVERAGE ANNUAL GLOBAL IRRADIATION ON THE 10° TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/m²/dia] *daily sum • [kWh/m²/day]*

2 3 4 5 6 7 8 9

61 91 122 152 183 213 244 274

soma do mês ≅ 30 dias • [kWh/m²/mês]
monthly sum ≅ 30 days • [kWh/m²/month]

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 4 500 000
0 50 100 150 km

JULY
JULHO

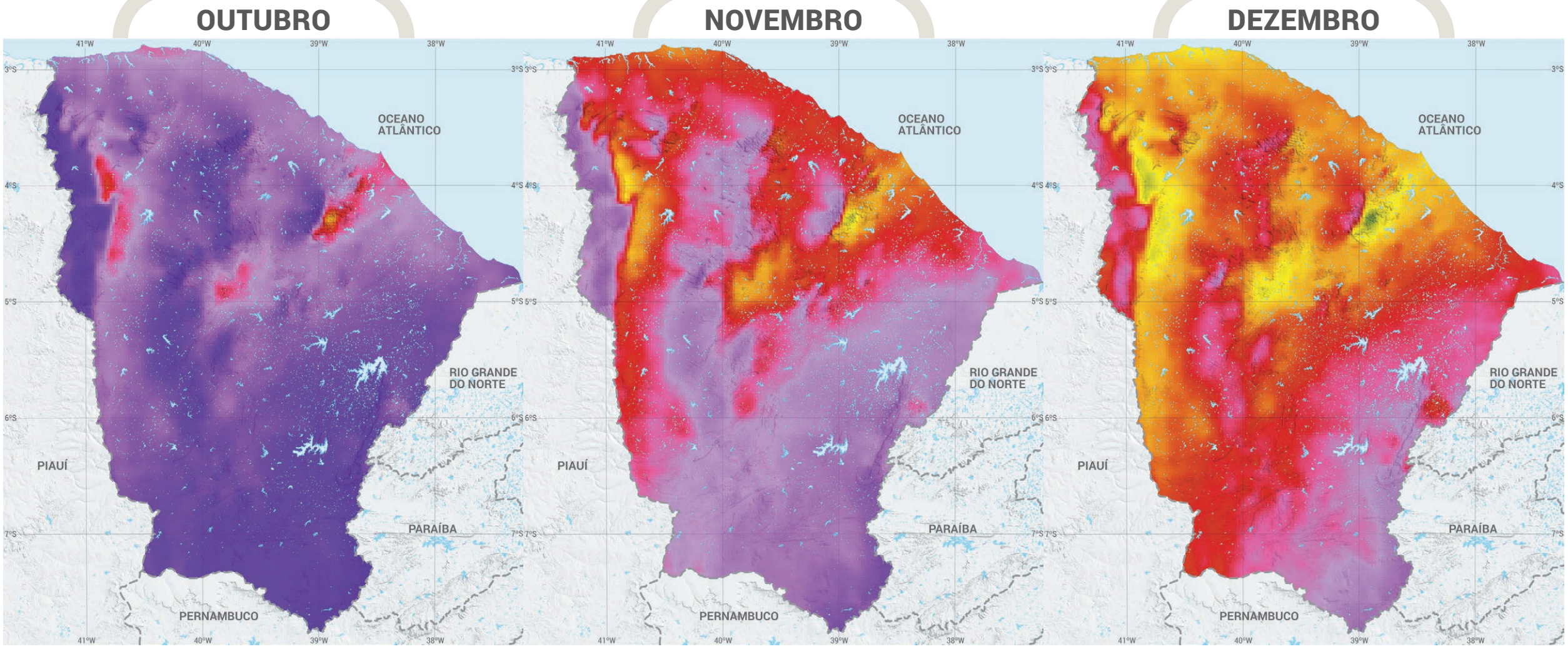
AUGUST
AGOSTO

SEPTEMBER
SETEMBRO

OCTOBER
OUTUBRO

NOVEMBER
NOVEMBRO

DECEMBER
DEZEMBRO



MAPA/MAP 6.2.13 .

Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado a 10º

SEASONAL PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

VERÃO
dez-fev
SUMMER: DEC-FEB

OUTONO
mar-mai
FALL: MAR-MAY

INVERNO
jun-ago
WINTER: JUN-AUG

PRIMAVERA
set-nov
SPRING: SEP-NOV

CAMOCIM, COREAÚ, MERUOCA, ITAPIPOCA, SÃO GONÇALO DO AMARANTE, FORTALEZA, TIANGUÁ, SOBRAL, ITAPAJÉ, PENTECOSTE, PIAUÍ, CASCAVEL, PACAJUS, OCEANO ATLÂNTICO, IPU, HIDROLÂNDIA, CANINDÉ, BARITITÉ, OCARA, ARACATI, RUSSAS, QUIXADÁ, CRATEÚS, JAGUARIBE, RIO GRANDE DO NORTE, TAUÁ, ACOPIARA, PEREIRO, IGUATU, VÁRZEA ALEGRE, LAVRAS DA MANGABEIRA, PARAÍBA, CAMPOS SALES, CARIRIAÇU, JUAZEIRO DO NORTE, MAURITI, BREJO SANTO, PERNAMBUCO

PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA MÉDIA NO PLANO INCLINADO A 10º
AVERAGE PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/kW$_p$/dia] *daily sum • [kWh/kW$_p$/day]*

2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7

183 | 228 | 274 | 320 | 365 | 411 | 457 | 502 | 548 | 594 | 639

soma do período ≅ 3 meses • [kWh/kW$_p$/período]
sum of the period ≅ 3 months • [kWh/kW$_p$/period]

N, W, E, S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- EOL operação (isolada/grupo)* [n] — *Operating WPP (single/cluster)**
- EOL planejadas (grupo)* [n] — *Planned WPP (cluster)**
- UFV operação (isolada/grupo)* [n] — *Operating PVP (single/cluster)**
- UFV planejada (grupo)* [n] — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Estação meteorológica ou solar — *Meteorological or solar station*
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Porto — *Port*
- Aeroporto, campo de pouso — *Airport, airfield*
- Estrada pavimentada — *Paved road*
- Estrada não pavimentada — *Unpaved road*
- Ferrovia — *Railroad*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

MAPA/MAP 6.2.14

Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 10º

ANNUAL PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

Calculado por UL TruePower a partir dos mapas de irradiação solar e temperatura, considerando a tecnologia de módulos de silício cristalino.

CALCULATED BY UL TRUEPOWER FROM SOLAR IRRADIATION AND TEMPERATURE MAPS, CONSIDERING THE TECHNOLOGY OF CRYSTALLINE SILICON MODULES.

PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA MÉDIA
NO PLANO INCLINADO A 10º
AVERAGE PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/kW$_p$/dia] *daily sum • [kWh/kW$_p$/day]*

2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
731	913	1 096	1 278	1 461	1 644	1 826	2 009	2 192	2 374	2 557

soma do ano • [kWh/kW$_p$/ano] *yearly sum • [kWh/kW$_p$/year]*

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1],[2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7],[8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INMET[16], FUNCEME[20].

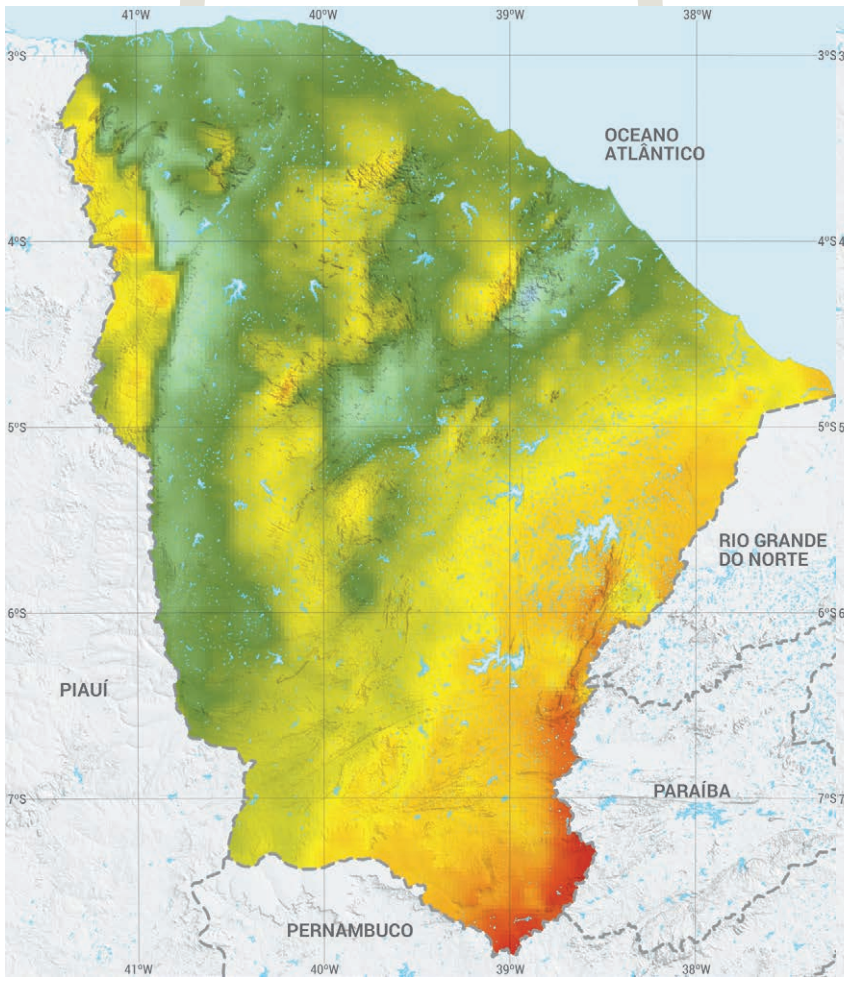
Produtividade Fotovoltaica Mensal no Plano Inclinado a 10º

MAPA/MAP 6.2.15 .

MONTHLY PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

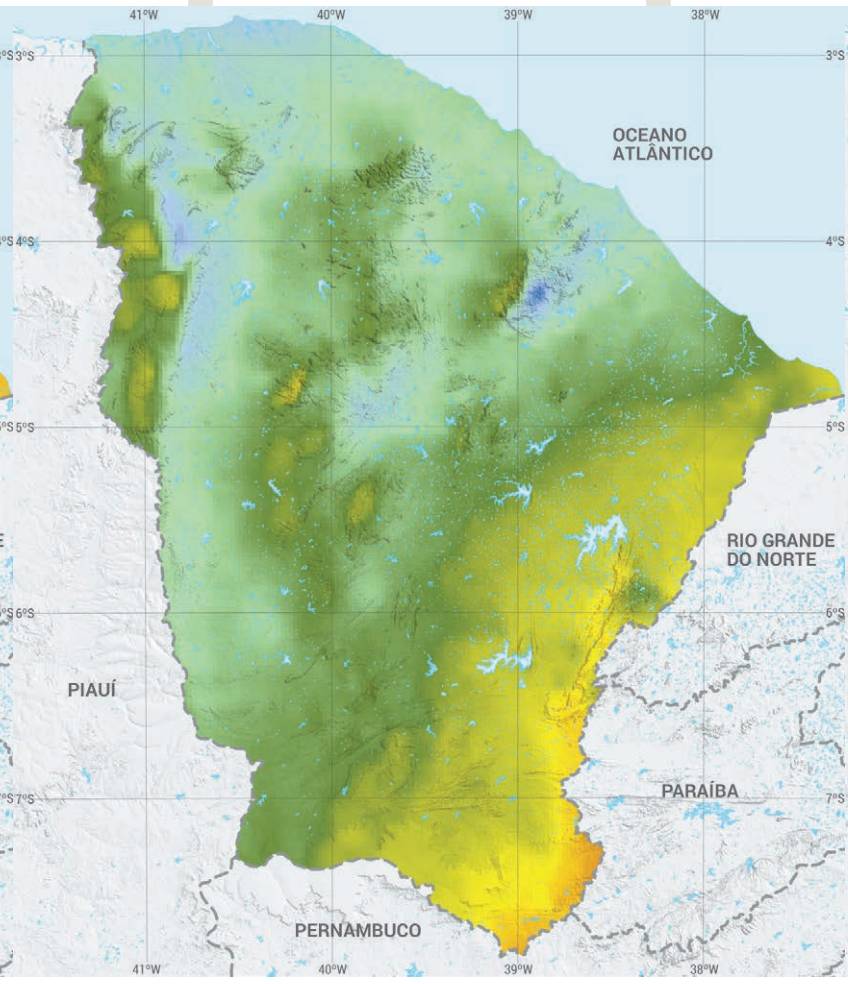
JANUARY

JANEIRO



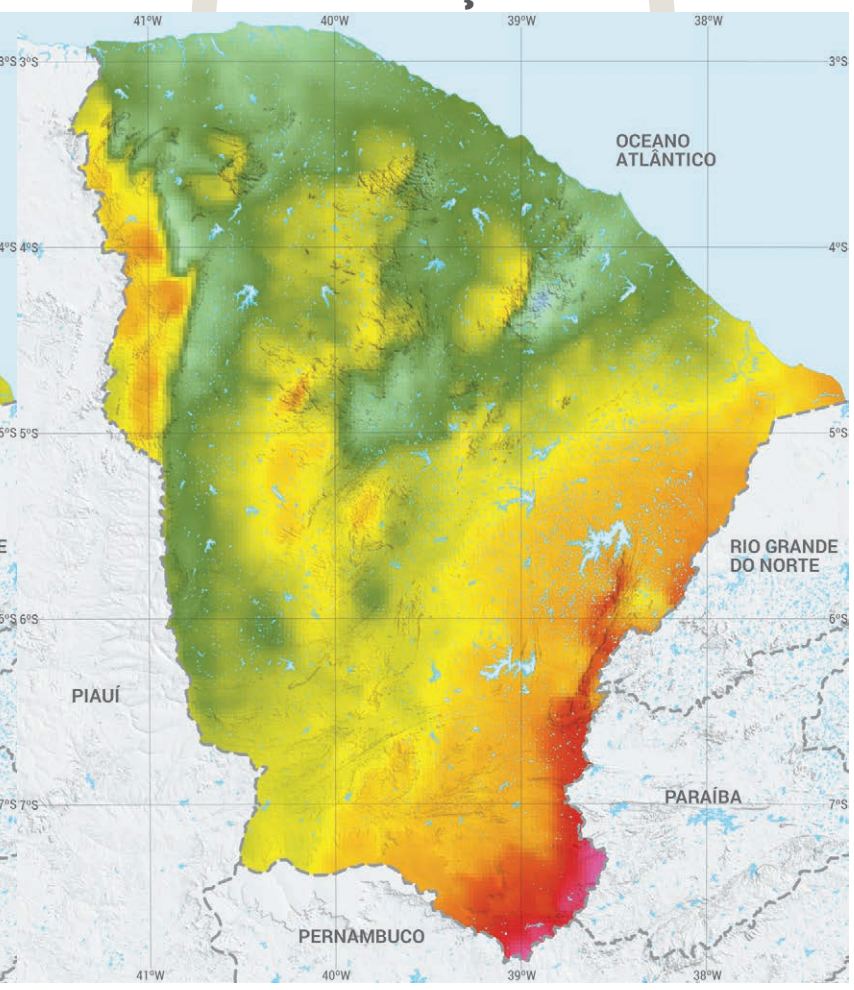
FEBRUARY

FEVEREIRO



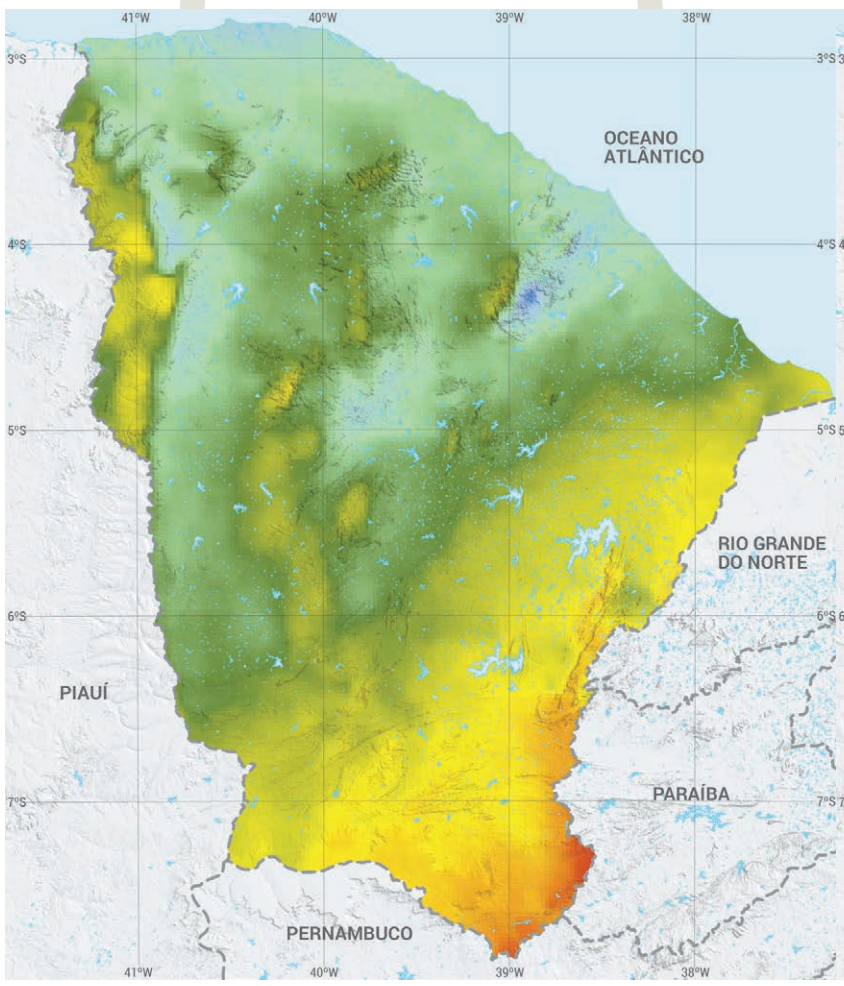
MARCH

MARÇO



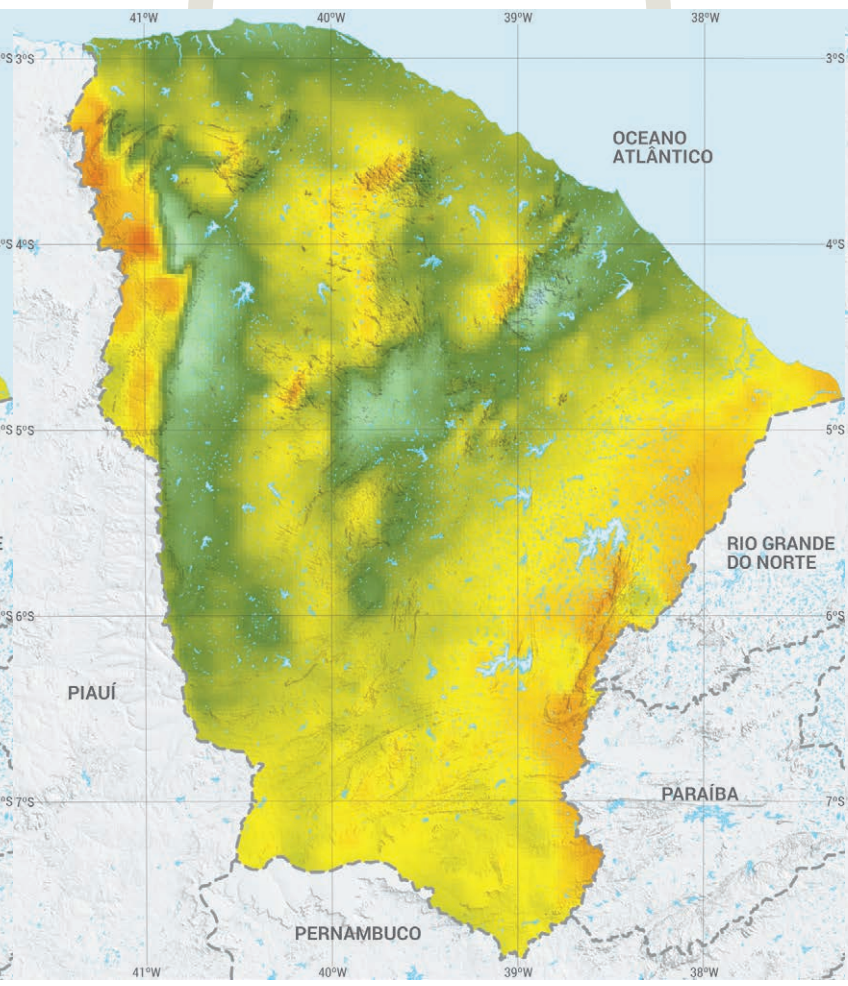
APRIL

ABRIL



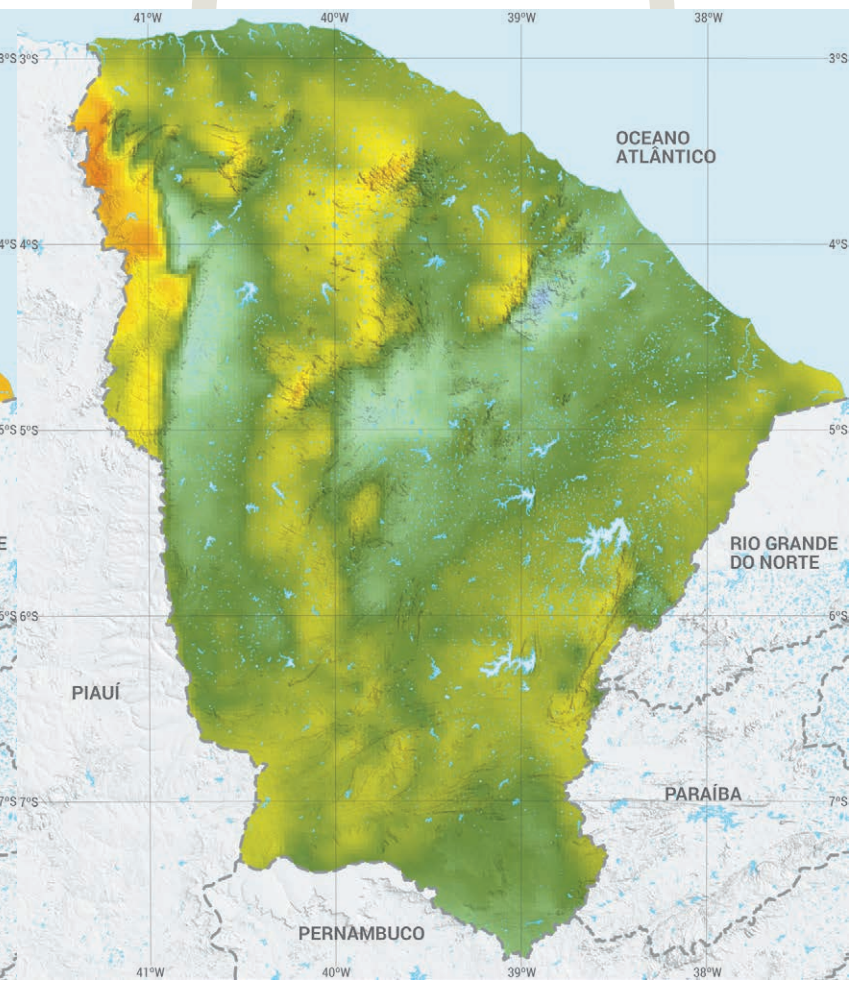
MAY

MAIO



JUNE

JUNHO



6 MAPAS
EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary

PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA MÉDIA
NO PLANO INCLINADO A 10º
AVERAGE PHOTOVOLTAIC ENERGY YIELD ON THE 10º TILTED PLANE

soma do dia • [kWh/kW$_p$/dia] *daily sum • [kWh/kW$_p$/day]*

2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7

61 | 76 | 91 | 107 | 122 | 137 | 152 | 167 | 183 | 198 | 213

soma do mês ≅ 30 dias • [kWh/kW$_p$/mês]
monthly sum ≅ 30 days • [kWh/kW$_p$/month]

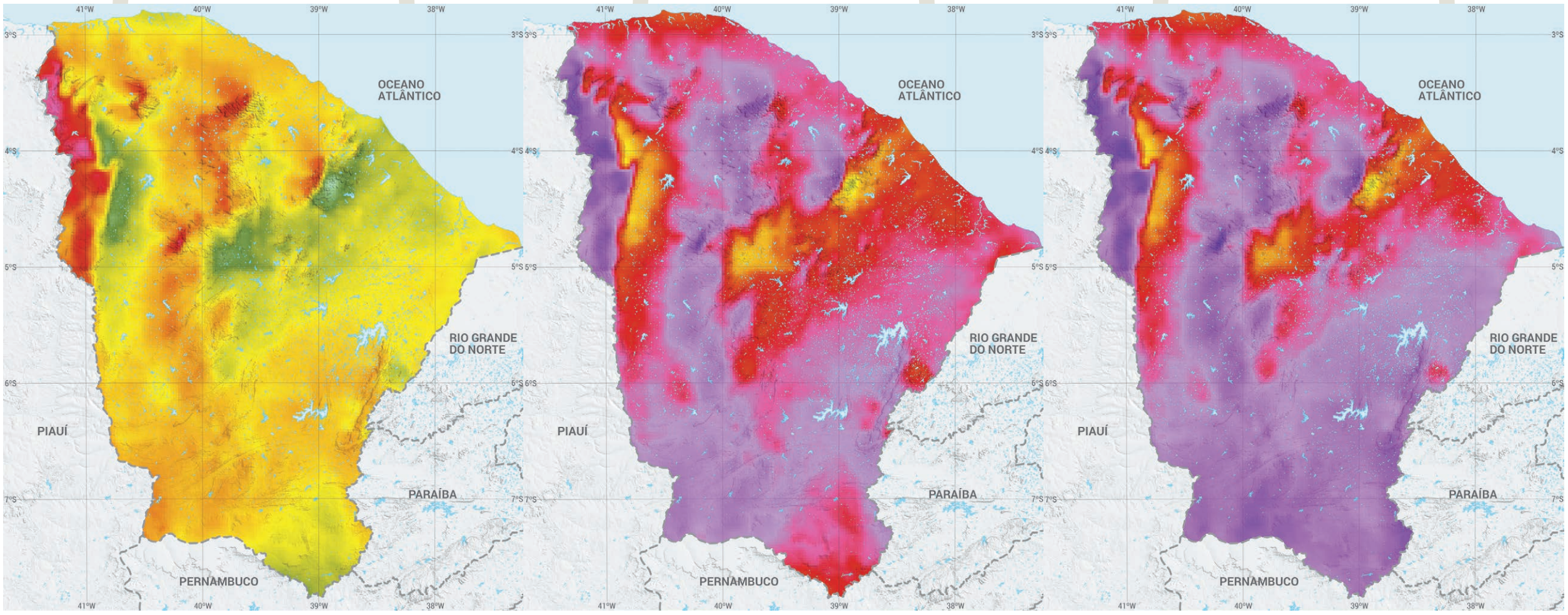
N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 4 500 000
0 50 100 150 km

JULY
JULHO

AUGUST
AGOSTO

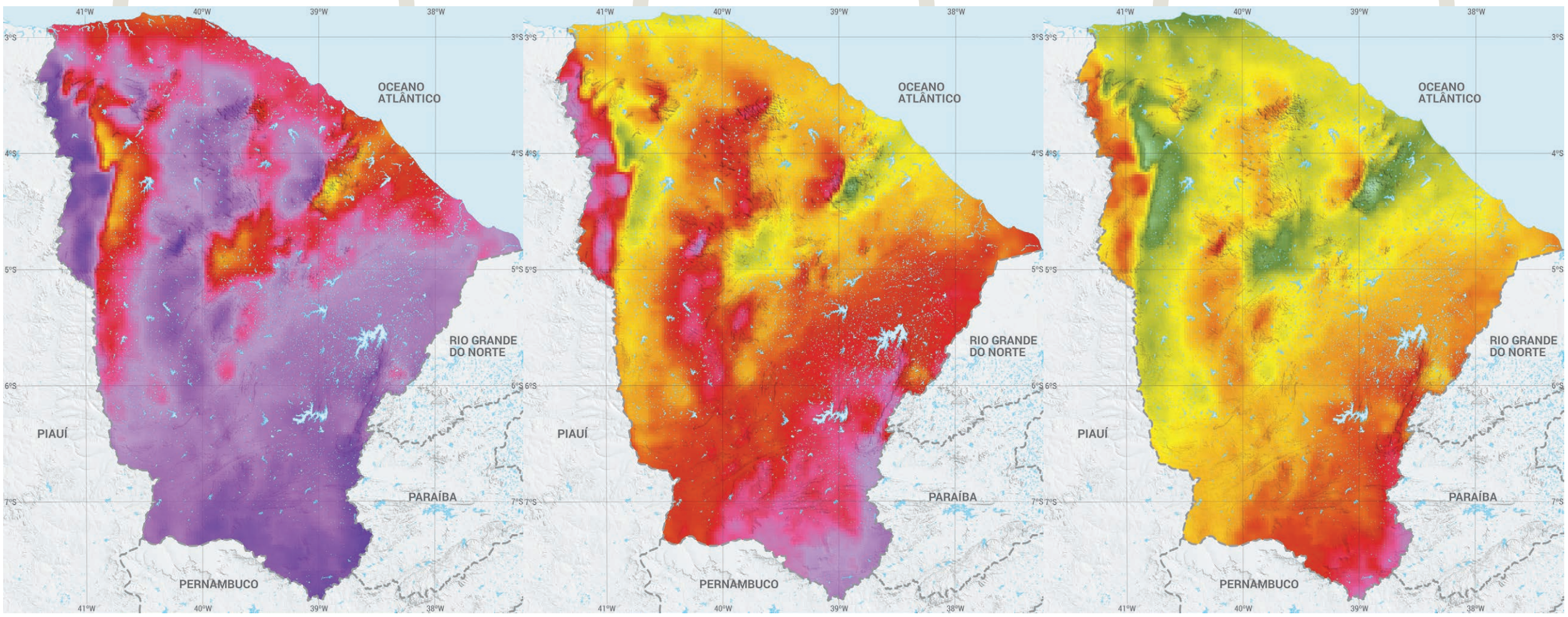
SEPTEMBER
SETEMBRO



OCTOBER
OUTUBRO

NOVEMBER
NOVEMBRO

DECEMBER
DEZEMBRO



Exemplos de áreas não aptas para o desenvolvimento de projetos eólicos e centralizado fotovoltaico.

Example of non-suitable areas for wind and centralized photovoltaic projects.



FIGURA 6.3 Áreas de mananciais e matas ciliares.

FIGURE 6.3 *Spring areas and riparian forests.*



FIGURA 6.4 Reservatórios, corpos hídricos e entorno.

FIGURE 6.4 *Reservoirs, water bodies and margins.*



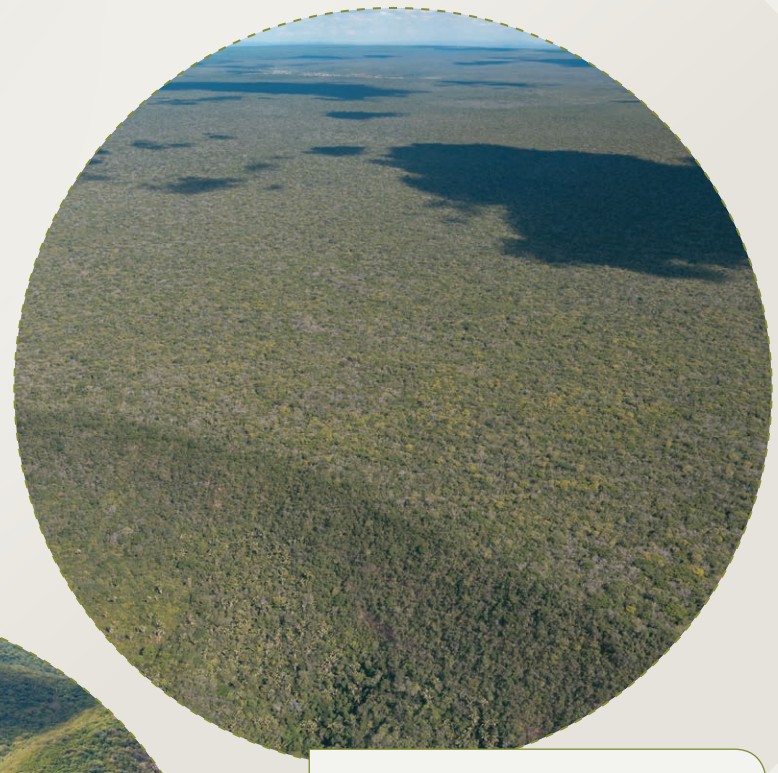
FIGURA 6.5 Dunas e ambientes lacustres.

FIGURE 6.5 *Dunes and lake environments.*



FIGURA 6.7 Áreas de relevo complexo ou elevada declividade.

FIGURE 6.7 *Complex terrain or high slope areas.*



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 6.6 Áreas de proteção integral ou de formação florestal nativa.

FIGURE 6.6 *Full protection or native forest areas.*



FIGURA 6.8 Áreas urbanas ou edificadas.

FIGURE 6.8 *Urban or built-up areas.*

CEARÁ

ATLAS EÓLICO E SOLAR
WIND AND SOLAR ATLAS

PIAUÍ

OCEANO ATLÂNTICO

RIO GRANDE DO NORTE

PARAÍBA

PERNAMBUCO

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 1 500 000
0 10 20 30 40 km

- SE operação (TS/DT)* — *Operating SS (TS/DT)**
- SE planejada (TS)* — *Planned SS (TS)**
- [n] EOL operação (isolada/grupo)* — *Operating WPP (single/cluster)**
- [n] EOL planejadas (grupo)* — *Planned WPP (cluster)**
- [n] UFV operação (isolada/grupo)* — *Operating PVP (single/cluster)**
- [n] UFV planejada (grupo)* — *Planned PVP (cluster)**
- UTE operação (isolada/grupo)* — *Operating THP (single/cluster)**
- CGH operação* — *Operating HYP**
- Área de PI ou TI* — *IL or FP area**
- Rio, corpo d'água — *River, water body*
- Divisa estadual — *State boundary*
- Sede municipal — *Municipality*
- Linha de transmissão/distribuição: — *Transmission/distribution line:*
  - 500 kV
  - 230 kV
  - 69 kV
- Linha em operação — *Operating lines*
- Linha planejada — *Planned lines*

*Ver significado das siglas no Apêndice A.
**See meaning of acronyms in Appendix A.*

MAPA/MAP 6.3.

Áreas Aptas
SUITABLE AREAS

Sobreposição das áreas aptas à instalação de projetos de geração solar e eólica, com base nos mapas de potencial, mapas de uso do solo e base topográfica SRTM.

OVERLAYING OF SUITABLE AREAS FOR INSTALLATION OF SOLAR AND WIND POWER PROJECTS, BASED ON RESOURCE MAPS, LAND USE MAPS AND SRTM TOPOGRAPHIC DATABASE.

- Áreas aptas à geração eólica centralizada, $v_{vento,\ 150\ m} > 7{,}0$ m/s
  Suitable areas for centralized wind power generation, $v_{wind,\ 150\ m} > 7{,}0$ m/s
- Áreas aptas às gerações solar e eólica centralizadas, $v_{vento,\ 150\ m} > 7{,}0$ m/s
  Suitable areas for centralized solar and wind power generation, $v_{wind,\ 150\ m} > 7{,}0$ m/s
- Áreas aptas à geração solar centralizada
  Suitable areas for centralized solar power generation
- Áreas aptas à geração solar distribuída urbana
  Suitable areas for urban distributed solar power generation
- Áreas não aptas à geração solar ou eólica
  Non-suitable areas for wind or solar power generation
- Áreas fortemente degradadas (FUNCEME[24])
  Heavily degraded areas (FUNCEME[24])

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE:* IBGE[1][2], ANA[3], DER-CE[4], MTPA[5], EPE[6], ANEEL[7][8], FUNAI[9], MMA[10], SEMA[11], INCRA[21], ICMBio[22], MapBiomas[23], FUNCEME[24].

CAMARGO SCHUBERT · Sistema FIEC · SEBRAE · ADECE · GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ — Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho

FIGURA 7.1 Complexo Solar Apodi, município de Quixeré.
FIGURE 7.1 *Apodi Solar Complex, municipality of Quixerê.*



FOTO/*PHOTO:* RAMON M. F.

7 ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

ANALYSIS AND DIAGNOSTICS

7 ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS
ANALYSIS AND DIAGNOSTICS

FIGURA 7.2 Complexo Eólico Pedra Cheirosa, município de Itarema.

FIGURE 7.2 *Pedra Cheirosa Wind Complex, municipality of Itarema.*



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

The calculation of the solar and wind resource of Ceará was based on the occupancy rate concept, which consists in the definition of the installable capacity (in MW) per area (in km²) for each type of project. The solar and wind power potential was calculated based on geoprocessing techniques using maps of photovoltaic energy yield, wind, suitable areas, and city limits from IBGE[1], according to the methodology described in Chapter 5.

7.1 Analysis of Solar and Wind Resource of Ceará

This chapter presents the main results and analysis of the solar and wind power resource for the State of Ceará. The wind, solar and hybrid resources are summarized in Table 7.1. These values, although theoretical and estimated, considering the assumptions explained in Chapter 5, underscore the enormous likely capacity to be explored by projects of this nature.

It is evaluated, according to the methodology applied in this Atlas, that the total solar and wind resource of Ceará is 1 363,2 TWh/year. If this were entirely used, it would be equivalent to approximately 40% of the national gross domestic energy supply in 2018 (288,4 Mtep or 3 354,1 TWh)[2], considering all sources, or, still, about twice the current national gross domestic electricity supply in 2018 (636,4 TWh)[2]. However, the exploitation of such capacity depends on other aspects, as well as economic, technological, federal, and state infrastructure limitations, making, therefore, its full development very unlikely. For comparative purposes, the development of only 10% of this wind resource would represent more than 4 times the current installed capacity in the State (2 GW). In turn, the development of only 10% of this solar resource would represent more than 30 times the present centralized photovoltaic power capacity installed throughout Brazil (2,1 GW).*

*Considering the large potential of the State, the analyses presented here are subdivided by geographical regions, thus allowing a regional analysis to be made and facilitating the planning for using these resources. The considered mesoregions** of the State, defined according to IBGE criteria, are presented in Map 7.1. The* Norte Cearense *mesoregion was assessed in conjunction with the* Metropolitana de Fortaleza *mesoregion, and the* Sul Cearense *mesoregion with the* Centro-Sul Cearense *mesoregion. The tables presented highlight the solar and wind resource in each one of these regions, separated by the extension of suitable areas (Table 7.2), installable capacity (Table 7.3), and energy yield (Table 7.4). It stands out, according to the methodology described in Chapter 5, that these values were calculated only for those areas classified as "suitable". In Appendix D, the tables are detailed for the 184 municipalities in Ceará, considering the current municipal limits published by IBGE.*

The wind resource data are organized by height and speed range, considering accumulated values from 7,0 m/s, 7,5 m/s and 8,0 m/s. The solar resource data are organized according to the type of generation: centralized and urban and rural distributed, being separated by classes of terrain slope, between flat (0-3%) and slightly undulating (3-8%), and by type of suitable area, non-degraded and degraded (see Glossary – Appendix A), in accordance with the classification performed by FUNCEME[3]. In addition, the resource of areas suitable for the development of solar and wind hybrid power projects is presented, considering winds with speeds greater than 7,0 m/s at a height of 150 m, and areas suitable for solar power projects.

O cálculo do potencial eólico e solar do Ceará foi baseado no conceito de taxa de ocupação, que consiste na definição de capacidade instalável (em MW) por área (em km²), para um determinado aproveitamento. O potencial solar e eólico foi calculado a partir de técnicas de geoprocessamento utilizando os mapas de produtividade fotovoltaica, eólicos, áreas aptas e limites municipais do IBGE[1], conforme metodologia descrita no Capítulo 5.

7.1 ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO E SOLAR DO CEARÁ

Neste capítulo são apresentados os principais resultados e análises do potencial eólico e solar para o Estado do Ceará. Os potenciais eólico, solar e híbrido estão sintetizados na Tabela 7.1. Esses valores, embora teóricos e estimados considerando as premissas explicadas no capítulo 5, ressaltam a enorme capacidade passível de ser explorada por empreendimentos dessa natureza.

Avalia-se, segundo metodologia aplicada neste Atlas, que o potencial solar e eólico total do Ceará é de 1 363,2 TWh/ano*. Caso este fosse aproveitado integralmente, seria equivalente a cerca de 40% da oferta interna bruta nacional de energia em 2018 (288,4 Mtep ou 3 354,1 TWh)[2], considerando todas as fontes, ou, ainda, a cerca de duas vezes a atual oferta interna bruta nacional de eletricidade em 2018 (636,4 TWh)[2]. No entanto, a exploração de tal capacidade depende de outros aspectos e limitações econômicas, tecnológicas e de infra-estrutura estadual e federal, tornando, portanto, pouco provável seu pleno desenvolvimento. Para fins comparativos, o desenvolvimento de apenas 10% desse potencial eólico representaria mais de quatro vezes a capacidade instalada atualmente no estado (2 GW). Por sua vez, o desenvolvimento de apenas 10% desse potencial solar representaria mais de 30 vezes a capacidade instalada fotovoltaica centralizada, em todo Brasil atualmente (2,1 GW).

Frente ao grande potencial do Estado, as análises aqui apresentadas estão subdivididas por regiões geográficas, permitindo assim uma análise regional e facilitando o planejamento para a utilização desses recursos. As mesorregiões** do Estado consideradas, definidas segundo critérios do IBGE, estão representadas no Mapa 7.1. A mesorregião Norte Cearense foi avaliada em conjunto com a mesorregião Metropolitana de Fortaleza, e a mesorregião Sul Cearense, com a mesorregião Centro-Sul Cearense. As tabelas apresentadas destacam o potencial solar e eólico em cada uma dessas regiões, separados por extensão de áreas aptas (Tabela 7.2), potência instalável (Tabela 7.3) e produção de energia (Tabela 7.4). Destaca-se, conforme metodologia descrita no Capítulo 5,



MAPA/MAP 7.1

que esses valores foram calculados somente para as áreas classificadas como "aptas". No Apêndice D, as tabelas encontram-se detalhadas para os 184 municípios cearenses, considerando os atuais limites municipais publicados pelo IBGE.

Os dados do potencial eólico estão organizados por alturas e faixas de velocidade, considerando os valores acumulados a partir de 7,0 m/s, 7,5 m/s e 8,0 m/s. Os dados do potencial solar estão organizados segundo o tipo de geração: distribuída urbana, centralizada e distribuída rural, sendo separados por classes de declividade de terreno, entre plano (0-3%) e suave ondulado (3-8%), e por tipo de áreas aptas, não degradadas e degradadas (ver Glossário – Apêndice A), de acordo com a classificação realizada

TABELA 7.1 Potencial eólico e solar do Ceará por tipo de aproveitamento.

TABLE 7.1 *Solar and wind resource of Ceará per project type.*

Potencial Solar e Eólico do Ceará *Ceará Wind and Solar Resource*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	Área Apta [km²] *Suitable Area [km²]*	Percentual da Área do Estado [%] *Assessed Suitable Area Percentual [%]*	Geração de Energia Anual [TWh/ano] *Annual Energy Yield [TWh/ano]*
Urbano (Geração Distribuída) *Urban (Distributed Generation)*	1,46	727	0,5	2,16
Não Urbano – Não Degradada (Geração Centralizada e Distribuída Rural) *Non-urban – Non-degraded (Centralized and Rural Distributed Generation)*	449	56 068	37,7	695
Não Urbano – Áreas Degradadas (Geração Centralizada e Distribuída Rural) *Non-urban – Degraded Areas (Centralized and Rural Distributed Generation)*	194	12 096	8,1	304
Total Solar Não Urbano *Non-urban Solar Total*	643	68 164	45,8	999
Total Eólico (Velocidade a 150 m de altura > 7,0 m/s) *Wind Energy Total (Wind speed at 150 m height > 7,0 m/s)*	94	23 568	15,8	362
Total Híbrido – Solar e Eólico (Velocidade a 150 m de altura > 7,0 m/s) *Hybrid Total – Solar and Wind (Wind speed at 150 m height > 7,0 m/s)*	137	10 987	7,4	315
Total *offshore* (Velocidade a 100 m > 7,0 m/s) *Offshore Total (Wind speed at 100 m height > 7,0 m/s)*	117	19 540	13,1	506

* NOTA: PARA MANTER A CONSISTÊNCIA ENTRE AS DUAS VERSÕES (PORTUGUÊS E INGLÊS) DESTE DOCUMENTO, O ESPAÇO, EM VEZ DO PONTO, É UTILIZADO COMO SEPARADOR DE MILHAR.
** A DIVISÃO TERRITORIAL DO BRASIL EM MICRORREGIÕES E MESORREGIÕES ADOTADA PELO IBGE TEM FINS DE USO PRÁTICO EM ESTATÍSTICA, AGRUPANDO MUNICÍPIOS LIMÍTROFES COM BASE EM SIMILARIDADES ECONÔMICAS E SOCIAIS.

** NOTE: FOR CONSISTENCY WITH THE PORTUGUESE VERSION OF THIS DOCUMENT, THE COMMA, RATHER THE POINT, IS USED AS A DECIMAL SEPARATOR IN THE ENGLISH TEXT. FOR THE SAME REASON, THE SPACE, RATHER THAN THE COMMA, IS USED AS THOUSAND SEPARATOR.*
*** THE TERRITORIAL DIVISION OF BRAZIL INTO MICRO AND MESOREGIONS ADOPTED BY IBGE HAS PRACTICAL PURPOSES IN STATISTICS, GROUPING NEIGHBORING MUNICIPALITIES BASED ON ECONOMIC AND SOCIAL SIMILARITIES.*

TABELA 7.2 .
TABLE 7.2 .

Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Território [km²] *Territory [km²]*	Área Apta para Aproveitamento Energético [km²] / *Suitable Areas for Power Generation*																	
			Altura do Aproveitamento Eólico *Wind Resource Height*										Tipo de Terreno para Aproveitamento Solar *Type of Terrain for Solar Resource*							
			80 m de altura *80 m height*			100 m de altura *100 m height*			120 m de altura *120 m height*			150 m de altura *150 m height*		Não Urbano / *Non-urban* (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) *(Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*							
													Urbano (Distribuído) *Urban (Distributed)*	Terreno Degradado *Degraded Areas*		Terreno Não Degradado *Non-degraded Areas*		Interseção dos Potenciais Solar e Eólico *Intersection of Solar and Wind Resource*	
			>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s		Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	
Centro-Sul Cearense	Iguatu	4 763	24	4	<1	36	6	1	51	10	1	73	17	1	14	95	261	384	1 292	28
	Lavras da Mangabeira	1 358	<1	0	0	<1	0	0	<1	<1	0	<1	<1	0	3	12	53	126	416	0
	Várzea Alegre	3 824	1	<1	<1	1	<1	<1	3	<1	<1	11	1	<1	7	4	20	181	742	1
	TOTAL	9 945	25	4	0	37	6	1	54	10	1	84	18	1	24	111	334	691	2 450	29
Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	9 946	<1	0	0	89	<1	0	340	25	0	826	249	3	21	195	638	1 627	3 488	504
	Litoral de Aracati	2 144	813	238	38	1 314	630	83	1 539	1 132	336	1 651	1 491	959	6	0	0	262	478	693
	Médio Jaguaribe	4 305	<1	<1	0	<1	<1	0	<1	<1	0	1	<1	0	6	366	1 171	212	724	<1
	Serra do Pereiro	2 048	31	13	4	44	18	6	62	24	8	93	34	12	2	39	145	154	521	33
	TOTAL	18 443	844	251	42	1 447	648	89	1 941	1 181	344	2 571	1 774	974	35	600	1 954	2 255	5 211	1 230
Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	3 349	77	30	8	114	53	11	203	73	20	425	111	45	372	0	0	98	329	115
	Pacajus	415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	13	0	0	17	56	1
	TOTAL	3 764	77	30	8	114	53	11	203	73	20	433	111	45	385	0	0	115	385	116
Noroeste Cearense	Coreaú	2 069	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	5	<1	<1	4	142	366	110	336	<1
	Ibiapaba	5 068	1 658	680	109	2 142	1 346	382	2 445	1 809	965	2 769	2 268	1 533	24	15	39	468	1 359	1 517
	Ipu	4 222	438	122	<1	640	339	43	783	496	184	933	688	395	10	36	69	532	1 642	597
	Litoral de Camocim e Acaraú	8 648	673	109	24	1 887	596	78	3 110	1 484	410	4 864	2 958	1 361	23	172	383	662	1 409	1 544
	Meruoca	288	16	5	2	33	15	5	42	28	11	48	39	25	<1	0	0	1	4	4
	Santa Quitéria	6 018	10	2	<1	23	6	1	36	14	2	60	30	8	4	181	472	263	785	28
	Sobral	8 222	11	2	1	102	6	2	243	17	4	604	143	7	30	627	1 535	700	1 788	294
	TOTAL	34 535	2 806	920	136	4 827	2 308	511	6 660	3 848	1 576	9 283	6 126	3 329	95	1 173	2 864	2 736	7 323	3 984
Norte Cearense	Baixo Curu	1 438	307	98	17	415	167	29	516	228	48	619	335	86	17	0	0	113	233	148
	Baturité	2 696	4	2	1	8	4	2	15	5	3	27	8	4	8	0	0	156	598	10
	Canindé	5 331	26	6	2	74	15	4	117	41	7	202	91	21	12	47	178	358	1 490	81
	Cascavel	2 530	201	35	9	413	114	19	759	256	51	1 463	614	189	7	0	0	128	320	266
	Chorozinho	1 290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	147	412	0
	Itapipoca	3 721	239	80	32	631	214	67	1 516	487	155	2 274	1 448	479	11	147	341	268	616	937
	Médio Curu	3 011	<1	<1	0	<1	<1	0	1	<1	0	5	<1	<1	5	21	56	397	1 273	1
	Uruburetama	1 047	5	2	1	8	5	2	10	6	3	27	8	5	5	<1	<1	85	247	9
	TOTAL	21 064	782	223	62	1 549	519	123	2 934	1 023	267	4 617	2 504	784	69	215	575	1 652	5 189	1 452
Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	12 831	140	14	2	285	73	5	464	163	17	1 009	315	89	19	526	1 128	1 939	4 966	625
	Sertão de Inhamuns	11 693	42	5	<1	184	22	1	545	55	6	1 539	302	30	10	248	746	1 102	4 023	1 041
	Sertão de Quixeramobim	11 940	3	<1	<1	12	1	<1	26	3	<1	72	13	1	16	21	83	1 256	4 716	28
	Sertão de Senador Pompeu	9 787	10	2	<1	34	4	1	87	11	1	271	45	4	10	36	112	720	3 265	100
	TOTAL	46 251	195	21	2	515	100	7	1 122	232	24	2 891	675	124	55	831	2 069	5 017	16 970	1 794
Sul Cearense	Barro	2 647	8	1	<1	30	2	<1	77	6	<1	156	20	1	5	0	0	156	623	53
	Brejo Santo	1 952	1	<1	<1	5	1	<1	15	1	<1	80	3	1	6	2	5	133	460	40
	Cariri	4 550	17	3	1	76	8	2	283	18	3	813	98	8	45	369	989	629	1 645	424
	Caririaçu	1 301	0	0	0	<1	0	0	2	0	0	12	0	0	3	<1	<1	29	142	2
	Chapada do Araripe	4 442	1 030	172	22	1 841	648	87	2 254	1 253	285	2 628	1 961	853	5	1	4	680	1 577	1 863
	TOTAL	14 892	1 056	176	23	1 952	659	89	2 631	1 278	288	3 689	2 082	863	64	372	998	1 627	4 447	2 382
TOTAL DO ESTADO DO CEARÁ *STATE OF CEARÁ TOTAL*		148 894	5 785	1 625	273	10 441	4 293	831	15 545	7 645	2 520	23 568	13 290	6 120	727	3 302	8 794	14 093	41 975	10 987

TABELA 7.3 .
TABLE 7.3 .

Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Território [km²] *Territory [km²]*	Capacidade Instalável [MW (eólica) or MW_p (solar)] / *Installable Capacity [MW (wind) or MW_p (solar)]*																	
			Altura do Aproveitamento Eólico *Wind Resource Height*										Tipo de Terreno para Aproveitamento Solar *Type of Terrain for Solar Resource*						Interseção dos Potenciais Solar e Eólico *Intersection of Solar and Wind Resource*	
			80 m de altura *80 m height*			100 m de altura *100 m height*			120 m de altura *120 m height*			150 m de altura *150 m height*				Não Urbano / *Non-urban* (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) *(Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
																Terreno Degradado *Degraded Areas*		Terreno Não Degradado *Non-degraded Areas*		
			>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	Urbano (Distribuído) *Urban (Distributed)*	Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	
Centro-Sul Cearense	Iguatu	4 763	96	16	2	144	24	4	204	40	4	292	68	4	28	1 520	4 176	3 072	10 336	331
	Lavras da Mangabeira	1 358	1	0	0	1	0	0	1	<1	0	2	<1	0	6	192	848	1 008	3 328	0
	Várzea Alegre	3 824	4	<1	<1	4	<1	<1	12	1	<1	44	4	<1	14	64	320	1 448	5 936	14
	TOTAL	9 945	101	16	2	149	24	4	217	41	4	338	72	4	48	1 776	5 344	5 528	19 600	345
Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	9 946	<1	0	0	356	<1	0	1 360	100	0	3 304	996	12	42	3 120	10 208	13 016	27 904	6 047
	Litoral de Aracati	2 144	3 252	952	152	5 256	2 520	332	6 156	4 528	1 344	6 604	5 964	3 836	12	0	0	2 096	3 824	8 316
	Médio Jaguaribe	4 305	1	<1	0	1	<1	0	2	<1	0	4	1	0	12	5 856	18 736	1 696	5 792	2
	Serra do Pereiro	2 048	124	52	16	176	72	24	248	96	32	372	136	48	4	624	2 320	1 232	4 168	392
	TOTAL	18 443	3 377	1 004	168	5 789	2 592	356	7 766	4 724	1 376	10 284	7 097	3 896	70	9 600	31 264	18 040	41 688	14 757
Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	3 349	308	120	32	456	212	44	812	292	80	1 700	444	180	744	0	0	784	2 632	1 386
	Pacajus	415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	26	0	0	136	448	11
	TOTAL	3 764	308	120	32	456	212	44	812	292	80	1 732	444	180	770	0	0	920	3 080	1 397
Noroeste Cearense	Coreaú	2 069	1	<1	<1	1	1	<1	4	1	1	20	2	1	8	2 272	5 856	880	2 688	1
	Ibiapaba	5 068	6 632	2 720	436	8 568	5 384	1 528	9 780	7 236	3 860	11 076	9 072	6 132	48	240	624	3 744	10 872	18 294
	Ipu	4 222	1 752	488	<1	2 560	1 356	172	3 132	1 984	736	3 732	2 752	1 580	20	576	1 104	4 256	13 136	7 176
	Litoral de Camocim e Acaraú	8 648	2 692	436	96	7 548	2 384	312	12 440	5 936	1 640	19 456	11 832	5 444	46	2 752	6 128	5 296	11 272	19 209
	Meruoca	288	64	20	8	132	60	20	168	112	44	192	156	100	1	0	0	8	32	48
	Santa Quitéria	6 018	40	8	2	92	24	4	144	56	8	240	120	32	8	2 896	7 552	2 104	6 280	339
	Sobral	8 222	44	8	4	408	24	8	972	68	16	2 416	572	28	60	10 032	24 560	5 600	14 304	3 619
	TOTAL	34 535	11 225	3 680	546	19 309	9 233	2 044	26 640	15 393	6 305	37 132	24 506	13 317	191	18 768	45 824	21 888	58 584	48 686
Norte Cearense	Baixo Curu	1 438	1 228	392	68	1 660	668	116	2 064	912	192	2 476	1 340	344	34	0	0	904	1 864	1 774
	Baturité	2 696	16	8	4	32	16	8	60	20	12	108	32	16	16	0	0	1 248	4 784	118
	Canindé	5 331	104	24	8	296	60	16	468	164	28	808	364	84	24	752	2 848	2 864	11 920	974
	Cascavel	2 530	804	140	36	1 652	456	76	3 036	1 024	204	5 852	2 456	756	14	0	0	1 024	2 560	3 198
	Chorozinho	1 290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1 176	3 296	0
	Itapipoca	3 721	956	320	128	2 524	856	268	6 064	1 948	620	9 096	5 792	1 916	22	2 352	5 456	2 144	4 928	13 014
	Médio Curu	3 011	1	<1	0	2	<1	0	4	<1	0	20	1	<1	10	336	896	3 176	10 184	10
	Uruburetama	1 047	20	8	4	32	20	8	40	24	12	108	32	20	10	3	8	680	1 976	111
	TOTAL	21 064	3 129	892	248	6 198	2 076	492	11 736	4 092	1 068	18 468	10 017	3 136	138	3 443	9 208	13 216	41 512	19 199
Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	12 831	560	56	8	1 140	292	20	1 856	652	68	4 036	1 260	356	38	8 416	18 048	15 512	39 728	8 477
	Sertão de Inhamuns	11 693	168	20	1	736	88	4	2 180	220	24	6 156	1 208	120	20	3 968	11 936	8 816	32 184	13 945
	Sertão de Quixeramobim	11 940	12	2	<1	48	4	1	104	12	1	288	52	4	32	336	1 328	10 048	37 728	347
	Sertão de Senador Pompeu	9 787	40	8	<1	136	16	4	348	44	4	1 084	180	16	20	576	1 792	5 760	26 120	1 217
	TOTAL	46 251	780	86	9	2 060	400	29	4 488	928	97	11 564	2 700	496	110	13 296	33 104	40 136	135 760	23 986
Sul Cearense	Barro	2 647	32	4	<1	120	8	1	308	24	2	624	80	4	10	0	0	1 248	4 984	630
	Brejo Santo	1 952	4	2	<1	20	4	1	60	4	1	320	12	4	12	32	80	1 064	3 680	480
	Cariri	4 550	68	12	4	304	32	8	1 132	72	12	3 252	392	32	90	5 904	15 824	5 032	13 160	5 404
	Caririaçu	1 301	0	0	0	1	0	0	8	0	0	48	0	0	6	1	4	232	1 136	19
	Chapada do Araripe	4 442	4 120	688	88	7 364	2 592	348	9 016	5 012	1 140	10 512	7 844	3 412	10	16	64	5 440	12 616	22 353
	TOTAL	14 892	4 224	706	92	7 809	2 636	358	10 524	5 112	1 155	14 756	8 328	3 452	128	5 953	15 972	13 016	35 576	28 886
TOTAL DO ESTADO DO CEARÁ *STATE OF CEARÁ TOTAL*		148 894	23 144	6 504	1 097	41 770	17 173	3 327	62 183	30 582	10 085	94 274	53 164	24 481	1 455	52 836	140 716	112 744	335 800	137 256

TABELA 7.4 .
TABLE 7.4 .

Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Território [km²] *Territory [km²]*	Produção de Energia Anual Esperada [GWh] / *Expected Annual Energy Yield [GWh]*																	
			Altura do Aproveitamento Eólico *Wind Resource Height*											Tipo de Terreno para Aproveitamento Solar *Type of Terrain for Solar Resource*						Interseção dos Potenciais Solar e Eólico *Intersection of Solar and Wind Resource*
			80 m de altura *80 m height*			100 m de altura *100 m height*			120 m de altura *120 m height*			150 m de altura *150 m height*			Urbano (Distribuído) *Urban (Distributed)*	Não Urbano / *Non-urban* (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) *(Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
																Terreno Degradado *Degraded Areas*		Terreno Não Degradado *Non-degraded Areas*		
			>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s	>7,0 m/s	>7,5 m/s	>8,0 m/s		Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	Plano *Flat*	Suave Ondulado *Slightly Undulating*	
Centro-Sul Cearense	Iguatu	4 763	317	57	7	485	90	10	697	155	16	1 010	257	24	45	2 456	6 789	5 003	16 865	745
	Lavras da Mangabeira	1 358	3	0	0	4	0	0	4	1	0	5	1	0	8	306	1 385	1 680	5 526	0
	Várzea Alegre	3 824	8	2	1	18	2	1	41	5	2	145	15	2	24	112	514	2 341	9 572	32
	TOTAL	9 945	328	59	8	507	92	11	742	161	18	1 160	273	26	77	2 874	8 688	9 024	31 963	777
Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	9 946	1	0	0	1 217	1	0	4 797	376	0	12 001	3 931	44	68	4 983	16 320	20 664	44 171	13 719
	Litoral de Aracati	2 144	11 945	3 796	660	19 974	10 186	1 458	24 476	18 642	5 904	27 998	25 695	17 084	20	0	0	3 264	5 963	20 104
	Médio Jaguaribe	4 305	4	1	0	5	1	0	6	2	0	10	3	0	18	9 494	30 398	2 741	9 380	6
	Serra do Pereiro	2 048	440	197	69	635	283	100	888	381	135	1 329	544	198	7	1 005	3 756	1 963	6 661	895
	TOTAL	18 443	12 390	3 994	729	21 831	10 471	1 558	30 167	19 401	6 039	41 338	30 173	17 326	113	15 482	50 474	28 632	66 175	34 724
Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	3 349	1 166	489	140	1 724	876	202	3 011	1 219	369	6 258	1 855	809	1 067	0	0	1 161	3 905	3 036
	Pacajus	415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	38	0	0	190	641	23
	TOTAL	3 764	1 166	489	140	1 724	876	202	3 011	1 219	369	6 366	1 855	809	1 105	0	0	1 351	4 546	3 059
Noroeste Cearense	Coreaú	2 069	3	2	1	5	2	2	9	3	2	65	7	3	11	3 421	8 819	1 312	4 007	2
	Ibiapaba	5 068	23 876	10 557	1 869	32 280	21 410	6 517	38 322	29 648	16 630	45 388	38 583	27 246	75	399	990	6 145	17 803	45 325
	Ipu	4 222	6 148	1 837	1	9 375	5 273	711	11 851	7 927	3 107	14 706	11 358	6 844	28	927	1 761	6 457	19 850	17 360
	Litoral de Camocim e Acaraú	8 648	9 636	1 765	413	27 780	9 555	1 367	47 324	24 272	7 194	76 813	49 901	24 414	68	4 159	9 250	7 869	16 753	43 640
	Meruoca	288	225	82	26	481	240	80	638	450	192	778	646	426	1	0	0	8	49	113
	Santa Quitéria	6 018	130	27	8	321	88	20	518	208	41	882	472	132	11	4 447	11 620	3 165	9 475	775
	Sobral	8 222	144	37	11	1 335	88	26	3 270	262	60	8 343	2 159	129	89	15 652	38 241	8 655	21 859	7 966
	TOTAL	34 535	40 162	14 307	2 329	71 577	36 656	8 723	101 932	62 770	27 226	146 975	103 126	59 194	283	29 005	70 681	33 611	89 796	115 181
Norte Cearense	Baixo Curu	1 438	4 553	1 575	307	6 213	2 693	510	7 800	3 721	859	9 526	5 492	1 538	51	0	0	1 355	2 794	4 030
	Baturité	2 696	68	40	22	114	62	38	223	82	52	402	131	73	23	0	0	1 832	7 002	252
	Canindé	5 331	361	89	28	1 036	238	66	1 687	630	120	2 971	1 446	360	38	1 173	4 446	4 327	17 978	2 202
	Cascavel	2 530	2 898	572	164	6 045	1 835	332	11 259	4 162	907	22 070	10 097	3 350	21	0	0	1 519	3 811	7 132
	Chorozinho	1 290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	1 751	4 894	0
	Itapipoca	3 721	3 556	1 325	577	9 376	3 529	1 199	22 507	8 043	2 779	35 709	23 939	8 593	35	3 673	8 512	3 257	7 498	28 649
	Médio Curu	3 011	3	1	0	6	1	0	11	2	0	66	4	1	16	518	1 415	4 828	15 464	21
	Uruburetama	1 047	77	38	15	114	74	33	157	98	61	391	142	91	14	4	12	1 022	2 966	245
	TOTAL	21 064	11 516	3 640	1 113	22 904	8 432	2 178	43 644	16 738	4 778	71 135	41 251	14 006	209	5 368	14 385	19 891	62 407	42 531
Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	12 831	1 877	214	26	3 930	1 087	81	6 493	2 487	284	14 219	4 896	1 477	56	13 334	28 568	23 556	60 246	18 243
	Sertão de Inhamuns	11 693	570	81	3	2 460	326	24	7 337	838	93	21 253	4 576	500	30	6 222	18 751	13 734	50 135	29 879
	Sertão de Quixeramobim	11 940	44	7	1	154	19	2	347	42	4	978	190	14	47	527	2 081	15 150	56 728	747
	Sertão de Senador Pompeu	9 787	139	24	1	454	68	9	1 165	163	21	3 710	682	74	30	913	2 864	9 060	41 028	2 664
	TOTAL	46 251	2 630	326	31	6 998	1 500	116	15 342	3 530	402	40 160	10 344	2 065	163	20 996	52 264	61 500	208 137	51 533
Sul Cearense	Barro	2 647	99	11	2	383	34	4	1 015	80	7	2 121	293	16	15	0	0	2 064	8 265	1 433
	Brejo Santo	1 952	19	7	2	59	9	4	190	15	6	1 053	44	9	20	43	121	1 753	6 073	1 052
	Cariri	4 550	231	44	16	1 005	127	28	3 759	280	47	11 021	1 481	131	147	9 179	24 594	8 043	20 869	11 724
	Caririaçu	1 301	0	0	0	4	0	0	26	0	0	161	0	0	9	1	6	372	1 843	42
	Chapada do Araripe	4 442	14 119	2 617	370	26 073	9 906	1 454	33 231	19 529	4 769	40 672	31 510	14 485	15	22	115	8 779	20 309	53 097
	TOTAL	14 892	14 468	2 679	390	27 524	10 076	1 490	38 221	19 904	4 829	55 028	33 328	14 641	206	9 245	24 836	21 011	57 359	67 348
TOTAL DO ESTADO DO CEARÁ *STATE OF CEARÁ TOTAL*		148 894	82 660	25 494	4 740	153 065	68 103	14 278	233 059	123 723	43 661	362 162	220 350	108 067	2 156	82 970	221 328	175 020	520 383	315 153

Additionally, the subsequent session summarizes the main characteristics of each one of the mesoregions of Ceará. The coastal region and the sierra regions of the interior of Ceará stand out for the exploitation of the wind resource, with potential for the development of competitive projects on the national scenario. With reference to the solar power resource, it is emphasized the average horizontal global irradiation value higher than 2 000 kWh/m² in the State, equivalent to 5,48 kWh/m²/day, enough for the development of economically competitive projects of solar power generation, both distributed, urban or rural, and centralized.

7.1.1 NOROESTE CEARENSE

The Noroeste Cearense *mesoregion encompasses part of* Serra da Ibiapaba*, to the West, part of the west coast, to the North, and part of the* Depressão Sertaneja*, to the South. The* Serra da Ibiapaba *features a complex terrain, with average heights around 750 m, covered mostly by* carrasco *vegetation. The west coast of Ceará is located on low elevations and it is covered by the vegetation complex of the coastal zone, characterized by the joint presence of* caatinga*,* cerrado*, and* restinga*. The* Depressão Sertaneja *is formed by the natural domain of the backlands, with predominant vegetation of* caatinga *(arboreal and open)*[4],[5].

The Noroeste Cearense *mesoregion presents the greatest wind resource of the State. Within it, the* Litoral de Camocim e Acaraú *microregion has a resource of 19,5 GW at 150 m height, followed by the* Ibiapaba *microregion, with 11,1 GW. The latter has a lower estimated resource due to the greater proportion of areas with restrictions and, consequently, less area suitable for the installation of wind power plants (Map 6.3), in spite of presenting higher average annual wind speeds that exceed 10 m/s in higher elevations, at a height of 150 m.*

In the sierras of the Ibiapaba *microregion, GHI values above 2 100 kWh/m²/year are observed. The* Sobral *microregion is the one that has, on the other hand, the greatest installable solar capacity of the mesoregion, around 54,6 GW$_p$, due to the greater extension of suitable areas.*

The Noroeste Cearense *mesoregion has a total of approximately 37 GW of installable wind capacity at 150 m height, and 145,2 GW$_p$ of installable solar capacity, accounting for the distributed and centralized generations.*

pela FUNCEME[3]. Adicionalmente, é apresentado o potencial das áreas aptas para o desenvolvimento de projetos híbridos eólico e solar, considerando ventos com velocidades maiores que 7,0 m/s a 150 m de altura e áreas aptas para projetos solares.

De maneira complementar, a seção subsequente resume as principais características de cada uma das mesorregiões cearenses. Destacam-se para o aproveitamento do potencial eólico a região litorânea e as regiões de serra no interior do Ceará, com potencial de desenvolvimento de projetos competitivos no cenário nacional. Com referência ao recurso solar, ressalta-se o valor de irradiação global horizontal médio superior a 2 000 kWh/m²/ano no Estado, equivalente a 5,48 kWh/m²/dia, suficiente para o desenvolvimento de projetos economicamente competitivos de geração solar, tanto distribuída, urbana ou rural, como centralizada.

7.1.1 Noroeste Cearense

A mesorregião Noroeste Cearense engloba parte da Serra da Ibiapaba, a oeste, parte do litoral oeste, ao norte, e parte da Depressão Sertaneja, ao sul. A Serra da Ibiapaba apresenta terreno complexo, com altitudes médias em torno de 750 m, coberta predominantemente por vegetação de carrasco. O litoral oeste do Ceará situa-se sobre baixas elevações e é coberto pelo complexo vegetacional da zona litorânea, caracterizado pela presença conjunta de caatinga, cerrado e restinga. A Depressão Sertaneja é formada pelo domínio natural dos sertões, com vegetação predominante da caatinga (arbórea e aberta)[4],[5].

A mesorregião Noroeste Cearense apresenta o maior potencial eólico do Estado. Dentro da mesma, a microrregião do Litoral de Camocim e Acaraú tem potencial de 19,5 GW a 150 m de altura, seguida pela microrregião de Ibiapaba, com 11,1 GW. Esta última teve menor potencial estimado em decorrência da maior proporção de áreas de restrições, e, consequentemente, menor área apta à instalação de usinas eólicas (Mapa 6.3), a despeito de apresentar maiores velocidades médias anuais de vento, que ultrapassam 10 m/s nas maiores elevações do terreno, a 150 m de altura.

Nas serras da microrregião de Ibiapaba, observam-se valores de GHI acima de 2 100 kWh/m²/ano. A microrregião de Sobral é a que possui, por outro lado, a maior capacidade instalável solar da mesorregião, em torno de 54,6 GW$_p$, devido à maior extensão de áreas aptas.

A mesorregião Noroeste Cearense apresenta um total de cerca de 37 GW de capacidade instalável eólica a 150 m de altura, e 145,2 GW$_p$ de potência instalável solar, contabilizando as gerações distribuída e centralizada.



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 7.3 Parques Eólicos na microrregião de Litoral de Camocim e Acaraú.
FIGURE 7.3 *Wind Parks in the Litoral de Camocim e Acaraú microregion.*



FIGURA 7.4 Microrregião de Ibiapaba, município de Tianguá.
FIGURE 7.4 *Ibiapaba microregion, municipality of Tianguá.*



FIGURA 7.5 Área de potencial solar e eólico na microrregião de Ipu.
FIGURE 7.5 *Area of wind and solar power potential in Ipu microregion.*



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 7.6 Microrregião de Sobral.
FIGURE 7.6 *Sobral Microregion.*

7.1.2 Norte Cearense e Metropolitana de Fortaleza

Essas duas compreendem o litoral central do Ceará, que abriga a área mais populosa[6], formada por terreno predominantemente aplainado, de baixas altitudes e coberto por complexo vegetacional típico da zona litorânea[4]. As mesorregiões Norte Cearense e Metropolitana de Fortaleza também abrangem parte da Depressão Sertaneja, pontuada com maciços residuais e contendo serras úmidas e secas, tais como a Serra da Aratanha, o Maciço de Baturité e o Maciço de Uruburetama, onde estão as maiores variações topográficas. As vegetações predominantes são a caatinga arbustiva densa, na Depressão Sertaneja, e as matas úmidas e secas, nas regiões serranas[5].

Nas áreas mais elevadas da mesorregião Norte Cearense, observam-se valores de velocidade média anual do vento que excedem 11 m/s, a 150 m de altura. Dentro dessa mesorregião, a microrregião de Itapipoca apresenta o maior potencial, a 150 m de altura, para instalação de empreendimentos eólicos, estimado em 9,1 GW, seguida pela microrregião de Cascavel, com 5,8 GW. O potencial solar da microrregião de Fortaleza é o mais atrativo para exploração urbana, estimado em cerca de 744 MW_p, enquanto o potencial mais atrativo para exploração não urbana é o da microrregião de Itapipoca, estimado em, aproximadamente, 14,9 GW_p.

Somadas, as mesorregiões Norte Cearense e Metropolitana de Fortaleza possuem potencial previsto de 20,2 GW para exploração eólica, a 150 m de altura, e de 72,3 GW_p para a exploração solar.

7.1.2 NORTE CEARENSE AND METROPOLITANA DE FORTALEZA

These two mesoregions comprise the central coast of Ceará, which houses the most populated area[6], formed by predominantly leveled terrain, with low altitudes and covered by a vegetation complex typical of the coastal zone[4]. The Norte Cearense *and* Metropolitana de Fortaleza *mesoregions also cover part of the* Depressão Sertaneja*, with residual massifs and containing humid and dry sierras, such as the* Serra da Aratanha *("Aratanha Sierra"),* Maciço de Baturité *and* Serra de Uruburetama *("Uruburetama Massif"), where the greatest topographic variations can be found. The predominant vegetations are the dense shrubby* caatinga*, in the* Depressão Sertaneja*, and humid and dry forests, in the mountainous regions[5].*

In higher areas of the Norte Cearense *mesoregion, the annual average wind speed values exceed 11 m/s, at a height of 150 m. Within this mesoregion, the* Itapipoca *microregion has the greatest potential, at 150 m height, for the installation of wind power projects, estimated in 9,1 GW, followed by the* Cascavel *microregion, with 5,8 GW. The solar resource of the* Fortaleza *microregion is the most attractive for urban exploitation, estimated at approximately 744 MW_p, whereas the most attractive potential for non-urban exploitation is the one of the* Itapipoca *microregion, estimated at approximately 14,9 GW_p.*

Altogether, the Norte Cearense *and* Metropolitana de Fortaleza *mesoregions have an estimated potential of 20,2 GW for wind power exploitation, at a height of 150 m, and of 72,3 GW_p for solar power exploitation.*



FIGURA 7.7 Parque eólico na microrregião de Itapipoca.
FIGURE 7.7 *Wind park in the Itapipoca microregion.*

7.1.3 SERTÕES CEARENSES

The Sertões Cearenses *mesoregion is formed, in its majority, by semi-arid areas subject to the severe effects of drought, with low rainfall rates and predominant vegetation of* cerrado *and* caatinga. *In the far West, lies* Serra Grande *and, at the central most area, there are residual massifs, with the presence of rugged terrain and high elevations*[5]. *The highest annual average wind speeds are observed in the mountainous regions of the* Crateús *and* Inhamuns *microregions, featuring locations with values exceeding 9 m/s, at 150 m height. The* Sertão de Inhamuns *microregion is the one that has the greatest wind resource, of approximately 6 GW, followed by the* Sertão de Crateús *microregion, with 4 GW. The total wind installable capacity of the entire mesoregion is of 11,6 GW, at a height of 150 m.*

Coincidentally, the highest GHI values of the mesoregion are also observed in the Sertão de Inhamuns *and the* Sertão de Crateús *microregions, with peaks of 2 100 kWh/m²/year. The* Sertão de Crateús *presents the greatest potential for the installation of solar power projects, estimated in 81,7 GW_p, corresponding to 37% of 222,4 GW_p, which is the estimated total of the* Sertões Cearense *mesoregion.*

7.1.4 JAGUARIBE

The Jaguaribe *mesoregion comprises the East end of the Ceará coast, the* Chapada do Apodi *and part of the* Planície Sertaneja *("Southern Plain"). On the coast, formed by the coastal tablelands and the vegetation complex of the coastal zone*[4],[5], *the greatest wind power resource is observed, estimated in 6,6 GW, at 150 m height. In this area, the highest wind speeds take place, with annual average values above 9 m/s, at a height of 150 m, in places of greatest resource.*

Just south of the coast, bounded by the Litoral de Aracati *microregion, lies the* Baixo Jaguaribe *microregion, which encompasses almost the entire Ceará's portion of* Chapada do Apodi, *featuring a predominantly plain relief, covered mostly by dense and arboreal shrubby* caatinga[5]. *In this microregion, the greatest solar power potential is observed, estimated in approximately 54,3 GW_p, resulting from the greater amount of suitable areas available. However, it is at the* Médio Jaguaribe *and the* Serra do Pereiro *microregions that the highest GHI values are observed, with averages higher than 2 100 kWh/m²/year. The wind and solar resources of the mesoregion total approximately 10,3 GW, at 150 m height, and 100,7 GW_p, respectively.*

7.1.3 Sertões Cearenses

A mesorregião dos Sertões Cearenses é formada, em sua maioria, por áreas semiáridas sujeitas a severos efeitos de seca, com baixos índices pluviométricos e vegetação predominante de cerrado e caatinga. No extremo oeste, situa-se a Serra Grande e, na área mais central, situam-se maciços residuais, com presença de relevo acidentado e altas elevações[5]. As maiores velocidades médias anuais do vento são observadas nas regiões serranas das microrregiões de Crateús e Inhamuns, apresentando locais com valores superiores a 9 m/s, a 150 m de altura. A microrregião do Sertão de Inhamuns é a que tem o maior potencial eólico, de aproximadamente 6 GW, seguido pela microrregião do Sertão de Cratéus, com 4 GW. A capacidade eólica total de toda a mesorregião é de 11,6 GW, a 150 m de altura.

Coincidentemente, os valores mais altos de GHI da mesorregião são também observados nas microrregiões do Sertão de Inhamuns e do Sertão de Crateús, com picos de 2 100 kWh/m²/ano. O Sertão de Crateús apresenta maior potencial para a instalação de empreendimentos solares, estimado em 81,7 GW_p, correspondendo a 37% do montante de 222,4 GW_p, estimado total da mesorregião dos Sertões Cearenses.



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 7.8 Área de potencial eólico em Iporanga, microrregião do Sertão de Crateús.

FIGURE 7.8 *Area of wind power potential in Iporanga, Sertão de Crateús microregion.*



7.1.4 Jaguaribe

A mesorregião de Jaguaribe compreende a extremidade leste do litoral Cearense, a Chapada do Apodi e parte da Planície Sertaneja. No litoral, formado pelos tabuleiros costeiros e o complexo vegetacional da zona litorânea[4],[5], é observado o maior potencial eólico, estimado em 6,6 GW, a 150 m de altura. Nesta área ocorrem as maiores velocidades de vento, com valores médios anuais acima de 9 m/s, a 150 m de altura, nos locais de maior potencial.

Logo ao sul do litoral, delimitado, por sua vez, pela microrregião do Litoral de Aracati, localiza-se a microrregião do Baixo Jaguaribe, que engloba a quase totalidade cearense da Chapada do Apodi, de relevo predominantemente plano e coberto, majoritariamente, por caatinga arbustiva densa e arbórea[5]. Nesta microrregião, observa-se o maior potencial solar, avaliado em aproximadamente 54,3 GW_p, resultante da maior quantidade de áreas aptas disponíveis. Contudo, são nas microrregiões do Médio Jaguaribe e da Serra do Pereiro que os maiores valores de GHI são observados, com média superior a 2 100 kWh/m²/ano. Os potenciais eólico e solar da mesorregião somam cerca de 10,3 GW a 150 m de altura e 100,7 GW_p, respectivamente.

FIGURA 7.9 Aproveitamento solar fotovoltaico no complexo comercial turístico em Canoa Quebrada.

FIGURE 7.9 *Photovoltaic solar project in the commercial tourist complex in Canoa Quebrada.*

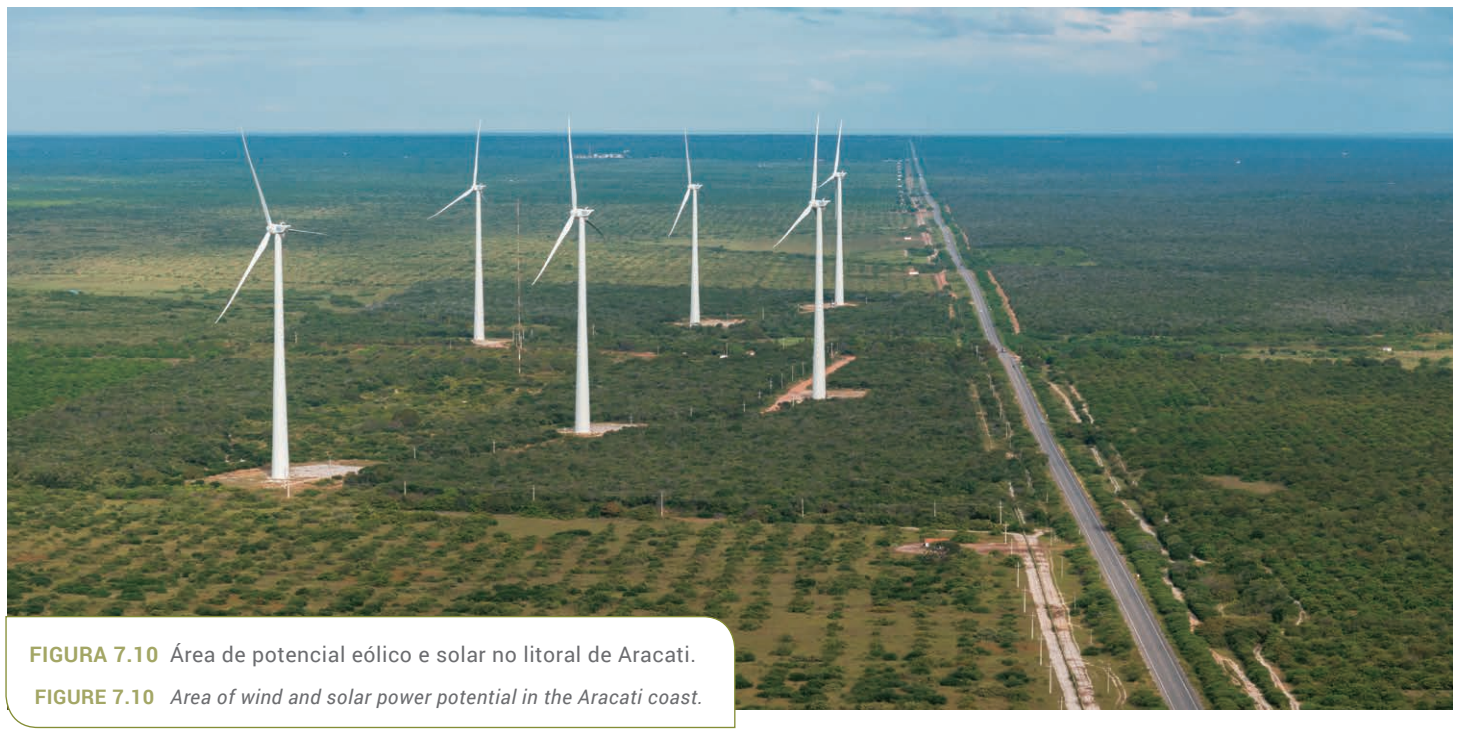


FIGURA 7.10 Área de potencial eólico e solar no litoral de Aracati.
FIGURE 7.10 *Area of wind and solar power potential in the Aracati coast.*

7.1.5 Centro-Sul e Sul Cearense

As mesorregiões Centro-Sul e Sul Cearense abrangem a Chapada do Araripe, ao sul, pequenas regiões serranas, ao centro, e partes da Depressão Sertaneja, nas demais áreas. Na Chapada do Araripe, as altitudes médias superam os 700 m e predomina a vegetação de carrasco[5]. A microrregião da Chapada do Araripe, dentro da mesorregião Sul, responde por cerca de 70% do potencial eólico das duas mesorregiões juntas, com 10,5 GW de potência passível de ser explorada por empreendimentos eólicos, calculados a 150 m de altura. A microrregião do Cariri, também dentro da mesorregião Sul, possui o maior potencial solar das duas mesorregiões, com cerca de 40,0 GW_p.

Em termos de velocidade do vento a 150 m de altura, a microrregião da Chapada do Araripe apresenta médias anuais que ultrapassam 9 m/s nos locais mais promissores. Já os maiores valores de irradiação global horizontal são observados no extremo leste da microrregião de Barro, a leste da mesorregião Sul Cearense, com médias anuais maiores que 2 100 kWh/m²/ano.

Somadas essas duas mesorregiões, o potencial eólico totaliza 15,1 GW a 150 m de altura, e o potencial solar, 102,9 GW_p.



FOTOS/*PHOTOS*: ZIG KOCH

FIGURA 7.11 Área de potencial solar em Iguatu.
FIGURE 7.11 *Area of solar power potential in Iguatu.*



FIGURA 7.12 Área de potencial solar e eólico na região de Salitre, Chapada do Araripe.
FIGURE 7.12 *Area of solar and wind power potential in the Salitre region, Chapada do Araripe.*



FIGURA 7.13 Área de potencial solar próximo à subestação de Milagres, na Mesorregião Sul Cearense.
FIGURE 7.13 *Area of solar power potential next to the Milagres substation, in the Sul Cearense mesoregion.*

7.1.5 CENTRO-SUL CEARENSE AND SUL CEARENSE

The Centro-Sul Cearense *and* Sul Cearense *mesoregions encompass the* Chapada do Araripe, *to the South, small mountainous regions, at the center, and parts of the* Depressão Sertaneja, *in other areas. In the* Chapada do Araripe, *the average heights surpass 700 m and the* carrasco *vegetation is predominant*[5]. *The* Chapada do Araripe *microregion, within the* Sul Cearense *mesoregion, accounts for approximately 70% of the wind power resource of these two mesoregions together, with 10,5 GW of installable capacity likely of being explored by wind power projects, calculated at 150 m height. The* Cariri *microregion, also within the* Sul Cearense *mesoregion, has the greatest solar resource of the two mesoregions, with approximately 40,0* GW_p.

In terms of wind speed at 150 m height, the Chapada do Araripe *microregion presents annual averages that exceed 9 m/s at the most promising locations. On the other hand, the highest horizontal global irradiation values are observed at the extreme East of the* Barro *microregion, to the East of the* Sul Cearense *mesoregion, with annual averages greater than 2 100 kWh/m²/year.*

Adding both mesoregions, the wind resource totals 15,1 GW at 150 m height, and the solar power potential, 102,9 GW_p.

7.2 ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO *OFFSHORE* DO CEARÁ

Além da elevada velocidade do vento ao longo de todo o litoral, o Ceará possui extensa plataforma continental, variando entre 40 e 100 km de largura para profundidades entre 5 e 50 metros. Essas características colocam o potencial eólico *offshore* do Ceará em posição de destaque no cenário mundial.

O potencial eólico *offshore* foi calculado considerando as premissas estabelecidas no Capítulo 5. Os Mapas 6.1.15 e 6.1.16 apresentam a distribuição espacial desse potencial, para as alturas de 100 m e 150 m, respectivamente. Por fim, as tabelas da Figura 7.14 apresentam o potencial detalhado por faixas de profundidade e por distância da linha de costa. Observa-se que mesmo considerando distâncias maiores que 20 km da linha costeira, suficientes para reduzir o impacto visual dos aerogeradores a partir das praias cearenses, o potencial ainda é de grandes proporções, superior a 60 GW de capacidade instalável, com geração de energia estimada em mais de 270 TWh/ano, o que equivale a mais de 5 vezes o total da geração eólica brasileira em 2018[7].

É importante enfatizar que esse vasto potencial já foi observado pelo setor acadêmico e por pesquisas de empresas especializadas do setor. Existem vários trabalhos científicos que destacam a importância dos ventos do litoral cearense e do nordeste brasileiro[8],[9]. Do mesmo modo, há projetos pioneiros, tais como os Complexos Eólicos Marítimos Asa Branca e Caucaia, já em fase de solicitação de outorga junto à ANEEL. O projeto Asa Branca, em especial, já solicitou o licenciamento ambiental junto ao IBAMA[10]. Considerando que projetos dessa natureza requerem elevados montantes de investimentos, ressalta-se a importância de medições anemométricas *offshore* para o estudo desse potencial em diferentes regimes horários e mensais, subsidiando estimativas de produção energética confiáveis e, consequentemente, viabilizando e melhorando as condições de financiamento.

O potencial *offshore* do Ceará é beneficiado pela reduzida profundidade do mar territorial e pelos valores elevados de velocidade do vento ao longo da costa. Os perfis horários e mensais de fator de capacidade bruto para três regiões do Estado, calculados a partir dos dados de modelagem, indicam que o litoral de Camocim apresenta valores mais elevados de fator de capacidade, com um aumento no período da tarde e início da noite. No litoral de Pecém, os dados indicam uma geração uniforme ao longo do dia durante todo o ano. No litoral de Icapuí, os valores de fator de capacidade bruto são maiores no início da madrugada e final da tarde e noite, ao passo que o menor potencial de geração ocorre no período próximo ao meio dia dos meses de março e abril. Essa diminuição está relacionada ao aumento da precipitação na região, reduzindo sensivelmente a velocidade do vento tanto em terra como no mar. Os perfis batimétricos nessas três regiões, localizadas ao longo da costa, são apresentados na Figura 7.14, mostrando que em algumas regiões a cota batimétrica é menor que 50 m por mais de 60 km de distância da costa. Considerando todo o mar territorial e zona contígua, isto é, 24 milhas náuticas da linha da costa (cerca de 44 km), calcula-se 117 GW de potência passível de ser instalada por empreendimentos eólicos *offshore*. O potencial tende a crescer dezenas de vezes caso seja considerada toda a zona econômica e exclusiva ao longo do litoral cearense. Porém, a maior profundidade, os custos de instalação, operação e manutenção, e as perdas por transmissão dificilmente justificariam a exploração do recurso em águas mais profundas, ou seja, fora da plataforma continental, a qual apresenta grande extensão, baixa profundidade e ventos favoráveis ao aproveitamento *offshore*.

A exploração do potencial eólico *offshore* está condicionada à adequação e aprimoramento da infraestrutura portuária para receber a cadeia de suprimentos e logística desta indústria. Nesse contexto, o Complexo Industrial Portuário do Pecém pode se tornar uma referência nacional do setor eólico *offshore* com a instalação de fábricas de torres e pás, base para embarcações, navios e balsas para montagem e manutenção. Outra questão importante a se observar para um planejamento de expansão para a produção *offshore* é a necessidade de garantia de conexão ao SIN ou à rede de distribuição, com capacidade de escoamento da energia gerada, que pode incentivar o desenvolvimento e implantação de novas linhas de transmissão e subestações ao longo do litoral Cearense.

7.3 COMPLEMENTARIDADE ENTRE OS POTENCIAIS EÓLICOS E FOTOVOLTAICOS

O potencial energético oriundo das fontes eólica e solar no Ceará pode ser organizado em quatro classes distintas de geração de energia, de acordo com o perfil diurno e mensal de produção energética esperado: **(a)** o potencial eólico do litoral oeste, que apresenta melhor desempenho no período diurno entre julho e janeiro; **(b)** o potencial eólico em áreas do interior, também com melhor desempenho entre julho e janeiro, porém com ventos mais intensos no período noturno; **(c)** o potencial solar, naturalmente com desempenho diurno e sujeito a pequena variação ao longo dos meses e; **(d)** o potencial eólico do litoral leste, com maior desempenho noturno entre junho e fevereiro, e maior desempenho diurno entre julho e outubro.

Uma eventual expansão da capacidade instalada de geração no Estado deve combinar esses quatro perfis distintos, parcialmente complementares entre si, para atender de forma parcial ou integral ao perfil de demanda (ou a qualquer outro paradigma) definido pelas instâncias planejadoras.

Na Figura 7.15, simula-se qualitativamente as sazonalidades de uma usina hipotética com 4 MW de capacidade instalada, sendo **(a)** 1 MW em capacidade eólica no litoral oeste, **(b)** 1 MW em eólica no interior do Estado, **(c)** 1 MW em eólica no litoral leste e **(d)** 1 MW em geração solar. Naturalmente, tal proporção é apenas um exemplo e pode ser variada. Não obstante, pode-se concluir que: **(i)** os picos de produção de energia do complexo eólico-solar cearense serão esperados para o período diurno, entre os meses de agosto e fevereiro; **(ii)** os períodos de menor produção de energia ocorrerão à noite, entre fevereiro e junho.

O aproveitamento da complementaridade horária entre as fontes eólica-eólica e eólica-solar dependerá de outros fatores, tais como tecnologias de armazenamento, aspectos regulatórios de comercialização, viabilidade técnica e econômica de transmissão, geração e distribuição, e uso de outras fontes da matriz energética. Considerando um cenário hipotético futuro no qual as tarifas de energia seriam precificadas de modo horário, cenário este já sinalizado por recentes estudos do MME[11], os diferentes perfis de geração eólica, combinados com a geração solar, poderiam beneficiar o desenvolvimento de novos projetos de geração em diferentes regiões do Estado. A complementaridade poderia impactar positivamente na tarifa de energia, incentivando novos investimentos na cadeia produtiva do Ceará e a exportação de energia.

7.2 Analysis of the Offshore Wind Resource of Ceará

In addition to the high wind speeds along the entire coast, Ceará has an extensive continental shelf, ranging between 40 and 100 km in width and depths between 5 and 50 meters. These characteristics place the offshore wind resource of Ceará in a prominent position on the world scenario.

The offshore wind resource was calculated considering the assumptions established in Chapter 5. Maps 6.1.15 and 6.1.16 show the spatial distribution of this potential, for heights of 100 m and 150 m, respectively. Finally, the tables in Figure 7.14 show the potential detailed by depth ranges and distance from the coast line. It should be noted that even considering distances greater than 20 km from the coast line, which is enough to reduce the visual impact created by the wind turbines from Ceará beaches, the potential is still of great proportions, exceeding 60 GW of installable capacity, with energy yield estimated at more than 270 TWh/year, which is equivalent to more than 5 times the total Brazilian wind power generation in 2018[7].

It is important to emphasize that this vast potential has already been observed by the academic sector and by researches performed by companies specialized in the sector. There are several scientific studies that highlight the importance of winds of Ceará coast and the Brazilian Northeast[8],[9]. Similarly, there are pioneering projects, such as the Asa Branca and Caucaia Maritime Wind Power Complexes, already at the stage of requesting concession from ANEEL. The Asa Branca project, in particular, has already requested environmental licensing from IBAMA[10]. Considering that projects of this nature require high investments, it is emphasized the importance of offshore anemometric measurements for the study of this potential under different hourly and monthly regimes, subsidizing reliable power production estimates and, consequently, enabling and improving financing conditions.

The offshore potential of Ceará benefits from the reduced depth of the territorial sea and from the high wind speed values along the coast. The hourly and monthly raw capacity factor profiles for three regions of the State, calculated based on modeling data, indicate that the Camocim coast has higher capacity factor values, with an increase in the afternoon and early evening period. On the coast of Pecém, the data indicate a uniform generation throughout the day during the entire year. On the coast of Icapuí, the raw capacity factor values are higher in the early morning and evening and at night, whereas the smaller generation potential takes place in the period close to noon during the months of March and April. This decrease is related to increased rainfall in the region, substantially reducing wind speed both on land and at sea. The bathymetric profiles in these three regions, located along the coast, are presented in Figure 7.14, showing that in some regions the bathymetric quota is less than 50 m for over 60 km of distance from the coast. Considering all the territorial sea and contiguous zone, i.e., 24 nautical miles from the coast line (approximately 44 km), it is estimated that 117 GW of power can be installed by offshore wind power projects. The resource tends to grow dozens of times if the entire economic and exclusive zone along the Ceará coast is considered. However, the greater depth, the installation, operation, and maintenance costs, and the losses due to transmission would hardly justify the exploitation of the resource in deeper waters, i.e., outside the continental shelf, which features great extension, low depth, and favorable winds for offshore use.

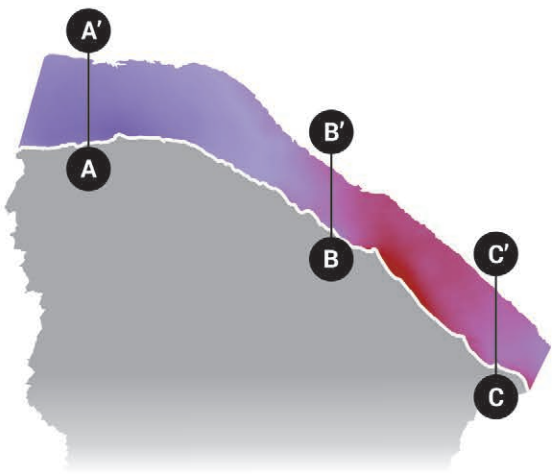
The exploitation of the offshore wind power resource is conditional upon the adequacy and improvement of port infrastructure to receive this industry's supply chain and logistics. In this context, the Industrial and Port Complex of Pecém can become a national reference of the offshore wind power sector with the installation of blade and tower factories, bases for vessels, ships and ferries for assembly and maintenance. Another important issue to observe for an expansion plan for offshore production is the need to guarantee connection to the SIN or to the utility grid, with flow capacity of the energy generated, which may encourage the development and deployment of new transmission lines and substations along the coast of Ceará.

7.3 Complementarity between the Wind and Photovoltaic Resources

*The energy resource from solar and wind sources in Ceará can be arranged into four distinct classes of power generation, according to the expected diurnal and monthly power generation profile: (**a**) the wind resource of the West coast, which presents a better performance in the diurnal period between July and January; (**b**) the wind resource in areas of the interior, also with a better performance between July and January, but with more intense winds in the nightly period; (**c**) the solar resource, naturally with diurnal performance and subject to slight variations over the months and; (**d**) the wind resource of the East coast, with greater nightly performance between June and February, and higher diurnal performance between July and October.*

A possible expansion of the installed generation capacity in the State should merge these four distinct profiles, partially complementary to each other, to meet partially or fully the demand profile (or any other paradigm) defined by planning agencies.

*In Figure 7.15, it is qualitatively simulated the seasonality of a hypothetical power plant with 4 MW of installed capacity, wherein (**a**) 1 MW in wind power capacity on the West coast, (**b**) 1 MW in wind power in the interior of the State, (**c**) 1 MW in wind power in the East coast and (**d**) 1 MW in solar power generation. Naturally, this proportion is only an example and may vary. Nevertheless, it can be concluded that: (**i**) the peaks of power production of the solar-wind power complex of Ceará will be expected for the diurnal period, between the months of August and February; (**ii**) the periods of lower power production will occur at night, between February and June.*



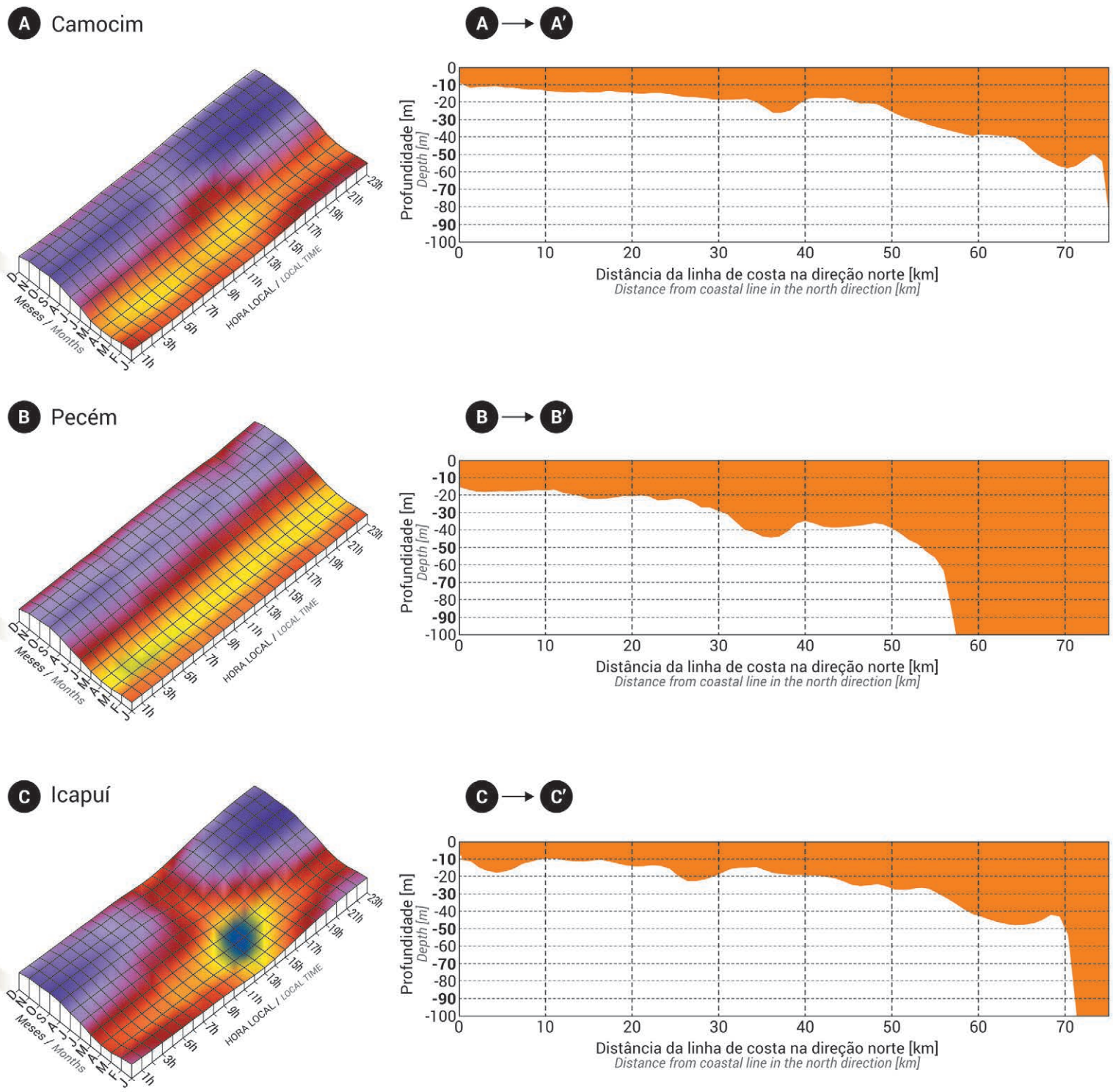


FIGURA 7.14 Geração eólica offshore.

FIGURE 7.14 *Offshore wind power generation.*

Potencial Eólico *Offshore* do Ceará por Profundidade – Integração até 24 milhas náuticas a partir da linha da costa
Offshore Wind Resource of Ceará by Depth – Integration up to 24 nautical miles from shore

				Altura de 100 m / *100-m height*		Altura de 150 m / *150-m height*	
Profundidade [m] *Depth [m]*	Área apta avaliada [km²] *Assessed suitable area [km²]*	Percentual de area apta avaliada [%] *Percentage of assessed suitable area [%]*	Capacidade instalável [GW] *Installable capacity [GW]*	Fator de capacidade anual bruto [%] *Gross annual capacity factor [%]*	Produção de energia líquida [TWh/ano] *Net energy yield [TWh/year]*	Fator de capacidade anual bruto [%] *Gross annual capacity factor [%]*	Produção de energia líquida [TWh/ano] *Net energy yield [TWh/year]*
5 a 10	3 178	16%	19	62%	84,7	63%	87,1
10 a 20	10 084	52%	61	60%	262,4	62%	269,5
20 a 35	5 557	28%	33	59%	141,0	60%	144,8
35 a 50	720	4%	4	58%	18,1	60%	18,6
5 a 50	19 539	100%	117	60%	506,2	62%	520,0

Potencial Eólico *Offshore* do Ceará por Distância da Linha da Costa – Integração entre as batimetrias de 5 m e 50 m
Offshore Wind Resource of Ceará by Distance from Shore – Integration between 5 m and 50 m bathymetry

				Altura de 100 m / *100-m height*		Altura de 150 m / *150-m height*	
Distância da linha da costa [km] *Distance from shore [km]*	Área apta avaliada [km²] *Assessed suitable area [km²]*	Percentual de area apta avaliada [%] *Percentage of assessed suitable area [%]*	Capacidade instalável [GW] *Installable capacity [GW]*	Fator de capacidade anual bruto [%] *Gross annual capacity factor [%]*	Produção de energia líquida [TWh/ano] *Net energy yield [TWh/year]*	Fator de capacidade anual bruto [%] *Gross annual capacity factor [%]*	Produção de energia líquida [TWh/ano] *Net energy yield [TWh/year]*
2 a 10	3 148	16%	19	59%	80,6	61%	83,6
10 a 20	5 896	30%	35	60%	154,1	62%	158,7
20 a 45	10 495	54%	63	60%	271,5	61%	277,7
2 a 45	19 539	100%	117	60%	506,2	62%	520,0

The use of the hourly complementarity between the wind-wind sources and wind-solar sources will depend on other factors, such as storage technologies, regulatory aspects of commercialization, technical and economic transmission feasibility, generation and distribution, and the use of other sources of the energy matrix. Considering a future hypothetical scenario in which energy tariffs would be priced in an hourly mode, a scenario that has already signaled by recent studies by the MME[11], the different wind power generation profiles, combined with solar power generation, could benefit from the development of new generation projects in different regions of the State. The complementarity could positively impact energy tariffs, encouraging new investments in the productive chain of Ceará and the export of energy.

7.4 Distributed Power Generation

Since it entered into force, the ANEEL Normative Resolution No. 482/2012 (amended by RN n° 687/2015), Brazilian consumers can generate their own electricity from renewable sources or qualified co-generation, and provide the surplus for the utility grid of their location, within an electrical energy compensation system. These methods are called, by the Brazilian regulatory body, distributed micro- and mini-generation of electrical energy. ANEEL's initiative is justified by the benefits associated with distributed generation in the electrical system, among them the postponement of investments in the expansion of transmission and distribution systems, low environmental impact, the reduction in power grid loads, the minimization of losses and the diversification of the energy matrix[12]. It is understood that such benefits will lead, in turn, to energy self-sufficiency and a reduction in energy costs to consumers.

7.4.1 DISTRIBUTED WIND POWER GENERATION

Although still little developed in Brazil, the wind power mini- and micro-generators market has grown in recent years, with more than 990 000 small wind turbines installed worldwide[13]. Among the challenges faced by this modality of power generation, there is the lack of knowledge by part of the population about its advantages, high costs, and the uncertainty associated with the wind power resource on urban centers, where there is the presence of obstacles, which, in addition to producing turbulence and reducing wind speeds, are associated with uncertainties due to short-term changes, such as growth of the cities. The most common wind power mini- and micro-generators in a commercial scale, for being more efficient, are those with a horizontal axis with two or three blades, although wind turbines with vertical axis are quieter. Small wind turbines are installed, preferably, on top of buildings, to minimize the impacts of high surface roughness, a characteristic of urban areas.

7.4.2 DISTRIBUTED SOLAR POWER GENERATION

In comparison with the distributed wind power generation, the distributed solar power generation finds itself in a more advanced stage of commercial consolidation in Brazil. Considering that Ceará has more than 4 million consumer units, its potential for distributed solar power generation is greater than 2 TWh/year in urban areas alone. The rural distributed solar power generation also has potential in the entire State, in view of the abundant resource, with average expected photovoltaic energy yield greater than 1 500 kWh/kW$_p$/year, a value feasible for distributed generation in any rural area.

The geographical location of Ceará makes distributed solar power generation relatively advantageous to small residential, commercial, or industrial projects. The graphs in Figure 7.16 indicate that it is possible to gain in efficiency when the solar power generation is considered during the design of buildings. Nevertheless, the losses are relatively small if the equipment is installed following guidelines or inclinations different from those that correspond to the maximum annual energy yield values, which is not always feasible in existing buildings. The graphs show the fractions of solar power potential losses in relation to the optimum theoretical angle. In the surface graphs, it is possible to observe that the greatest generation occurs in the second semester, mainly in the months of September and October.

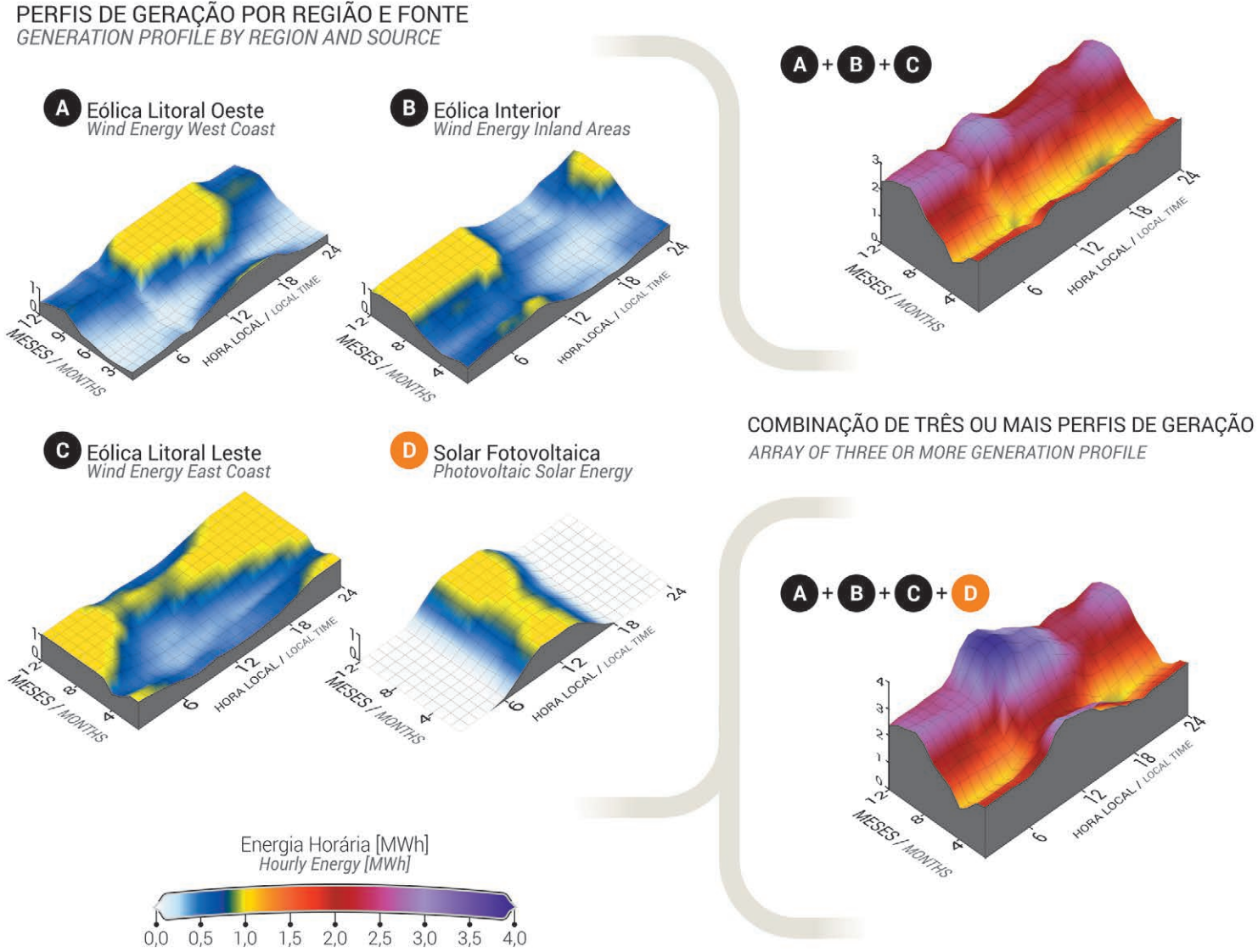
An important characteristic of distributed solar power projects with fixed panels is the possibility of optimizing annual energy yield depending on the monthly consumer power demand curve and the solar path throughout the year (see Figure 2.16). From this information, it is possible to calculate the optimal panel positioning (orientation and tilt angles).

Regarding results and estimates of distributed solar power generation presented in this Atlas, it is noteworthy that they represent the long term. Energy yield, therefore, may vary significantly from one year to another, or even between the months of the first semester, as discussed in Chapter 2.

Furthermore, in view of the technical details presented, it is important for the solar projects to be performed by specialized companies of the sector, ensuring adequate system quality, reliability, and safety. Among the details to be observed by these companies, there is the detailing of the losses in the monthly energy estimation, the consideration and prevention of the shading effects caused by trees or buildings, as well as the maintenance plan for cleaning the dirt deposited on the panels, thus preventing the impairment of production. Appendix C presents an acquisition guide of small solar power projects in Brazil, with basic recommendations, in regards to which the concerned consumer must work closely with the specialized companies, for the design and installation of small-sized distributed solar power systems. This guide also describes the basic procedures to use solar power for heating and pumping purposes, from photovoltaic systems. This application has great potential for development both for agricultural, aquaculture, and livestock purposes, and for water supply, especially for small rural producers and local agroindustries.

FIGURA 7.15 Perfil de geração horário e mensal solar e eólico.

FIGURE 7.15 *Hourly and monthly solar and wind power generation profile.*



7.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Desde que entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012 (alterada pela RN n° 687/2015), o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, dentro de um sistema de compensação de energia elétrica. Essas modalidades são chamadas, pelo órgão regulador brasileiro, de micro e minigeração distribuídas de energia elétrica. A iniciativa da ANEEL é justificada pelos benefícios associados à geração distribuída no sistema elétrico, entre eles o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética[12]. Entende-se que tais benefícios conduzem, por sua vez, à autossuficiência energética e à redução dos custos da energia aos consumidores.

7.4.1 Geração Distribuída Eólica

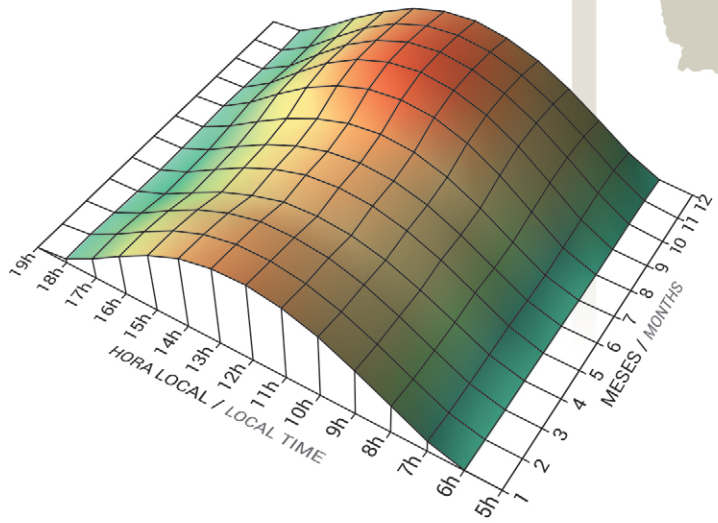
Embora ainda pouco desenvolvido no Brasil, o mercado de mini e microgeradores eólicos tem crescido nos últimos anos, com mais de 990 000 pequenos aerogeradores instalados no mundo[13]. Entre os desafios enfrentados por essa modalidade de geração estão a falta de conhecimento da população sobre as suas vantagens, os altos custos e a incerteza associada ao recurso eólico sobre centros urbanos, onde há presença de obstáculos, os quais, além de produzir turbulência e reduzir a velocidade do vento, são associados a incertezas devidas a alterações de curto prazo, como o crescimento das cidades. Os mini e microgeradores eólicos mais comuns em escala comercial, por serem mais eficientes, são os de eixo horizontal com duas ou três pás, embora os aerogeradores de eixo vertical sejam mais silenciosos. Geradores eólicos de pequeno porte são instalados, preferivelmente, sobre o topo de edificações, para minimizar os impactos da alta rugosidade característica de áreas urbanas.

7.4.2 Geração Distribuída Solar

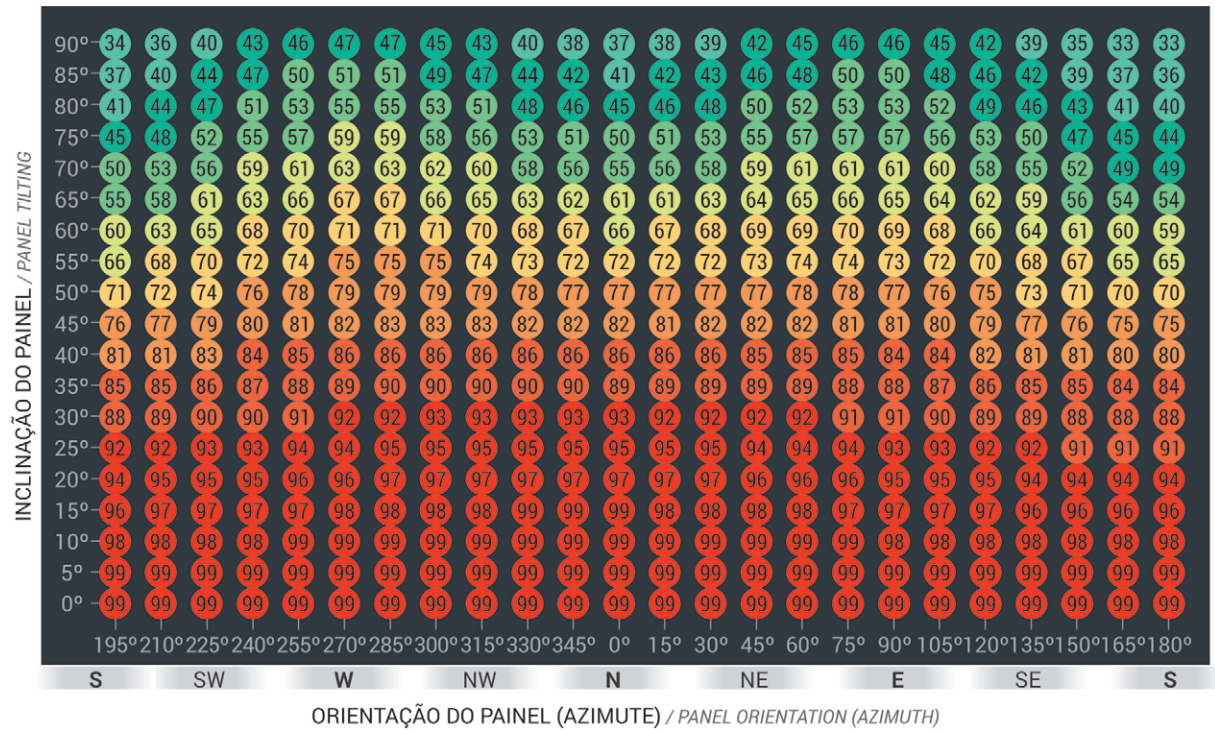
Em comparação com a geração distribuída eólica, a geração distribuída solar encontra-se em estágio de consolidação comercial mais avançado no Brasil. Considerando-se que o Ceará possui mais de 4 milhões de unidades consumidoras, seu potencial de geração solar distribuída é maior que 2 TWh/ano, somente nas áreas urbanas. A geração distribuída solar rural também apresenta potencial em todo o Estado, tendo em vista o abundante recurso, com produtividade fotovoltaica esperada média maior que 1 500 kWh/kW$_p$/ano, valor viável para geração distribuída em qualquer área rural.

A localização geográfica do Ceará torna a geração solar distribuída relativamente vantajosa para pequenos projetos residenciais, comerciais ou industriais. Os Gráficos da Figura 7.16

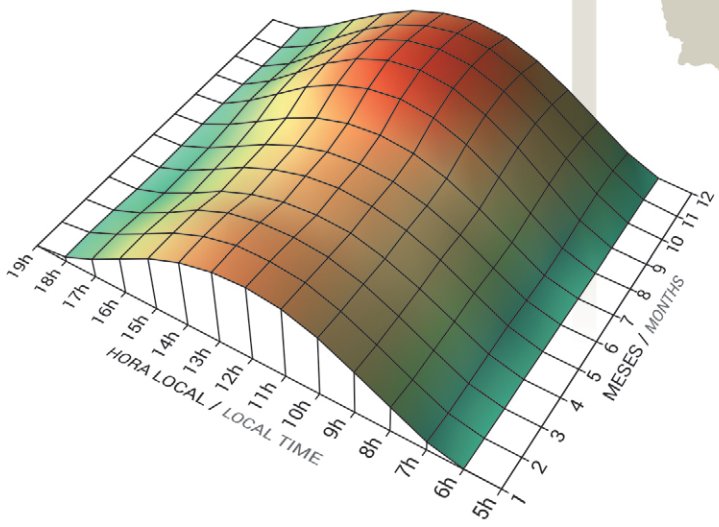
FORTALEZA

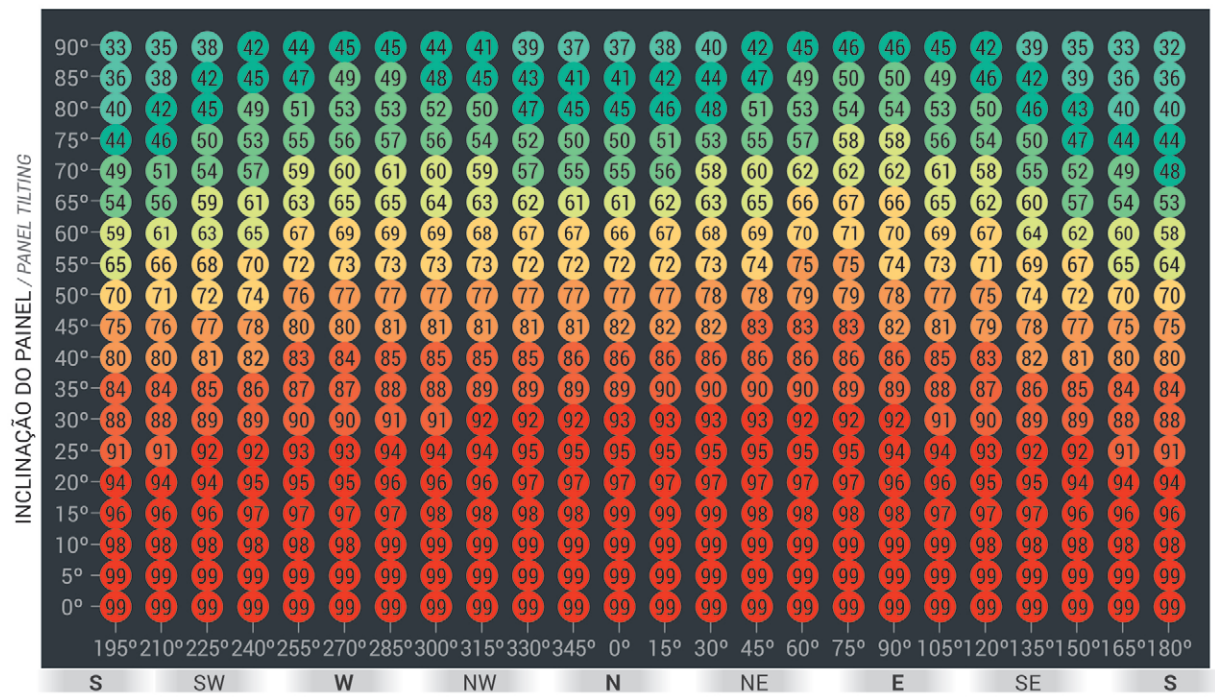


PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]
PERCENTAGE OF ANNUAL ENERGY YIELD IN RELATION TO MAXIMUM YIELD, AS A FUNCTION OF AZIMUTH AND TILT [%]

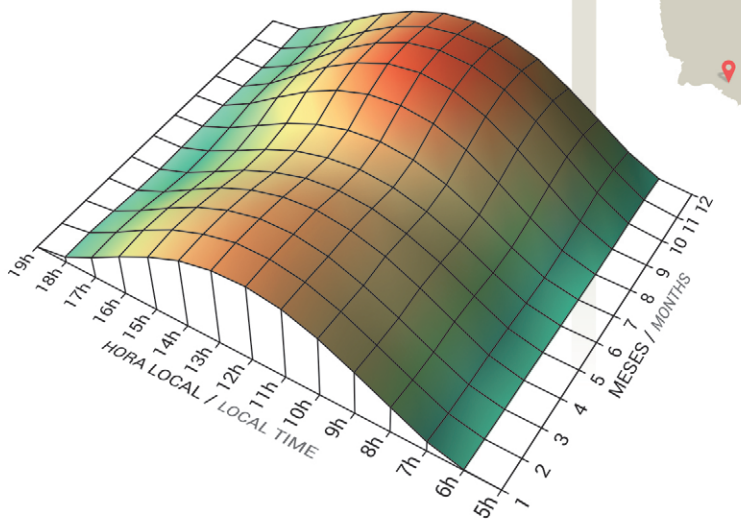


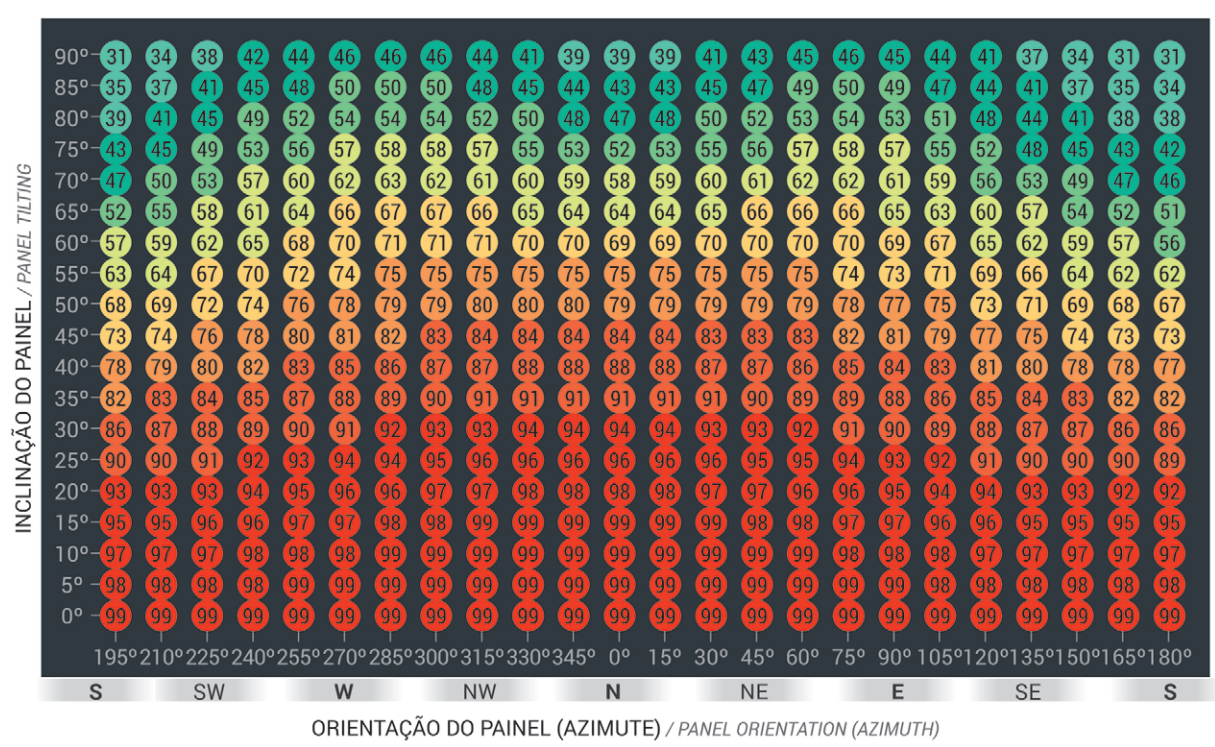
SOBRAL





JUAZEIRO DO NORTE





Irradiação Global Horizontal Horária [Wh/m²]
Hourly Global Horizontal Irradiation [Wh/m²]

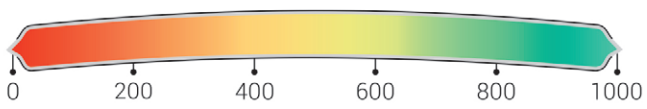


FIGURA 7.16 Variabilidade da produção fotovoltaica em função do azimute, do ângulo de inclinação dos painéis, do mês do ano e da hora do dia, em diferentes pontos do território cearense.

FIGURE 7.16 *Variability of photovoltaic energy yield due to azimuth, tilt angle of the panels, the month of the year and the hour of the day, at different points of the Ceará territory.*

indicam que pode-se ganhar em eficiência quando a geração solar é contemplada no projeto das edificações. Não obstante, as perdas são relativamente pequenas caso os equipamentos sejam instalados sobre orientações ou inclinações diferentes das que correspondem aos valores máximos de produtividade anual, o que nem sempre é viável em edificações já existentes. Os gráficos mostram as frações de perdas do potencial solar em relação ao ângulo teórico ótimo. Nos gráficos de superfície, é possível observar que a maior geração ocorre no segundo semestre, principalmente nos meses de setembro e outubro.

Uma característica importante dos projetos de aproveitamento solar distribuído com painéis fixos é a possibilidade de otimização da produção anual em função da curva de demanda mensal de energia do consumidor e da trajetória solar ao longo do ano (Ver Figura 2.16). A partir dessas informações, pode-se calcular o posicionamento ótimo (ângulos de orientação e inclinação) dos painéis.

Com relação aos resultados e estimativas de geração solar distribuída apresentados neste Atlas, destaca-se que representam o longo prazo. A produção de energia, portanto, pode variar de forma significativa de um ano para o outro, ou ainda entre os meses do primeiro semestre, conforme discutido no Capítulo 2.

Ademais, tendo em vista os detalhes técnicos apresentados, é importante que os projetos solares sejam realizados por empresas especializadas do setor, garantindo adequada qualidade, confiabilidade e segurança do sistema. Entre os detalhes a serem observados por essas empresas, estão o detalhamento das perdas na estimativa mensal de energia, a consideração e prevenção dos efeitos de sombreamento causados por árvores ou edificações, assim como o planejamento da manutenção para limpeza da sujeira depositada nos painéis, evitando o comprometimento da produção. É apresentado no Apêndice C um guia de aquisição de pequenos projetos de aproveitamento solar no Brasil, com recomendações básicas, às quais o consumidor interessado deve se ater em conjunto com as empresas especializadas, para projeto e instalação de sistemas de geração solar distribuída de pequeno porte. Neste guia também são descritos os procedimentos básicos para o aproveitamento solar para fins de aquecimento e de bombeamento, a partir de sistemas fotovoltaicos. Essa aplicação possui grande potencial de desenvolvimento tanto para fins agrícolas, de aquicultura e de pecuária, como para abastecimento de água, principalmente para pequenos produtores rurais e agroindústrias locais.

A versão digital deste trabalho oferece uma ferramenta para se estimar o recurso solar na área de interesse e para se calcular aproximadamente o número de módulos, área, peso e potência instalável em função do consumo anual e mensal de energia elétrica.

7.5 POTENCIAL EÓLICO E SOLAR DO CEARÁ X CONSUMO DE ELETRICIDADE

Verifica-se que a demanda de energia elétrica do Estado é substancialmente excedida quando comparada com os valores dos potenciais eólico e solar apresentados nas seções anteriores. O Ceará registrou consumo de energia elétrica de 11 280 GWh em 2017 (36% residencial, 20% comercial, 20% industrial, 11% rural e 13% setor público)[14], como mostra a Figura 7.17, que apresenta a evolução desse consumo entre 2001 e 2017.

Em 2017, a demanda por eletricidade do Ceará das classes industrial e comercial somadas foi de 4 507 GWh[14]. A expectativa de disponibilidade energética eólica considerando somente os locais que oferecem melhores condições para viabilidade econômica, ou seja, vento médio igual ou superior a 8 m/s a 80 metros de altura, e descontando a capacidade já instalada, é de 4 740 GWh/ano. Portanto, o pleno desenvolvimento dessa porção do potencial eólico já seria capaz de exceder a demanda industrial e comercial do Estado. Note-se que, em 2018, os aproveitamentos eólicos em operação no Ceará (1 950 MW instalados[16]) entregaram ao sistema mais de 5 100 GWh[7], ou seja, já supriram a demanda das classes industrial e comercial supracitadas.

Já as demandas elétricas das classes residencial e rural, que somaram 5 281 TWh em 2017[14], têm magnitudes compatíveis com um eventual suprimento pela geração solar fotovoltaica, trazendo vantagens ao sistema, como a proximidade da carga, e ao consumidor, e a possibilidade de uso de áreas de telhados ou outras áreas urbanas ou altamente antropizadas. Considerando a população estadual de 9 075 649 habitantes[14], o consumo médio diário *per capita*, residencial e rural, de aproximadamente 1,59 kWh/dia, e a produtividade solar média no Ceará de 4,25 Wh/W_p/dia, os quais, convertidos para a produção média esperada de uma placa solar de 330 W_p (padrão atual do mercado), instalada em condições adequadas (referência Figura 7.16), resulta na produção de energia em torno de 1,4 kWh/dia. Tem-se, portanto, que a demanda energética dessas duas parcelas da

The digital version of this study provides a tool for estimating solar resources in the area of interest and for approximately calculating the number of modules, area, weight, and installable power depending on the monthly and yearly electrical energy consumption.

7.5 Wind and Solar Resources of Ceará x Electrical Energy Consumption

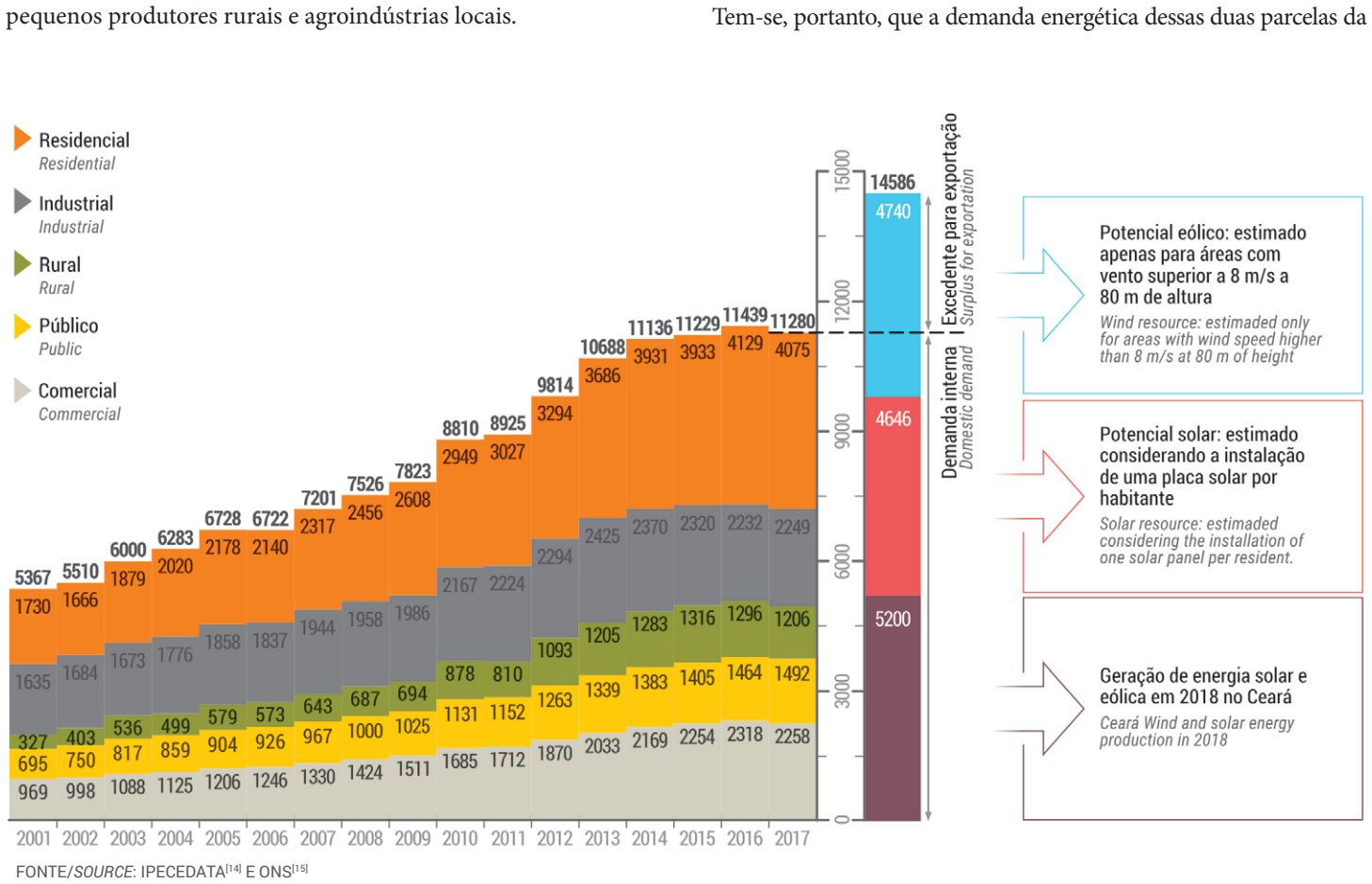
It has been ascertained that the State electric energy demand is substantially exceeded when compared with the wind and solar resource values presented in the previous sections. Ceará had a consumption of electrical energy of 11 280 GWh in 2017 (36% residential, 20% commercial, 20% industrial, 11% rural, and 13% in the public sector)[14], as shown in Figure 7.17, which depicts the evolution of consumption between 2001 and 2017.

In 2017, the demand in Ceará for electrical energy from the industrial and commercial classes, combined, was 4 507 GWh[14]. The expected wind power availability considering only those sites that offer better conditions for economic viability, i.e., average wind speeds equal to or higher than 8 m/s at a height of 80 m, and discounting the capacity already installed, is of 4 740 GWh/year. Therefore, the full development of this portion of the wind resource would already be able to exceed the industrial and commercial demand of the State. It should be noted that, in 2018, wind power projects in operation in Ceará (1 950 MW installed[16]) delivered to the system more than 5 100 GWh[7], i.e., they already met the demand from the aforementioned commercial and industrial classes.

Whereas, the electrical energy demands from the residential and rural classes, which totaled 5 281 TWh in 2017[14], have magnitudes compatible with a possible supply by the photovoltaic solar power generation, bringing benefits to the system, such as the proximity to the load and to consumers, and the possibility of using it on roofs or other urban or highly anthropized areas. Considering the state population of 9 075 649 inhabitants[14], the daily average consumption per capita*, residential and rural, of approximately 1,59 kWh/day, and the average solar energy yield in Ceará of 4,25 Wh/W_p/day, which, converted to the expected average energy output of a 330 W_p solar panel (current market standard), installed in adequate conditions (reference Figure 7.16), results in the energy yield of around 1,4 kWh/day. Thus, the energy demand from these two portions of the population could be met if, for each inhabitant, a standard solar panel were to be installed, with an individual area of 2 m². In other words, each solar panel installed is capable of supplying, on average, 88% of the individual energy demand of a resident in Ceará.*

In short, it is observed that the development of the wind resource with greater feasibility alone, i.e., in places with wind speeds greater than or equal to 8 m/s at a height of 80 meters, would add around 4 740 GWh/year to the state energy balance. Since the installation of a 330 W_p solar panel per capita *would be able to add another 4 646 GWh/year. Adding these values to the generation capacity of the existing wind and solar power complex in the State, which made available, in 2018, approximately 5 200 GWh, a total of 14 586 GWh is reached, which is enough to exceed the State demand, of 11 280 GWh in 2017, in 3 306 GWh/year, which, in the net balance of power, would be destined to be exported to other states of the federation[14]. Therefore, the massive development of wind and solar power generation could possibly turn the State into a major exporter of energy, with the potential of hourly complementarity between the wind and/or solar power sources in a regional scale.*

Despite this possibility of independence in the net energy balance of Ceará, based only on the wind and solar power sources, the development of these sources alone would not, however, be enough to meet the instant demand, due to the instability and unpredictability of the supply, and the variable and only partially complementary behavior (Figure 7.15). There would be, therefore, a need for energy exchange with other states, through the SIN. Harnessing solar and wind power, despite its resource of large proportions, requires completion and coordination with the development of other sources, renewable or not, or energy storage technologies, such as batteries and hydroelectric reservoirs.



FONTE/*SOURCE*: IPECEDATA[14] E ONS[15]

FIGURA 7.17 Consumo anual de energia elétrica por classes x Projeção de potenciais e geração de energia renovável no Ceará [GWh/ano].

FIGURE 7.17 *Annual electric energy consumption by classes x Resources projection and renewable energy production in Ceará [GWh/year].*

população poderia ser suprida se, para cada habitante, fosse instalada uma placa solar padrão, com área individual de 2 m². Em outros termos, cada placa solar instalada é capaz de suprir, na média, 88% da demanda energética individual de um cearense.

Resumindo, observa-se que o desenvolvimento apenas do potencial eólico com maior viabilidade, isto é, dos locais com vento maior ou igual a 8 m/s a 80 metros de altura, acrescentaria em torno de 4 740 GWh/ano ao balanço energético estadual. Já a instalação de uma placa solar de 330 W_p por habitante seria capaz de acrescentar outros 4 646 GWh/ano. Somando-se esses valores à capacidade de geração do parque eólico e solar existente no Estado, que disponibilizou, em 2018, em torno de 5 200 GWh, totalizam-se 14 586 GWh, suficientes para exceder a demanda estadual, de 11 280 GWh, em 2017, em 3 306 GWh/ano, os quais, no balanço líquido de energia, seriam destinados à exportação para outros estados da federação[14]. Portanto, o desenvolvimento massivo da geração solar e eólica pode eventualmente tornar o Estado um grande exportador de energia, com potencial de complementaridade horária entre as fontes eólica e/ou solar em escala regional.

Apesar dessa possibilidade de independência no balanço de energia líquido cearense, apenas com base nas fontes eólica e solar, o desenvolvimento dessas fontes isoladamente não seria, todavia, suficiente para suprir a demanda instantânea, devido à instabilidade e imprevisibilidade do fornecimento e do comportamento variável e apenas parcialmente complementar (Figura 7.15). Haveria portanto, necessidade de trocas energéticas com outros estados, através do SIN. O aproveitamento solar e eólico, a despeito de seu potencial de grandes proporções, requer complementação e coordenação com o desenvolvimento de outras fontes, renováveis ou não, ou de tecnologias de armazenamento energético, como baterias e reservatórios hidrelétricos.

7.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente a um possível cenário de comercialização horária de energia, conforme discutido no Item 7.3, o potencial eólico do Ceará é colocado em destaque por possuir diferentes regimes de vento e consequentemente distintos perfis diurnos de geração, que, por sua vez, podem vir a incentivar a ampliação da capacidade instalada eólica no Estado. No desenvolvimento da indústria eólica *offshore*, a magnitude do potencial de geração do Ceará associada à plataforma continental extensa e rasa, pode vir também a propiciar o desenvolvimento e implementação de diversos projetos. Existe, portanto, um grande potencial de crescimento da capacidade de geração eólica, *onshore* e *offshore*, no Estado.

Como o recurso solar é abundante em todo Estado, a intensidade regional do recurso torna-se menos relevante para a escolha de locais para instalação de projetos de geração fotovoltaica, permitindo que se dê maior atenção a outros quesitos, tais como o acesso à distribuição e transmissão, proximidade de centros de consumo e fatores ambientais. Nesse contexto, os resultados do Atlas podem contribuir para estudos e planejamento do sistema elétrico estadual e nacional, subsidiando análises de eventuais expansões de linhas de distribuição, transmissão e subestações.

O potencial solar cearense traz também à tona a oportunidade de aproveitamento solar para suprir a energia de projetos de bombeamento de água, tanto para consumo humano ou animal, como para irrigação de pequenas áreas agrícolas[18]. Outra potencial aplicação é o aproveitamento térmico da energia solar em processos industriais de baixa (< 100 °C) e média temperatura (100-400 °C), como nas indústrias alimentícia, têxtil, papel e celulose e química[19].

Na geração solar centralizada, o Estado ocupa posição de destaque nacional, com mais de 150 projetos de geração fotovoltaica em desenvolvimento, construção e operação, muitos dos quais subsidiados por medições locais de qualidade[20]. Ressalta-se ainda que o potencial solar pode superar os valores apresentados neste Atlas, com o uso, por exemplo, de sistemas de rastreadores, que otimizam a produtividade, ou avanço das tecnologias fotovoltaicas (ver Figura 4.7).

No contexto regional das políticas públicas de incentivo às energias renováveis, destaca-se o potencial solar integrado somente nas áreas degradadas, que são áreas de interesse do Estado para estudos de viabilidade de implantação desses grandes projetos. Estima-se, conforme apresentado na Tabela 7.1, um potencial solar de aproximadamente 190 GW_p nessas áreas, com capacidade de geração de cerca de 304 TWh/ano, equivalente a quase a metade da oferta de energia elétrica em todo o país no ano de 2018[2]. Destaca-se também o detalhamento desse potencial por microrregiões e municípios, facilitando o desenvolvimento de programas regionais de incentivo a aproveitamentos solares em áreas degradadas. Para fins comparativos, o desenvolvimento de 10% do potencial nas áreas degradadas (19 GW_p), ocupando apenas 1 200 km², equivalente a 0,8% da área territorial do Ceará, poderia gerar o equivalente à soma da geração elétrica nacional a partir das fontes nuclear (15 674 GWh) e carvão (14 204 GWh) no ano de 2018[2].

Em um cenário futuro em que sistemas de energia solar concentrada e de armazenamento de energia estejam consolidados comercialmente, será possível combinar a geração fotovoltaica com essas tecnologias, de modo a homogeneizar a curva de oferta energética e garantir o despacho durante dia e noite, beneficiando o Estado como exportador. O eventual aumento da oferta de energia, combinado com políticas públicas de ampliação e aperfeiçoamento da infraestrutura existente, poderá complementarmente fomentar e atrair novos investimentos para a indústria, comércio e serviços.

No que se refere a projetos híbridos de geração, verifica-se que o Estado do Ceará possui mais de 10 000 km² de áreas aptas para exploração solar e eólica. Além da complementaridade na geração de energia, os parques híbridos compartilham a mesma infraestrutura de transmissão de energia, podendo se tornar economicamente mais competitivos em cenários de precificação horária de energia.

Na geração distribuída, para aplicações de pequenos projetos solares, e eventualmente eólicos, destaca-se a ferramenta *online* de simulação do recurso, mencionada no item 7.4, juntamente com o aplicativo para *smartphone* desenvolvido pela FUNCEME, ambos elaborados para este Atlas com o intuito de propiciar ao cidadão cearense, a investidores e a empresas informações preliminares sobre o recurso solar e eólico de maneira simples e interativa. Vale mencionar que o Estado possui uma cadeia de empresas especializadas para atender a população nos projetos de geração distribuída, assim como empresas desenvolvedoras de grandes projetos de geração centralizada. Neste aspecto, destacam-se as ações coordenadas pelo SINDIENERGIA/CE, responsáveis pelo fortalecimento dessa cadeia. A ferramenta digital e as tabelas detalhadas por micro e mesorregiões e municípios podem também auxiliar no planejamento de políticas públicas para o desenvolvimento de energias renováveis das fontes eólica e solar. Similarmente, o mapeamento das áreas aptas e os cálculos dos potenciais solar, eólico e híbrido podem orientar estudos regionais de zoneamento ecológico e econômico, por sua vez essenciais ao desenvolvimento de novos projetos de energias renováveis.

Por fim, o Atlas Eólico e Solar do Ceará é um instrumento para despertar o interesse de instituições de ensino, jovens e novos empreendedores à vocação do Estado para as energias renováveis, fomentando estudos acadêmicos ou profissionais e estimulando novos negócios. Espera-se que o desenvolvimento do potencial apresentado neste documento propicie o fortalecimento da cadeia produtiva e logística, gerando empregos e novas oportunidades por várias gerações de cearenses.

7.6 Final Considerations

Facing a possible scenario of hourly commercialization of energy, as discussed in Item 7.3, the wind resource of Ceará is placed in focus for having different wind regimes and, consequently, distinct diurnal generation profiles, which, in turn, may encourage the expansion of the installed wind power capacity in the State. In the development of the offshore wind power industry, the magnitude of the power generation potential of Ceará, combined to the extensive and shallow continental shelf, may also encourage the development and implementation of various projects. There is, therefore, a large growth potential of the wind power generation capacity, onshore and offshore, in the State.

As the solar power resource is abundant throughout the State, the regional intensity of the resource becomes less relevant to the choice of locations for the installation of photovoltaic power generation projects, thus allowing greater attention to be given to other issues, such as access to distribution and transmission, proximity to consumption centers and environmental factors. In this context, the results of the Atlas may contribute to studies and planning of the state and national electrical system, subsidizing analyzes of possible expansions of distribution and transmission lines, and substations.

The solar resource of Ceará also brings to the fore the opportunity of using solar power to supply energy to water pumping projects, both for human and animal consumption, such as for irrigating small agricultural areas[18]. Another potential application is the thermal use of solar power in industrial processes of low (< 100 °C) and average temperatures (100-400 °C), such as in food, textile, pulp and paper, and chemical industries[19].

In centralized solar power generation, the State occupies a prominent position in Brazil, with more than 150 photovoltaic power generation projects in development, construction and operation, many of which are subsidized by local quality measurements[20]. It should be further emphasized that the solar power potential can surpass the values presented in this Atlas, with the use of, for example, tracking systems that optimize productivity, or the advancement of photovoltaic technologies (see Figure 4.7).

In the regional context of public incentive policies for renewable energies, the solar resource integrated only in degraded areas is emphasized, which are areas of interest of the State for feasibility studies for the implementation of these major projects. It is estimated, as shown in Table 7.1, a solar resource of approximately 190 GW_p in these areas, with a generation capacity of approximately 304 TWh/year, equivalent to almost half of the supply of electrical energy in the entire country in 2018[2]. It is also noteworthy the detailing of this potential by microregions and municipalities, facilitating the development of regional incentive programs and the use of solar power in degraded areas. For comparative purposes, the development of 10% of the resource in the degraded areas (19 GW_p), which occupy only 1 200 km², equivalent to 0,8% of the territorial area of Ceará, could generate the equivalent to the sum of the national electrical energy generation from nuclear (15 674 GWh) and coal (14 204 GWh) sources in 2018[2].

In a future scenario in which concentrated solar power and energy storage systems are commercially consolidated, it will be possible to combine photovoltaic power generation to these technologies, in order to homogenize the curve of energy supply and ensure supply day and night, benefitting the State as an exporter. Any increase in the supply of energy, combined with public policies for the expansion and improvement of existing infrastructures, could additionally promote and attract new investments for the industry, trade, and services.

As regards to hybrid power projects, it has been ascertained that the State of Ceará has over 10 000 km² of areas suitable for solar and wind power exploitation. In addition to complementarity in power generation, hybrid plants share the same power transmission infrastructure and may become more economically competitive in hourly energy pricing scenarios.

In the distributed generation, for applications of small solar, and possibly wind, power projects, the online tool for resource simulation stands out, as mentioned in item 7.4, together with the smartphone app developed by FUNCEME, both prepared for this Atlas, with the objective of providing, to the citizens of Ceará, investors, and companies, preliminary information about solar and wind power resources in a simple and interactive way. It is worth mentioning that the State has a chain of specialized companies to provide services to the population in distributed generation projects, as well as companies that develop large centralized generation projects. In this respect, emphasis is given to the actions coordinated by SINDIENERGIA/CE, responsible for strengthening this chain. The digital tool and the detailed tables for micro and mesoregions and municipalities may also assist in planning public policies for the development of renewable energy from wind and solar sources. Similarly, the mapping of suitable areas and the calculations of the solar, wind and hybrid power potential can guide regional studies of ecological and economic zoning, which are, in turn, essential for the development of new renewable energy projects.

Finally, the Solar and Wind Atlas of Ceará is an instrument to arouse the interest of educational institutions, young people and new entrepreneurs towards the State's calling in regards to renewable energy, fostering academic or professional studies, as well as stimulating new businesses. It is expected that the development of the potential presented in this document will strengthen the productive chain and logistics, generating jobs and new opportunities for several generations of those who live in Ceará.

[1] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **II Plano de Metas Governamentais - II PLAMEG (Diagnóstico).** Fortaleza: Imprensa Oficial, 1979.

[2] AGÊNCIA BRASIL-RADIOBRÁS. **Cearense registrou primeira patente de produção de biodiesel em todo o mundo**, Biodieselbr. 1999. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com>. Acesso em: 05 de jul. de 2019.

[3] CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. **Convênio ICMS 52, de 30 de junho de 2015.** Dispõe sobre a adesão dos Estados do Ceará e do Tocantins ao Convênio ICMS 16/15, que autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

[4] VESTAS. **A Vestas no Brasil.** 2019. Disponível em: <http://br.vestas.com>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[5] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BEN - Séries históricas completas.** 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 02 de jul. de 2019.

[6] AMARANTE, O. C. **Estado do Ceará: Atlas do potencial eólico.** Fortaleza: SEINFRA/CE, 2000.

[7] SISTEMA FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ - SISTEMA FIEC. **Observatório da Indústria - Painel interativo do panorama industrial.** 2019. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/observatorio-da-industria/>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

[8] CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA - CLP. **Ranking de competitividade dos estados.** 2019. Disponível em: <http://www.rankingdecompetitividade.org.br/>. Acesso em: 05 de jun. de 2019.

[9] SISTEMA FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ - SISTEMA FIEC. **Observatório da Indústria - Painel interativo de comércio exterior no Ceará.** 2018. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/observatorio-da-industria/>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

[10] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - MEC. **Censo Escolar - INEP.** 2017. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/censo-escolar>. Acesso em: 08 de jun. de 2019.

[11] SISTEMA FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ - SISTEMA FIEC. **Observatório da Indústria - Painel interativo do mapeamento de formação e perfil da mão de obra no Ceará.** 2019. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/observatorio-da-industria/>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

[12] SISTEMA FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ - SISTEMA FIEC. **Observatório da Indústria - Painel interativo do radar dos salários no Ceará.** 2018. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/observatorio-da-industria/>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

[13] PREFEITURA DE FORTALEZA. **Fortaleza 2040.** 2019. Disponível em: <http://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[14] GOVERNO DO CEARÁ; UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC. **Ceará 2050 - Juntos pensando o futuro.** 2019. Disponível em: <http://www.ceara2050.ce.gov.br/>. Acesso em: 02 de ago. de 2019.

[15] SANTOS, C. N. et al. **Rotas estratégicas setoriais 2015-2025: energia.** Fortaleza: Federação das Indústrias do Estado do Ceará, 2016.

[16] PRICEWATERHOUSECOOPERS - PWC. **Premiados Excellens Mare 2019 - Prémio Valoris Mare.** 2019. Disponível em: <https://www.pwc.pt/>. Acesso em: 08 de jun. de 2019.

[17] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ – FIEC; CENTRO INTERNACIONAL DE NEGÓCIOS - CIN. **Setorial em comex - Energias renováveis.** Fortaleza: CIN/CE, 2019. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/>.

[18] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil.** Rio de Janeiro, 2006. color. Escala 1:5.000.000.

[19] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Ceará: inventário florestal nacional: principais resultados.** Brasília: MMA, 2016. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/>.

[20] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Ceará em mapas - Principal.** 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[21] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades.** Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidades>. Acesso em: 05 de mar. de 2019.

[22] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **IPECEDATA - Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará.** 2019. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 16 de jun. de 2019.

[23] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema de contas regionais - Brasil 2016.** Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

[24] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2018. Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: 15 de jul. de 2019.

[25] ENEL SPA. **Enel Brasil - Ceará.** 2019. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara>. Acesso em: 05 de jun. de 2019.

[26] COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. **Docas do Ceará - Autoridade Portuária.** 2019. Disponível em: <http://www.docasdoceara.com.br/>. Acesso em: 05 de jun. de 2019.

[27] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP.** 2019. Disponível em: <http://www.cearaportos.ce.gov.br/>. Acesso em: 05 de jun. de 2019.

[28] SISTEMA FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ - SISTEMA FIEC. **Observatório da Indústria - Painel interativo da infraestrutura no Ceará.** 2019. Disponível em: <https://www1.sfiec.org.br/observatorio-da-industria/>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

[29] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO CEARÁ - SEINFRA. **Nova ponte do Porto do Pecém é concluída**, Governo do Estado do Ceará. 2019. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br>. Acesso em: 08 de jun. de 2019.

[30] ZONA DE PROCESSAMENTO DE EXPORTAÇÃO DO CEARÁ - ZPE CEARÁ. **Institucional.** 2018. Disponível em: <https://www.zpeceara.ce.gov.br>. Acesso em: 08 de jun. de 2019.

[31] SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH. **Histórico.** 2019. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[32] SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH; COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH. **Infraestrutura hídrica do Ceará.** Ceará, 2019. 1 mapa. Escala 1 : 1 000 000.

[33] DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Castanhão.** 2019. Disponível em: <https://www.dnocs.gov.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[34] PORTO, Y. C.; ROCHA, B. M.; MELO, F. D. C.; DE ASSIS LEANDRO FILHO, F.; PATRICIO, R. A. Viabilidade técnica para implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório do semiárido brasileiro, **Revista Tecnologia,** vol. 38, nº 2, p. 1–11, dez. 2017.

[35] PORTAL SOLAR. **Governo do Ceará inicia estudos para instalar sistema de energia solar no açude Castanhão.** 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[36] O POVO. **Fortaleza tem o segundo maior hub de cabos do mundo.** 2019. Disponível em: <https://www.opovo.com.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[37] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Hub tecnológico: Data Center da Angola Cables amplia oportunidade para negócios digitais.** 2019. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[38] EMPRESA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO CEARÁ - ETICE. **Cinturão Digital do Ceará.** 2019. Disponível em: <https://www.etice.ce.gov.br>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

[39] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Departamento Estadual de Rodovias do Ceará - DER-CE**. 2019. Disponível em: <https://www.der.ce.gov.br/>. Acesso em: 08 de abr. de 2019.

[40] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO CEARÁ - SEINFRA. **Ceará de ponta a ponta**. 2019. Disponível em: <https://www.seinfra.ce.gov.br/ceara-de-ponta-ponta/>. Acesso em: 06 de jun. de 2019.

[41] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250**. 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[42] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018.** 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

REFERÊNCIAS
REFERENCES

[43] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013**. 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[44] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE RODOVIAS DO CEARÁ - DER-CE. **Mapa rodoviário e político 2018**. Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:750.000.

[45] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MTPA. **Rede ferroviária federal**. 2018. Disponível em: <http://dados.gov.br/>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[46] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim mensal de geração eólica**. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[47] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim mensal de geração solar fotovoltaica**. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[48] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Web-Map EPE**. 2019. Disponível em: <gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>. Acesso em: 04 de abr. de 2019.

[49] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico - SIGEL**. 2019. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 17 de abr. de 2019.

[50] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Base de Dados Geográfica da Distribuidora – BDGD**. 2017. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[51] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado**. 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[52] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim mensal de geração por Estado**. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[53] U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - DOI. **LandSat 8. 2019**. Disponível em: <https://www.usgs.gov>. Acesso em: 16 de maio. de 2019.

2 CLIMATOLOGIA
CLIMATOLOGY

[1] LANDBERG, L. **Meteorology for wind energy: an introduction.** John Wiley & Sons, 2015.

[2] AGUADO, E.; BURT, J. E. **Understanding weather and climate**. 7. ed. Pearson, 2015.

[3] REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul, **Terrae Didática**, vol. 8, p. 34–50, 2012.

[4] STULL, R. **Meteorology for scientists and engineers**. 3. ed. Vancouver, Canada: University of British Columbia, 2011.

[5] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilões de energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos.** Rio de Janeiro: NOTA TÉCNICA DEA 08/14, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT - GIZ. **Instalação de estações anemométricas - Boas práticas**. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[7] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 61400-12-1: Wind turbines. Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines**. 1. ed. Genebra, Suíça, 2005.

[8] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 61400-12-1: Wind turbines. Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines**. 2. ed. Genebra, Suíça, 2017.

[9] MEASURING NETWORK OF WIND ENERGY INSTITUTES - MEASNET. **Evaluation of site-specific wind conditions**. 2. ed. 2016.

[10] HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentals of physics**. John Wiley & Sons, 2013.

[11] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Bruxelas: World Meteorological Organization - WMO, 8, 2017. Disponível em: <https://public.wmo.int/en>.

[12] AMMONIT. **Sistemas de medição de energia solar e eólica**. 2019. Disponível em: <https://www.ammonit.com/pt/>. Acesso em: 12 de jun. de 2019.

[13] CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS; AWS TRUEPOWER; FIEB/SENAI CIMATEC. **Atlas solar: Bahia**. Curitiba, Salvador, 2018.

[14] KWON, S.-D. Uncertainty analysis of wind energy potential assessment, **Applied Energy**, vol. 87, nº 3, p. 856–865, 2010.

[15] LACKNER, M.; ROGERS, A.; MANWELL, J. Uncertainty analysis in wind resource assessment and wind energy production estimation. In: 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2007. **AIAA 2007-1222**. Reno, Nevada, p. 1–16.

[16] MEASURING NETWORK OF WIND ENERGY INSTITUTES - MEASNET. **Welcome to Measnet**. Disponível em: <http://www.measnet.com>. Acesso em: 16 de jan. de 2019.

[17] CAVALCANTI, I. F.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. Da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

[18] GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANDLES, C. A.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M. G.; REICHLE, R. The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.

[19] FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região, **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 1, nº 1, 2005.

[20] LIRA, M. A. T.; SILVA, E. M. Da; ALVES, J. M. B. Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear, **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 26, nº 3, p. 349–366, 2011.

[21] CAMELO, H. N. **Estudo numérico do vento Aracati para caracterização de seu potencial eólico**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

[22] DA SILVA, D. F.; COSTA, I. M.; MATEUS, A. E.; DE SOUSA, A. B. Previsão climática e de ciclos climáticos para o estado do Ceará, **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 6, nº 4, p. 959–977, 2013.

[23] PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

[24] KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. Academic Press, 2013.

[25] OKLAHOMA CLIMATOLOGICAL SURVEY. **Earth's Energy Budget**. 2005. Disponível em: <https://okfirst.mesonet.org/train/meteorology>. Acesso em: 12 de jun. de 2019.

[26] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Expansão da geração - Empreendimentos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: EPE-DEE-RW-065/2013-r4, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[27] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 61724-1 Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring**. Genebra, Suíça, 2017.

[28] SENGUPTA, M.; HABTE, A.; GUEYMARD, C.; WILBERT, S.; RENNE, D. **Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory - NREL, NREL/TP-5D00-68886, 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov>.

[29] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 9060: Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation**. 2. ed. 2018.

[30] SÁNCHEZ-ZAPERO, J.; MADRID, L. de L.; CAMACHO, F. **Copernicus global land operations" Vegetation and Energy" - Surface albedo from PROBA-V**. Copernicus Global Land Operations, 2018. Disponível em: <https://land.copernicus.eu/global/>.

[31] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250**. 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[32] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018**. 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[33] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013**. 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[1] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.

[2] INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL CHICO MENDES. **Instituto Chico Mendes.** 2019. Disponível em: <institutochicomendes.org.br>. Acesso em: 25 de jun. de 2019.

[3] BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

[4] BRASIL. **Decreto n° 99.274, de 6 de junho de 1990.** Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.

[5] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

[6] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 006, de 24 de janeiro de 1986.** Edita regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tenha interesse relevante como a geração de energia elétrica.

[7] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001.** Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental.

[8] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 428, de 17 de dezembro de 2010.** Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências.

[9] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014.** Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA nº 279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências.

[10] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Ceará em mapas - Meio Ambiente.** 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[11] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA. **Cadastro Estadual de Unidades de Conservação - CEUC.** 2019. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[12] MENEZES, M. O. T. De; ARAÚJO, F. S. De; ROMERO, R. E. O sistema de conservação biológica do estado do Ceará: diagnóstico e recomendações, **REDE - Revista eletrônica do PRODEMA**, vol. 5, nº 2, 2010.

[13] BRASIL. **Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

[14] GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ. **Lei n° 14.950, de 27 de junho de 2011.** Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Ceará – SEUC, e dá outras providências.

[15] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA. **Unidades de conservação.** 2019. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br>. Acesso em: 01 de abr. de 2019.

[16] PEREIRA, C. L. G.; BARBOSA, L. N.; BRASILEIRO, F. M. G.; FREITAS, J. Índios e terras: Panorama da questão indígena no Ceará, **Revista Geografar**, vol. 11, nº 1, p. 174–189, 2016.

[17] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Todo dia é dia de índio: Quais são os povos indígenas do Ceará?** 2019. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[18] BRASIL. **Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973.** Dispõe sobre o Estatuto do Índio.

[19] BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil.** Constituição da República Federativa do Brasil : texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nº 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008.1988.

[20] BRASIL. **Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003.** Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias.

[21] BRASIL. **Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937.** Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional.

[22] BRASIL. **Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993.** Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal.

[23] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250.** 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[24] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018.** 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[25] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013.** 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[26] FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO - FUNAI. **Terras indígenas.** 2019. Disponível em: <http://www.funai.gov.br>. Acesso em: 03 de abr. de 2019.

[34] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE RODOVIAS DO CEARÁ - DER-CE. **Mapa rodoviário e político 2018.** Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:750.000.

[35] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MTPA. **Rede ferroviária federal**. 2018. Disponível em: <http://dados.gov.br/>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[36] RITCHER, M.; BRABANDERE, K. De; KALISCH, J.; SCHIMIDT, T. **Best practice guide on uncertainty in PV modelling**. Oldenburg, Alemanha: 3E - University of Oldenburg, 2015. Disponível em: <http://www.perfplus.eu>.

[37] KLEISSL, J. **Solar energy forecasting and resource assessment**. 1. ed. Amsterdam; Boston: Elsevier, Academic Press, 2013.

[38] MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 90, nº 2, p. 1973–1985, 2018.

[39] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, 2018.

[40] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - **ISO. ISO 2533: Standard atmosphere**. Geneva, Switzerland, 1975.

[41] PICARD, A.; DAVIS, R. S.; GLÄSER, M.; FUJII, K. Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), **Metrologia**, vol. 45, nº 2, p. 149–155, 2008.

[42] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre o Nordeste**. 2014. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 25 de jan. de 2019.

[43] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM. 2018**. Disponível em: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 28 de jan. de 2019.

[44] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Ceará em mapas - Meio Ambiente**. 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[45] REDA, I.; ANDREAS, A. **Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications (Revised)**. Golden, Colorado: NREL, NREL/TP-560-34302, 2008.

REFERÊNCIAS
REFERENCES

[27] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Dados georreferenciados - Cadastro nacional de unidades de conservação.** 2019. Disponível em: <mapas.mma.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[28] INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Mapa localização de assentamentos.** 2019. Disponível em: <http://www.incra.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[29] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. **Sistema Informativo de Monitoria de RPPN - SIMRPPN.** 2019. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/>. Acesso em: 09 de abr. de 2019.

[30] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN-Brasil.** Brasília: Edições MMA, 2004.

[31] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Área Susceptível à Desertificação - ASD.** Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:1.200.000.

[32] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** Brasília: 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br>.

[33] KLUGMANN-RADZIEMSKA, E. Environmental impacts of renewable energy technologies. In: 5th International Conference on Environmental Science and Technology, 2014. **IPCBEE.** Singapore: IACSIT Press, vol. 69, p. 104–109.

[34] GILL, A. B. Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone, **Journal of Applied Ecology**, vol. 42, nº 4, p. 605–615, 2005.

[35] BAILEY, H.; BROOKES, K. L.; THOMPSON, P. M. Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future, **Aquatic biosystems**, vol. 10, nº 1, p. 8, 2014.

[36] HERNANDEZ, R. R. et al. Environmental impacts of utility-scale solar energy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 29, p. 766–779, jan. 2014.

[1] HAU, E. **Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics**. 3. ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.

[2] SHEPHERD, D. G. **Historical Development of the Windmill.** In: Wind Turbine Technology, Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering. 2. ed, New York: ASME Press, 2009, p. 835.

[3] GASCH, R.; TWELE, J. **Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation.** 2. ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.

[4] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Expansão da geração eólica no Brasil.** Rio de Janeiro: Nota Técnica PRE 01/2009-r0, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005.

[6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilão de Energia de Reserva 2009**. 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 04 de abr. de 2019.

[7] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[8] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BEN - Séries históricas completas. 2019.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 02 de jul. de 2019.

[9] WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. **The Windicator**, 1982-2019.

[10] KRYZA, F. **The power of light: the epic story of man's quest to harness the sun.** New York: McGraw Hill, 2003.

[11] BUTTI, K.; PERLIN, J. **A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology.** 1. ed. Palo Alto, EUA: Chechire Books, 1980.

[12] PERLIN, J. **From space to earth: the story of solar electricity.** 1. ed. Ann Harbour, EUA: Aatec Publications, 1999.

[13] NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY - NREL. **Best research-cell efficiency chart.** 2019. Disponível em: <https://www.nrel.gov>. Acesso em: 22 de abr. de 2019.

[14] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Unidades consumidoras com geração distribuída.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[15] AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ - ADECE. **Energias renováveis do Ceará.** 2011. Disponível em: <http://www.adece.ce.gov.br>.

[16] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilões de Energia.** 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br>. Acesso em: 24 de abr. de 2019.

[17] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resultados de leilões.** 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 17 de out. de 2018.

[18] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Micro e minigeração distribuída.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[19] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Leilões.** 2019. Disponível em: <https://www.ccee.org.br>. Acesso em: 02 de jul. de 2019.

[20] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA. **Renewable capacity statistics 2019.** Abu Dhabi: IRENA, 2019. Disponível em: <https://www.irena.org>.

[21] AMARANTE, O. C.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do potencial eólico brasileiro.** Brasília: CEPEL, Eletrobrás, 2001.

[22] CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE; FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP. **Atlas do potencial eólico brasileiro: simulações 2013.** Rio de Janeiro: CEPEL, 2017.

[23] AMARANTE, O. C. **Estado do Ceará: Atlas do potencial eólico.** Fortaleza: SEINFRA/CE, 2000.

[24] TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres.** 1. ed. Recife: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2000.

[25] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; DE ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

[26] PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

[27] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

[28] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

[29] BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária, extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização, do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

[30] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Portaria n° 147, de 30 de março de 2009**. Estabelece que a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL deverá promover, no ano de 2009, direta ou indiretamente, os Leilões de Compra de Energia Elétrica.

[31] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Portaria n° 236, de 30 de maio de 2014**. Estabelece que a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL deverá promover, direta ou indiretamente, o Leilão para Contratação de Energia de Reserva, denominado Leilão de Energia de Reserva, de 2014.

[32] CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

[33] CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. **Convênio ICMS 52, de 30 de junho de 2015**. Dispõe sobre a adesão dos Estados do Ceará e do Tocantins ao Convênio ICMS 16/15, que autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

[34] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015.** Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD.

[35] BANCO DO NORDESTE. **FNE Sol.** 2019. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/fne-sol>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[36] AMBIENTE ENERGIA. **Novo Construcard inclui equipamentos de energia fotovoltaica.** 2017. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br>. Acesso em: 24 de fev. de 2019.

[37] BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO - BNDES. **Circular SUP/ADIG nº 03/2018-BNDES, de 15 de outubro de 2018.** Dispõe sobre a reabertura, a partir de 17.10.2018, do protocolo, no BNDES, de pedidos de financiamento relativos a operações de investimento no âmbito do Programa BNDES Fundo Clima – Subprograma Máquinas e Equipamentos Eficientes.

[38] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **II Plano de Metas Governamentais - II PLAMEG** (Diagnóstico). Fortaleza: Imprensa Oficial, 1979.

[39] ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL - APROBIO. **Biodiesel e sua linha de tempo. 2017.** Disponível em: <https://aprobio.com.br/>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[40] WOBBEN WINDPOWER. **Apresentação da empresa. 2019.** Disponível em: <http://www.wobben.com.br>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[41] ELETROBRAS. **Proinfa.** 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[42] AERIS ENERGY. **Sobre Aeris Energy.** 2019. Disponível em: <http://www.aerisenergy.com.br>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[43] VESTAS. **A Vestas no Brasil.** 2019. Disponível em: <http://br.vestas.com>. Acesso em: 28 de jun. de 2019.

[44] CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - COEMA. **Resolução Coema nº 03, de 03 de abril de 2016**. Estabelece prazo para que os municípios que já executavam a atividade de licenciamento e autorização ambiental anteriormente à publicação da Resolução nº 01/2016 deste Conselho se adéquem aos critérios e parâmetros nela estabelecidos.

[45] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Decreto nº 32.438, de 08 de dezembro de 2017.** Regulamenta a Lei nº 10.367, de 7 de dezembro de 1979, que dispõe acerca do Fundo de Desenvolvimento Industrial do Ceará (FDI), e dá outras providências.

[46] CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - COEMA. **Resolução Coema nº 06, de 06 de setembro de 2018.** Dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE para os empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar no Estado do Ceará.

[47] CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - COEMA. **Resolução Coema nº 07, de 06 de setembro de 2018.** Alteração da resolução Coema nº 05, de 12 de julho de 2018, dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Semace para os empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte eólica no Estado do Ceará.

[48] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Geração Distribuída.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[49] MOLLY, J. P. Wind Energy - Quo Vadis?, **DEWI Magazine,** vol. 34, fev. 2009.

[50] GENERAL ELECTRIC - GE. **Wind turbines are about to get much bigger - GE Reports**. 2017. Disponível em: <https://www.ge.com>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

[51] ESTEBAN, M. D.; DIEZ, J. J.; LÓPEZ, J. S.; NEGRO, V. Why offshore wind energy?, **Renewable Energy**, vol. 36, nº 2, p. 444–450, 2011.

[52] COMMUNITY RESEARCH AND DEVELOPMENT INFORMATION SERVICE - CORDIS. **New technology aims to boost wind energy efficiency in Europe.** 2019. Disponível em: <https://cordis.europa.eu>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

[53] CRUZ, J.; ATCHESON, M. **Floating offshore wind energy: the next generation of wind energy.** Springer International Publishing, 2016.

[54] INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE - PROCOBRE. **Qualidade em instalações de aquecimento solar: boas práticas.** São Paulo, 2009.

[55] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-15569: Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação.** Rio de Janeiro, 2008.

[56] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Portaria nº 395, de 10 de novembro de 2008.** Estabelecer os critérios para o programa de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos de aquecimento solar de água, através do mecanismo da etiquetagem, para utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – Ence, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando a eficiência energética e adequado nível de segurança.

[57] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Technology roadmap: solar thermal electricity.** Paris, France: IEA, 2014. Disponível em: <https://www.iea.org>.

[58] KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems.** 2. ed. Boston: Academic Press, 2013.

[59] MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais,** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

[60] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS. **Photovoltaics report.** Freiburg: Fraunhofer ISE, mar. 2019. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/>. Acesso em: 21 de jun. de 2019.

[61] FRONTIN, S. de O.; BRASIL JR., A. C. P.; CARNEIRO, M. T. D.; GODOY, D. R. N. **Usina fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia.** 1. ed. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2017.

[62] SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL -SENAI; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT - GIZ. **Energia fotovoltaica - Especialista técnico em energia solar fotovoltaica.** Brasília: SENAI, GIZ, 2018.

5 METODOLOGIA *METHODOLOGY*

[1] AWS TRUEPOWER. **Description of the Mesomap System.** Albany: AWS Truepower, LLC, 2012. Disponível em: <https://aws-dewi.ul.com>.

[2] AWS TRUEPOWER. **Wind resource maps & data - Methods and validation.** Albany: AWS Truepower, LLC, 2012. Disponível em: <https://aws-dewi.ul.com>.

[3] SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D.; DUDA, M. G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J. G. **A description of the Advanced Research WRF version 3.** Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research - NCAR, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, 2008.

[4] DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, D P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, **Quarterly Journal of the royal meteorological society**, vol. 137, nº 656, p. 553–597, 2011.

[5] NAKANISHI, M.; NIINO, H. An improved Mellor–Yamada level-3 model: its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog, **Boundary-Layer Meteorology**, vol. 119, nº 2, p. 397–407, maio 2006.

[6] MLAWER, E. J.; TAUBMAN, S. J.; BROWN, P. D.; IACONO, M. J.; CLOUGH, S. A. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, **Journal of Geophysical Research**, vol. 102, nº D14, p. 16663–16682, 1997.

REFERÊNCIAS
REFERENCES

[7] DUDHIA, J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, J**ournal of the atmospheric sciences**, vol. 46, nº 20, p. 3077–3107, 1989.

[8] HONG, S.-Y.; DUDHIA, J.; CHEN, S.-H. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation, **Monthly Weather Review**, vol. 132, nº 1, p. 103–120, 2004.

[9] TEWARI, M.; CHEN, F.; WANG, W.; DUDHIA, J.; LEMONE, M. A.; MITCHELL, K.; EK, M.; GAYNO, G.; WEGIEL, J.; CUENCA, R. H. Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. In: **20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction**, 2004. Seattle: American Meteorological Society, p. 11–15.

[10] KAIN, J. S. The Kain–Fritsch convective parameterization: an update, **Journal of applied meteorology**, vol. 43, nº 1, p. 170–181, 2004.

[11] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Shuttle Radar Topography Mission - SRTM**. 2019. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 07 de fev. de 2019.

[12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250**. 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[13] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018**. 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[14] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa físico da região Nordeste**. 2013. 1 mapa. Escala 1 : 2 000 000.

[15] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013**. 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[16] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE RODOVIAS DO CEARÁ - DER-CE. **Mapa rodoviário e político 2018**. Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:750.000.

[17] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MTPA. **Rede ferroviária federal**. 2018. Disponível em: <http://dados.gov.br/>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[18] LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R. Parâmetros de rugosidade aerodinâmica sobre vegetação esparsa em região semi-árida, **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 22, nº 2, p. 262–272, 2007.

[19] MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; DE MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; DA COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará, **Rodriguésia**, vol. 66, nº 3, p. 717–743, 2015.

[20] MAPBIOMAS. **Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 de fev. de 2019.

[21] GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANDLES, C. A.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M. G.; REICHLE, R. The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.

[22] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. Brasília: INMET**, Nota Técnica nº 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, 2011. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 de jan. de 2019.

[23] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Rede de estações automáticas**. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 20 de abr. de 2019.

[24] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Plataforma de Coleta de Dados - PCD**. 2019. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/pcd/>. Acesso em: 04 de fev. de 2019.

[25] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, 2018.

[26] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilões de energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos**. Rio de Janeiro: NOTA TÉCNICA DEA 08/14, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[27] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Expansão da geração - Empreendimentos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: EPE-DEE-RW-065/2013-r4, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

[28] ONG, S.; CAMPBELL, C.; DENHOLM, P.; MARGOLIS, R.; HEATH, G. **Land-use requirements for solar power plants in the United States**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory - NREL, NREL/TP-6A20-56290, 2013.

6 MAPAS EÓLICOS E SOLARES
WIND AND SOLAR MAPS

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250**. 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018**. 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013**. 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[4] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE RODOVIAS DO CEARÁ - DER-CE. **Mapa rodoviário e político 2018**. Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:750.000.

[5] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MTPA. **Rede ferroviária federal**. 2018. Disponível em: <http://dados.gov.br/>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **WebMap EPE**. 2019. Disponível em: <gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>. Acesso em: 04 de abr. de 2019.

[7] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico - SIGEL**. 2019. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 17 de abr. de 2019.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Base de Dados Geográfica da Distribuidora – BDGD**. 2017. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

[9] FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO - FUNAI. **Terras indígenas**. 2019. Disponível em: <http://www.funai.gov.br>. Acesso em: 03 de abr. de 2019.

[10] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Dados georreferenciados - Cadastro nacional de unidades de conservação**. 2019. Disponível em: <mapas.mma.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[11] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA. **Unidades de conservação**. 2019. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/unidades-de-conservacao-2/>. Acesso em: 01 de abr. de 2019.

[12] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Shuttle Radar Topography Mission - SRTM**. 2019. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 07 de fev. de 2019.

[13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 2533: Standard atmosphere**. Geneva, Switzerland, 1975.

[14] PICARD, A.; DAVIS, R. S.; GLÄSER, M.; FUJII, K. Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), **Metrologia**, vol. 45, nº 2, p. 149, 2008.

[15] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, 2018.

[16] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Rede de estações automáticas**. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 20 de abr. de 2019.

[17] DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. **Cartas náuticas**. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/>. Acesso em: 02 de abr. de 2019.

[18] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **GeoANP - Mapa de dados georreferenciados**. 2019. Disponível em: <http://geo.anp.gov.br>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.

[19] BECKER, J. J.; SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; BRAUD, J.; BINDER, B.; DEPNER, J. Global bathymetry and elevation data at 30 Arc seconds resolution: SRTM30_PLUS, **Marine Geodesy**, vol. 32, nº 4, p. 355–371, nov. 2009.

[20] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Plataforma de Coleta de Dados - PCD**. 2019. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/pcd/>. Acesso em: 04 de fev. de 2019.

[21] INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Mapa localização de assentamentos**. 2019. Disponível em: <http://www.incra.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[22] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. **Sistema Informativo de Monitoria de RPPN - SIMRPPN**. 2019. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/>. Acesso em: 09 de abr. de 2019.

[23] MAPBIOMAS. **Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 de fev. de 2019.

[24] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Área Susceptível à Desertificação - ASD**. Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:1.200.000.

7 ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

ANALYSIS AND DIAGNOSTICS

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018**. 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BEN - Séries históricas completas**. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 02 de jul. de 2019.

[3] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** Brasília: 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br>.

[4] CASTRO, A. S. F.; MORO, M. F.; MENEZES, M. O. T. De. O complexo vegetacional da zona litorânea no Ceará: Pecém, São Gonçalo do Amarante, **Acta Botanica Brasilica**, vol. 16, nº 1, p. 108–124, 2012.

[5] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Ceará em mapas - Principal**. 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 29 de jan. de 2019.

[6] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Brasil em síntese - Ceará**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 de mar. de 2019.

[7] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim mensal de geração eólica**. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[8] NUNES, H. M. P. **Avaliação do potencial eólico ao largo da costa nordeste do Brasil**, Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

[9] DE SOUZA, A. G. Q. et al. North and Northeast Brazil offshore wind power. In: **13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society**, 2013. Rio de Janeiro: SBGf, p. 1–5.

[10] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA; DIRETORIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL - DILIC; SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO AMBIENTAL - SIGA. **Ficha de caracterização de atividade - FCA**. FCA nº 140661/2017, jun. 2017. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>.

[11] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Questões sobre a implantação do preço horário no mercado de curto prazo**. 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 23 de jul. de 2019.

[12] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Geração Distribuída**. 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[13] PITTELOUD, J.-D.; GSÄNGER, S. **2017 Small wind world report summary**. Bonn, Alemanha: WWEA, 2017.

[14] INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **IPECEDATA - Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará**. 2019. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 16 de jun. de 2019.

[15] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim mensal de geração por Estado**. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[16] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

[17] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 de abr. de 2019.

[18] MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais,** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

[19] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **SHC Task 49 - Solar heat integration in industrial processes**. Disponível em: <http://task49.iea-shc.org/>. Acesso em: 11 de jul. de 2019.

[20] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico - SIGEL**. 2019. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 17 de abr. de 2019.

A APÊNDICE SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO

APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

[1] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** Brasília: 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br>.

[2] FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Área Susceptível à Desertificação - ASD**. Ceará, 2018. 1 mapa. Escala 1:1.200.000.

[3] WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey.** 2. ed. Burlington, EUA: Elsevier Academic Press, 2006.

[4] World Meteorological Organization. **WMO guidelines on generating a defined set of national climate monitoring products.** Genebra, Suíça, 2017.

[5] INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Assentamentos.** 2019. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/assentamento>. Acesso em: 21 de jun. de 2019.

[6] HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology.** 4. ed. London: Academic Press, 2004.

[7] STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology.** Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.

[8] SCOTTISH INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY RESEARCH - SISER. **Organic Photovoltaics (OPV).** 2019. Disponível em: <http://www.siser.ac.uk>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[9] NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMIES PRESS. **Environmental impacts of wind-energy projects.** Washington, D.C: National Academies Press, 2007.

REFERÊNCIAS
REFERENCES

[10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Glossário.** 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 02 de maio. de 2019.

[11] PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. **Base científica das mudanças climáticas - Primeiro relatório de avaliação nacional.** vol. 1. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: COPPE, 2014.

[12] PERSSON, A. How Do We Understand the Coriolis Force?, **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 79, nº 7, p. 1373–1385, jul. 1998.

[13] NASA SCIENCE. **How do photovoltaics work? 2008.** Disponível em: <https://science.nasa.gov>. Acesso em: 18 de jun. de 2019.

[14] FRONTIN, S. de O.; BRASIL JR., A. C. P.; CARNEIRO, M. T. D.; GODOY, D. R. N. **Usina fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia.** 1. ed. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2017.

[15] 64 SOLAR. **Glossary of solar energy terms. 2019.** Disponível em: <https://www.64solar.com>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[16] WORLD ENERGY COUNCIL - WEC. **Survey of energy resources.** London: World Energy Council, 1995.

[17] KALOGIROU, S. **A. Solar energy engineering: processes and systems.** 2. ed. Boston: Academic Press, 2013.

[18] BURTON, T.; JENKINS, N.; SHARPE, D.; BOSSANYI, E. **Wind energy handbook.** 2. ed. Chichester, West Sussex: Wiley, 2011.

[19] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

[20] BHOPAL, R. Glossary of terms relating to ethnicity and race: for reflection and debate, **Journal of Epidemiology & Community Health,** vol. 58, nº 6, p. 441–445, 2004.

[21] U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - DOI. **LandSat 8**. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov>. Acesso em: 16 de maio. de 2019.

[22] BARROS, K. de O. **Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião norte de Minas,** Monografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

[23] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. **Leilões de energia**. 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 01 de maio. de 2019.

[24] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Licenciamento ambiental.** 2019. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 28 de abr. de 2019.

[25] NETO, M. C. P.; DA SILVA, N. M. Relevos residuais (maciços, inselbergues e cristas) como refúgios da biodiversidade no Seridó Potiguar, **Revista Geonorte**, vol. 3, nº 4, p. 262–273, 2012.

[26] GELARO, R. et al. The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.

[27] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Ambiente de Contratação Livre - ACL**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

[28] BROWER, M.; BAILEY, B.; ZACK, J. Micrositing using the MesoMap System. In: WindPower Conference, 2002. **Proceedings of AWEA 2002 Conference.** Portland, Oregon: AWEA.

[29] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.** Brasília, 2009.

[30] CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC/INPE. **LMA - Laboratório de Modelagem Atmosférica.** 2015. Disponível em: <http://lma.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

[31] INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. **Patrimônio Arqueológico.** 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

[32] MORAIS, J. O. De et al. Caracterização fisiográfica e geoambiental da zona costeira do estado do Ceará, **Erosão e progradação no litoral brasileiro,** p. 131–154, 2006.

[33] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa n°67, de 8 de junho de 2004**. Estabelece critérios para a composição da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional, e dá outras providências.

[34] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa n°674, de 11 de agosto de 2015**. Aprova a revisão do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico - MCPSE, instituído pela Resolução Normativa nº 367, de 2 de junho de 2009.

[35] LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley Sons, 2006.

[36] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Glossário de termos técnicos**. 2009. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 02 de maio. de 2019.

[37] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa n° 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada.

[38] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 61724-1 Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring**. Genebra, Suíça, 2017.

[39] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica - Terminologia.** 2013.

[40] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Unidades de Conservação - Categorias**. 2019. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 15 de jun. de 2019.

[41] WHITEMAN, C. D. **Mountain meteorology: fundamentals and applications**. New York: Oxford University Press, 2000.

APÊNDICE E
MAPAS COMPLEMENTARES
APPENDIX E – COMPLEMENTARY MAPS

[1] CHULLIAT, A. et al. **Out-of-cycle update of the US/UK World Magnetic Model for 2015-2020**. National Centers for Environmental Information - NOAA, Technical Note, 2019.

[2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil, 1: 250.000 - BC250**. 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2013.** 2019. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 de maio. de 2018.

[4] GLOBAL HYDROLOGY RESOURCE CENTER - GHRC. **LIS/OTD Gridded lightning climatology data sets. 2019.** Disponível em: <lightning.nsstc.nasa.gov>. Acesso em: 10 de jun. de 2019.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal 2018.** 2019. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações,** Rio de Janeiro, p. 66, 1988.

A APÊNDICE
SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO
APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

Siglas e Acrônimos Utilizados nos Mapas	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
DT	Distribuição
EOL	Usina Eólica
LD	Linha de Distribuição
LT	Linha de Transmissão
PI	Proteção Integral
SE	Subestação
TI	Terra Indígena
TS	Transmissão
UFV	Usina Fotovoltaica
UTE	Usina Termelétrica

Outras Siglas e Acrônimos Utilizados	
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABENS	Associação Brasileira de Energia Solar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AOD	Profundidade Óptica de Aerossóis
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
ARPA-E	*Advanced Research Projects Agency – Energy*
ARW	*Advanced Research WRF*
ASD	Área Susceptível à Desertificação
a-Si	Silício Amorfo
BIG	Banco de Informações de Geração da ANEEL
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CBENS	Congresso Brasileiro de Energia Solar
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CDC	Cinturão Digital do Ceará
CdTe	Telureto de Cádmio
CENEA	Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente
C&S	Camargo-Schubert Engenheiros Associados
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIGS	Cobre, Índio, Gálio e Seleneto
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGIAR	*Consultative Group on International Agricultural Research*
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CIEMAT	*Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas*
CIN/CE	Centro Internacional de Negócios do Ceará
CLP	Centro de Liderança Pública
CNTTL	Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transportes e Logística
CNUCD	Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação
COELCE	Companhia Energética do Ceará
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CP	Cúmulus
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
CSEólica	Câmara Setorial de Energia Eólica
CSP	*Concentrating Solar Power*
CSRenováveis/CE	Câmara Setorial de Energias Renováveis do Ceará
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
DENEF	Divisão de Licenciamento Ambiental de Energia Nuclear, Térmica, Eólica e de Outras Fontes Alternativas
DER-CE	Departamento Estadual de Rodovias do Ceará
DHI	Irradiância Difusa Horizontal
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DLR	*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*
DNI	Irradiância Normal Direta
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOE	*U. S. Department of Energy*
DOI	*U. S. Department of the Interior*
ECMWF	*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*
EE	Estação Ecológica
EEE	Estação Ecológica Estadual
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMA	Estações Meteorológicas Automáticas
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERA5	*ECMWF Re-Analysis, 5th Generation*
ERA-Interim	ECMWF dados de reanálises versão *Interim*
ESEC	Estação Ecológica
EVI	Índice de Vegetação
FAA	*Federal Aviation Administration*
FDI	Fundo de Desenvolvimento Industrial
FEE	Fundação de Economia e Estatística
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
FIEE	Fundo de Incentivo à Eficiência Energética e Geração Distribuída
FLONA	Floresta Nacional
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GD	Geração Distribuída
GEOS	*Goddard Earth Observing System Data Model*
GES DISC	*Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*
GHI	Irradiância Global Horizontal
GMAO	*Global Modeling and Assimilation Office*
GTZ	Agência Alemã de Cooperação Técnica
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
Ideal	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
IEA	*International Energy Agency*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IFC	*International Finance Corporation*
IFN-CE	Inventário Florestal Nacional do Ceará

INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IRENA	*International Renewable Energy Agency*
ISO	*International Organization for Standardization*
LandSat	*Land Remote Sensing Satellite*
LER	Leilão de Energia de Reserva
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
LI	Linhas de Instabilidade
LIDAR	*Light Detection And Ranging*
LO	Lei Ordinária
LSM	Modelo de Superfície do Solo
LW	Radiação de Onda Longa
MapBiomas	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
MASS	*Mesoscale Atmospheric Simulation System*
MEASNET	*Measuring Network of Wind Energy Institutes*
MERRA2	*Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications, Version 2*
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MODIS	*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*
MoNA	Monumento Natural
MP	Microfísica
MTPA	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
MYNN	Mellor-Yamada Nakanishi Niino
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NBR	Norma Brasileira
NCAR	*National Center for Atmospheric Research*
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
NOCT	Temperatura Nominal de Operação da Célula
NREL	*National Renewable Energy Laboratory*
NT-Solar	Núcleo de Tecnologia em Energia Solar
NWP	Previsão Numérica do Tempo
NWS	*National Weather Service*
O&M	Operação e Manutenção
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OLI	*Operational Land Imager*
ONS	Operador Nacional do Sistema
OPV	*Organic PhotoVoltaics*
PAN-Brasil	Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PBL	Camada Limite Planetária
PCDs	Plataformas de Coleta de Dados
PE	Parque Estadual
PIB	Produto Interno Bruto
PIER	Programa de Incentivos da Cadeia Produtiva Geradora de Energias Renováveis
PIS	Programa de Integração Social
PLAMEG	Plano de Metas do Governo do Estado
PN	Parque Nacional
PNM	Parque Natural Municipal
POA	Irradiância Total no Plano Inclinado
Procobre	Instituto Brasileiro do Cobre
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PROEÓLICA	Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PV	Fotovoltaico
PWC	PricewaterhouseCoopers
Q	Quilombo
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RDS	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
REBIO	Reserva Biológica
RESEX	Reserva Extrativista
REVIS	Refúgio de Vida Silvestre
RF	Reserva de Fauna
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMSPE	Raiz do Erro Médio Quadrático Percentual
RN	Resolução Normativa
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RRTM	*Rapid Radiative Transfer Model*
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SDA	Secretaria do Desenvolvimento Agrário
SDE	Secretaria de Desenvolvimento Econômico
SEBRAE/CE	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará
SEINFRA/CE	Secretaria da Infraestrutura do Ceará
SEMA/CE	Secretaria do Meio Ambiente do Ceará
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINDIE-NERGIA/CE	Sindicato das Indústrias de Energia e de Serviços do Setor Elétrico do Estado do Ceará
SL	Camada Superficial
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SODAR	*Sound Detection And Ranging*
SRREN	*Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*
STC	Condições Padrão de Teste
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SW	Radiação de Onda Curta
TMY	*Typical Meteorological Year*
TNL	Ferrovia Transnordestina Logística
TRMM	*Tropical Rainfall Measurement Mission*
UC	Unidade de Conservação
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGS	*United States Geological Survey*
UV	Ultravioleta
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WRF	*Weather Research and Forecasting*
WSM5	*WRF Single-moment 5-class*
WT	Turbina Eólica
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZPE CEARÁ	Zona de Processamento de Exportação do Ceará

Sistema de Unidades

UNIDADES DE MEDIDA UTILIZADAS EM SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA E FOTOVOLTAICOS:

Quilowatt [kW]	unidade de potência equivalente a 1 000 W
Quilowatt -hora [kWh]	unidade de energia equivalente a 1 000 Wh ou 3 600 kJ
Watt [W]	unidade de potência referente a um joule por segundo [J/s]
Watt-hora [Wh]	unidade que representa a quantidade de energia necessária para alimentar uma carga com potência de 1 Watt durante 1 hora
Watt-pico [W_p]	unidade de medida utilizada para caracterizar módulos fotovoltaicos, referente à potência [W] gerada quando em condições padrão de teste; trata-se da potência máxima que um módulo pode fornecer em condições ideais.
Metros por segundo [m/s]	unidade de medida utilizada para identificar a velocidade do vento.

APÊNDICE A
SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO
APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

GLOSSÁRIO

AEROGERADOR - conjunto eletromecânico utilizado para converter a energia do vento em energia elétrica, composto, na versão moderna, por torre, nacele (abrigando o gerador elétrico) e rotor.

AEROSSÓIS - pequenas partículas em estado sólido ou líquido que se encontram dispersas no ar.

ALBEDO - fração entre a radiação refletida pela superfície terrestre e a incidente total.

ALÍSIOS - ventos típicos de regiões tropicais, resultantes da diferença entre a alta pressão nos trópicos e a baixa pressão no Equador. Devido ao efeito de Coriolis, as massas de ar no Hemisfério Sul giram em torno dos centros de alta pressão, no sentido anti -horário. No Nordeste brasileiro, os alísios vêm, predominantemente, da direção sudeste[3].

ANEMÔMETRO - instrumento utilizado para medir a velocidade do vento.

ANO CLIMATOLÓGICO - média de diversos anos de uma variável qualquer em análise (i.e. velocidade do vento, precipitação, umidade relativa, pressão atmosférica, etc.), formando um ano médio (12 meses) desta variável.

ANOMALIA - diferença entre o valor de uma variável em um determinado instante e a média padrão dessa variável, calculada para um longo período (recomendado 30 anos)[4].

ANTICICLONE - centro de alta pressão de onde o vento diverge, em grande escala. Os ventos ao redor do anticiclone circulam, no Hemisfério Sul, no sentido anti-horário.

ÁREAS APTAS - expressão utilizada na presente publicação em referência às áreas consideradas apropriadas para a instalação de projetos de aproveitamento solar e/ou eólico, delimitadas com base em técnicas de geoprocessamento e mapas de uso e cobertura da terra.

ÁREAS DEGRADADAS - áreas inteiramente transformadas, com modificações ambientais de severas a irreversíveis, expondo evidências de desertificação[1], ou áreas com cobertura vegetal primária transformada, com solo e biodiversidade comprometidas. No Ceará, as áreas degradadas foram mapeadas pela FUNCEME[2].

ARRENDAMENTO - contrato pelo qual o proprietário de imóvel rural ou urbano (arrendador) cede a outra pessoa (arrendatário), por tempo determinado ou não, o direito de uso da propriedade, mediante recebimento de pagamento.

ASSENTAMENTO - conjunto de unidades agrícolas independentes entre si, criadas pela divisão de um imóvel rural que pertencia a um único proprietário e usualmente alienado por desapropriação, sendo entregues a famílias de baixa renda pelo INCRA[5].

AZIMUTE - ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado.

BARLAVENTO - direção de onde sopra o vento.

BIOMA - conjunto de ecossistemas, *habitat* ou comunidades biológicas razoavelmente homogêneas, cujas características são definidas por diferentes fatores como o clima e a altitude.

BRISA DE MONTANHA - circulação de ar que ocorre principalmente durante a noite, devido ao arrefecimento do ar na montanha, formando correntes de ar da montanha para o vale.

BRISA DE VALE - circulação de ar que ocorre principalmente durante o dia, em virtude do aquecimento de uma face de montanha, formando correntes de ar do vale para a montanha.

BRISA MARÍTIMA - circulação de ar que ocorre durante o dia, do mar em direção à terra, devido ao aquecimento da superfície terrestre.

BRISA TERRESTRE - circulação de ar que ocorre durante a noite, da terra em direção ao mar, devido ao resfriamento da superfície terrestre.

CAATINGA - vegetação típica do Nordeste brasileiro de clima semiárido, com poucas folhas e adaptada para os períodos de seca, além de grande biodiversidade.

CAMADA DE EKMAN - camada de fluido em que o fluxo é o resultado do equilíbrio entre o gradiente de pressão, a força inercial de Coriolis e a força de arrasto turbulento. O conceito foi proposto pelo oceanógrafo sueco Vagn Walfrid Ekman (1874-1954) e é utilizado nos estudos e modelagem da circulação atmosférica e da hidrodinâmica dos oceanos[6].

CAMADA-LIMITE ATMOSFÉRICA - camada atmosférica influenciada pela superfície terrestre, tipicamente estendendo-se até a altura de 1 km, de acordo com o tipo de cobertura da terra e horário do dia. O conceito teórico de camada-limite permite a modelagem e entendimento de uma série de fenômenos termodinâmicos e atmosféricos em diferentes escalas temporais e espaciais[6], [7].

CÉLULA FOTOVOLTAICA ORGÂNICA - célula fotovoltaica que utiliza moléculas orgânicas com ligações duplas conjugadas capazes de transportar elétrons[8].

CÉLULA SOLAR - dispositivo que converte energia solar em elétrica.

CENTRO CONSUMIDOR - concentração de unidades consumidoras de energia elétrica em uma determinada região geográfica. Exemplos de centros consumidores são indústrias, cidades e vilas. As informações sobre os centros consumidores são utilizadas para o dimensionamento e planejamento estratégico do sistema elétrico de transmissão e distribuição.

CICLONE - centro de baixa pressão para onde o vento converge, em grande escala. Os ventos ao redor do ciclone circulam, no Hemisfério Sul, no sentido horário.

CINTILAÇÃO DE SOMBRA (*SHADOW FLICKER*) - efeito de cintilação causado pela sombra dos rotores de aerogeradores em movimento. A sombra (*flicker*) ocorre em função da latitude, da direção do vento, da altura do sol, da rotação das pás e da posição relativa entre as turbinas eólicas e os objetos estacionários, sob condições específicas[9].

CLIMATOLOGIA - estudo do clima, englobando suas características e influências, em diversas escalas temporais.

COBERTURA VEGETAL - tipos ou formas de vegetação de origem natural ou plantada que recobrem uma determinada área ou terreno.

CURVA DE POTÊNCIA - curva teórica ou medida que indica a potência elétrica gerada por determinado modelo de painel fotovoltaico ou aerogerador, em função, respectivamente, da radiação solar incidente e temperatura ou da velocidade do vento e densidade do ar.

DATALOGGER - dispositivo eletrônico para registro digital de dados meteorológicos provindos de múltiplos sensores.

DENSIDADE DO AR - medida da concentração de massa por unidade de volume da atmosfera terrestre. O valor de densidade é de interesse para a engenharia eólica por ser diretamente proporcional à energia do vento.

DIREÇÃO DO VENTO - direção em relação ao Norte geográfico de onde o vento sopra. Diferentemente do rumo, o sentido aponta para o centro da rosa dos ventos. Os valores são geralmente representados por pontos cardeais, colaterais e subcolaterais ou valores em graus.

DISTRIBUIDORA DE ENERGIA - agente titular de concessão para prestar serviço público de distribuição de energia elétrica[10].

***DOWNSCALING* DINÂMICO (REGIONALIZAÇÃO)** - abordagem que inclui o uso e/ou desenvolvimento de modelos (dinâmicos) climáticos regionais utilizando condições iniciais e de contorno oriundas de modelos de circulação globais. Tais modelos têm a capacidade de representar fenômenos meteorológicos de escala global e, com o aninhamento de grades refinadas, conseguem também representar de forma mais precisa os fenômenos de escala local e regional[11].

ECLÍPTICA SOLAR - órbita aparente do Sol na esfera celeste, descrevendo o movimento aparente do Sol ao longo do ano.

EFEITO CORIOLIS - força inercial proposta pelo matemático e engenheiro francês Gaspard Gustave Coriolis (1792-1843) que explica a lei da cinética: "No Hemisfério Norte, toda partícula em movimento do polo para o Equador é desviada para sua direita e no Hemisfério Sul, para a sua esquerda". Em meteorologia, é um fenômeno fundamental para explicar os movimentos das massas de ar e a circulação atmosférica[12].

EFEITO ESTUFA - fenômeno natural pelo qual o calor é retido pela atmosfera terrestre, sendo intensificado pela presença de gases gerados por atividades poluidoras, tais como o CO_2.

EFEITO FOTOELÉTRICO - emissão de elétrons de um material quando exposto à radiação eletromagnética[13].

EFEITO FOTOVOLTAICO - aparecimento de tensão e corrente elétrica em um dispositivo quando exposto à radiação solar[13].

EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (EL NIÑO e LA NIÑA) - padrões extremos de oscilações climáticas naturais resultantes de interações entre a atmosfera e o oceano. O El Niño está associado ao aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial e a La Niña está associada ao seu resfriamento.

ENERGIA RENOVÁVEL - termo que designa as fontes energéticas que não se esgotam com sua utilização ao longo do tempo, podendo se regenerar em tempo relativamente curto, tais como: radiação solar, energia geotérmica, marés, biomassa, vento e recursos hídricos[16].

EQUINÓCIO - início da primavera e do outono, quando a incidência de radiação solar é maior próximo à linha do equador[17], e os dias e noites são aproximadamente equivalentes.

ESPECTRO SOLAR - distribuição total da radiação eletromagnética emitida pelo Sol.

ESTABILIDADE TÉRMICA - parâmetro característico da atmosfera próxima à superfície terrestre que permite inferir sobre suas propriedades termodinâmicas e sobre o escoamento horizontal do vento.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - local onde se encontra instalado um conjunto de equipamentos utilizados para medir dados meteorológicos com finalidades diversas.

ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA - local onde se encontra instalado um conjunto de equipamentos utilizados para medir dados de radiação solar, bem como outros parâmetros meteorológicos, com o propósito de avaliação do recurso solar.

EXPOENTE DE CAMADA-LIMITE - parâmetro adimensional que caracteriza a forma do perfil vertical do vento, diretamente relacionado às características de cobertura e uso do solo. É o expoente da função matemática que define a velocidade do vento a partir da altura.

FATOR DE CAPACIDADE - razão entre a produção de energia elétrica efetiva em um período de tempo e a máxima produção de energia elétrica possível (potência nominal) durante esse mesmo período.

FATOR DE FORMA DE WEIBULL *[k]* - parâmetro adimensional que determina a forma da distribuição de probabilidade contínua, proposta pelo engenheiro e matemático Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1877-1979). Trata-se da distribuição estatística com melhor aderência a dados de velocidade do vento[18].

FAUNA - termo que denota a vida animal e a diversidade de espécies.

FAUNA ALADA - conjunto dos animais voadores. (i.e. pássaros, borboletas, insetos, morcegos).

FENOLOGIA - ramo da biologia que estuda os fenômenos e relações entre os ciclos biológicos e o clima. A fenologia da vegetação indica os períodos de crescimento, floração e senescência.

FLORA - conjunto de espécies vegetais (plantas, árvores, etc.) de uma determinada região ou ecossistema.

FÓTON - partícula elementar, o *quantum* da interação eletromagnética e a unidade básica de luz e de todas as outras formas de radiação eletromagnética. A radiação solar chega à superfície das células fotovoltaicas na forma de fótons, fornecendo a principal energia que ativa as células a produzir eletricidade[15].

GERAÇÃO CENTRALIZADA - forma tradicional de geração de energia elétrica, em que se utiliza uma grande fonte geradora para a transformação da energia.

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - tipo de geração de energia elétrica caracterizado pela injeção direta da energia produzida na rede de distribuição e próxima da carga. Normalmente presente em residências, comércio e indústrias, distribui-se nos grupos de microgeração (potência instalada menor que 75 kW) e minigeração (potência instalada entre 75 kW e 5 MW)[19].

GERAÇÃO ISOLADA - tipo de geração de energia elétrica caracterizado pela inexistência de conexão à rede de transmissão ou distribuição. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico.

GRUPOS ÉTNICOS - conjunto de pessoas identificadas por tradição social e cultural, mantida de geração em geração, por história e origem comuns e um senso de identificação de grupo[20].

IMAGENS LANDSAT 8 OLI - imagens adquiridas pelo sensor *Operational Land Imager* - OLI, a bordo do satélite artificial *Land Remote Sensing Satellite 8* - LandSat 8, disponibilizadas gratuitamente para toda superfície terrestre desde o ano de 2013, como parte do programa norte-americano de observação da Terra[21].

ÍNDICE DE ARIDEZ - relação entre o nível de pluviosidade e a máxima perda possível de água por evaporação e transpiração, utilizado como parâmetro de identificação das áreas susceptíveis à desertificação[22].

INVERSOR - equipamento responsável primordialmente por converter a energia de corrente contínua para corrente alternada, ou vice-versa. Utilizado também para monitorar a geração, detectar anomalias na rede elétrica, efetuar o chaveamento do sistema, entre outras. Apresentam várias topologias, como os inversores *off grid* (utilizados em sistemas isolados), inversores *grid tie* ou *string inverter* (utilizados em sistemas conectados à rede), microinversores (utilizados individualmente no painel fotovoltaico de um sistema conectado à rede) e inversores centrais (utilizados em centrais geradoras conectadas à rede)[14].

IRRADIAÇÃO - integral da irradiância no tempo [W/m²/tempo].

IRRADIÂNCIA - medida instantânea da exposição à radiação incidente por unidade de área[W/m²].

ISOIETA - curvas que representam os pontos de igual precipitação.

ISOGÔNICA - isolinha na superfície terrestre formada por pontos com a mesma declinação magnética.

ISOPÓRICA - isolinha na superfície terrestre de constante variação do campo magnético terrestre, num intervalo de tempo fixo.

***KRIGING* OU KRIGAGEM** - método de interpolação espacial de dados. Desenvolvido por Daniel G. Krige e formalizado por Georges Matheron na década de 1960, também conhecido por "processo de regressão gaussiana".

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL – conjunto de leis que trata de questões ambientais, como preservação da fauna e da flora, onde também se prevê multas ou penas a serem aplicadas em casos de não cumprimento dessas leis.

LEILÕES DE ENERGIA - processos licitatórios realizados pelo governo brasileiro, por meio do MME e regulamentados pela ANEEL, com o objetivo de contratar a energia elétrica necessária para assegurar o pleno atendimento da demanda futura no Ambiente de Contratação Regulada – ACR (mercado das distribuidoras)[23].

LICENÇA DE INSTALAÇÃO - licença emitida pelo órgão ambiental que autoriza a instalação de um empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes nos planos, programas e projetos aprovados, incluindo medidas de controle ambiental e condicionantes[24].

LICENÇA DE OPERAÇÃO - licença emitida pelo órgão ambiental que autoriza a operação de um empreendimento ou atividade, após verificação do cumprimento das medidas de controle ambiental e das condições determinadas para a operação que constam nas etapas anteriores do processo de licenciamento[24].

LICENÇA PRÉVIA - licença emitida pelo órgão ambiental que atesta a viabilidade ambiental de empreendimentos, aprovando sua localização e concepção e estabelecendo condições a serem atendidas para a próxima fase[24].

LICENCIAMENTO AMBIENTAL - procedimento onde os órgãos competentes, após análises criteriosas de impactos, licenciam as atividades de instalações que possam causar algum tipo de dano ambiental[24].

MACIÇOS RESIDUAIS - relevos residuais com histórico de processos erosivos e oscilação climática, com características físico-ambientais distintas das áreas circundantes[25].

MARICULTURA – cultivo de animais e/ou organismos marinhos com fins principalmente alimentares. Destaca-se dentro desta a piscicultura, criação de peixes.

MAR TERRITORIAL - faixa de 12 milhas náuticas (22 quilômetros) de largura, medida a partir da linha de baixa-mar do litoral, segundo a Lei Nº 8617, de 4 de janeiro de 1993.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA, OU AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE - segmento do mercado de energia elétrica regulamentado pelo governo brasileiro, no qual se realizam operações de compra e venda de energia elétrica diretamente entre consumidores e geradoras ou comercializadoras, através de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos[27].

MERRA - base de dados climatológicos de reanálises, disponibilizada pelo *Global Modelling and Assimilation Office* da NASA, gerada a partir do sistema atmosférico de assimilação de dados *Goddard Earth Observing System Model, version 5* - GEOS-5[26].

MESOMAP - conjunto de processos para modelagem numérica em mesoescala da atmosfera para levantamento dos recursos eólicos. Baseia-se no modelo MASS[28], incorporando princípios tais como conservação da massa, quantidade de movimento e energia e efeitos viscosos e de estabilidade térmica sobre o gradiente vertical do vento.

METEOROLOGIA DE MESOESCALA - ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala intermediária entre a sinótica e a microescala, ou seja, variando de um a centenas de quilômetros, espacialmente, e de algumas a várias unidades de horas, temporalmente[3], [6].

METEOROLOGIA DE MICROESCALA - ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala inferior a um quilômetro, espacialmente, e a uma hora, temporalmente[3], [6].

METEOROLOGIA DINÂMICA - ramo da meteorologia que estuda os movimentos atmosféricos associados ao tempo e ao clima, de forma a considerar a atmosfera como um fluido contínuo[3], [6].

METEOROLOGIA SINÓTICA - ramo da meteorologia que estuda os fenômenos atmosféricos de escala de centenas de quilômetros, espacialmente, e de dias a meses, temporalmente[3], [6].

MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - termo definido pela Resolução Normativa n° 482[19], referente a central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW, que utilize fontes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada e esteja conectada à rede de distribuição através de uma unidade consumidora.

MICROSITING - estudo do posicionamento otimizado de aerogeradores em um projeto de energia eólica, por meio da maximização da geração de energia e da minimização das perdas por interferência aerodinâmica. São consideradas as características locais do vento, a topografia, os acessos, os limites fundiários, as variáveis econômicas e as restrições legais e ambientais, entre outras eventualmente arbitradas pelo empreendedor.

A APÊNDICE
SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO
APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - termo definido pela Resolução Normativa nº 482[19], referente a central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, que utilize fontes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada e esteja conectada à rede de distribuição através de uma unidade consumidora.

MÓDULO FOTOVOLTAICO - conjunto de várias células solares conectadas em série e/ou paralelo e encapsuladas com o objetivo de geração de energia elétrica.

NACELE - conjunto com carenagens instalado no topo da torre de um aerogerador que abriga, entre outros equipamentos, gerador elétrico, caixa multiplicadora, chassi de fixação do rotor e sistema de controle.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS - valores médios de dados climatológicos calculados para um período mínimo de 30 anos consecutivos, segundo a Organização Meteorológica Mundial[29].

OFFSHORE - região localizada no mar, além da linha litorânea.

PAINEL FOTOVOLTAICO - conjunto de módulos fotovoltaicos.

PARAMETRIZAÇÃO - método para representação de processos físicos e/ou de modelagem complexa que ocorram em uma escala espacial ou temporal inferior à resolução do modelo utilizado[30].

PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO - objetos, locais e outros vestígios com relevância para o estudo da evolução do planeta, da vida ou dos seres humanos e considerados bens patrimoniais da União[31].

PIRANÔMETRO - instrumento utilizado para medir a irradiância solar.

PLANALTOS SEDIMENTARES - áreas de relevo plano e elevado em relação ao nível do mar, com desgaste erosivo predominante, formados por rochas sedimentares.

PLANÍCIE LITORÂNEA - também conhecida por planície costeira, faixa estreita de terras de baixa altitude ao longo do litoral, formada por sedimentos depositados por processos eólicos, marinhos, fluviais ou combinados, dando origem às praias, contendo também dunas, restingas, manguezais, entre outras formações[32].

POTÊNCIA INSTALADA - em sistemas fotovoltaicos, soma da potência nominal dos inversores em kW ou soma da potência máxima de todos os módulos fotovoltaicos de um sistema, normalmente medida em kW_p. Em sistemas eólicos, soma da potência nominal de todos os aerogeradores de um parque ou complexo eólico, normalmente expressa em MW ou GW.

POTENCIAL EÓLICO - quantidade de energia elétrica que se espera produzir a partir do aproveitamento eólico em uma determinada área e período de tempo, levando em consideração as características do vento, o uso e cobertura da terra, restrições ambientais, e as características técnicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado.

POTENCIAL SOLAR - quantidade de energia elétrica que se espera produzir a partir do aproveitamento solar em uma determinada área e período de tempo, levando em consideração as características da radiação solar incidente, de temperatura ambiente, o uso e cobertura da terra, restrições ambientais, e as características técnicas dos equipamentos de conversão energética disponíveis no mercado.

RADIAÇÃO - propagação de energia no espaço por meio de partículas ou ondas, sem a necessidade de presença de meio material.

REANÁLISES - processo de integração de dados provenientes de vários sistemas de observação, de modelos numéricos e outras metodologias, que envolvem a reanálise e o reprocessamento de dados meteorológicos, abrangendo períodos históricos de décadas. O objetivo das reanálises é produzir conjuntos de dados de referência para estudos meteorológicos e climatológicos.

RECIFES ARTIFICIAIS – estrutura criada pelo homem no meio subaquático com objetivo de manter/recuperar a fauna marinha.

REDE BÁSICA - instalações de transmissão do SIN, de propriedade de concessionárias de serviço público de transmissão[33]. É constituída por todas as subestações e linhas de transmissão em tensões de 230 kV ou superior, excluindo aquelas para uso próprio e as destinadas à conexão linhas de transmissão e distribuição de uma concessionária de distribuição. Poderão ser incluídos ativos em tensões inferiores a 230 kV a critério da ANEEL.

REDES E LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO - conjunto de estruturas, utilidades, condutores e equipamentos elétricos, aéreos ou subterrâneos, utilizados para a distribuição da energia elétrica, operando em baixa, média e/ou alta tensão de distribuição (inferior a 230 kV)[34].

ROTOR - conjunto formado pelas pás e pelo cubo de um aerogerador. Turbinas eólicas comerciais possuem tipicamente rotores com três pás, número que resulta de um compromisso entre eficiência aerodinâmica, custo e minimização de cargas cíclicas[18].

SENSORIAMENTO REMOTO - ciência e arte que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas ou fenômenos) utilizando dispositivos de medição distantes, que registram a interação da radiação eletromagnética com a superfície ou alvo em estudo, normalmente embarcados em plataformas orbitais (satélites) ou em aeronaves[35].

SISTEMA DE APROVEITAMENTO SOLAR - conjunto de equipamentos capaz de converter a energia emitida pelo Sol em energia elétrica (i.e. sistema fotovoltaico ou CSP) ou em energia térmica (i.e. sistema de aquecimento solar).

SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - regulamentação implementada em Abril/2012 pela ANEEL, estabelecendo condições para acesso de minigeração e microgeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica, por meio da Resolução Normativa nº 482[19].

SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO - conjunto de linhas, subestações e demais equipamentos associados, necessários à interligação elétrica entre o sistema de transmissão ou geração e as instalações dos consumidores finais[34].

SISTEMA DE TRANSMISSÃO - conjunto de linhas de transmissão e subestações integrantes da Rede Básica, conforme Portaria DNAEE nº 244, de 28 de junho de 1996, e suas revisões[34].

SISTEMA FOTOVOLTAICO - conjunto de equipamentos capaz de converter a energia emitida pelo Sol em energia elétrica composto por: inversor, módulo fotovoltaico, estrutura de suporte e fixação e demais componentes.

SISTEMAS FRONTAIS - conjunto de eventos climáticos composto por frente fria, quente e centro de baixa pressão na superfície, originário de um grande gradiente horizontal de temperatura[6].

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL – SIN - instalações interligadas responsáveis pelo suprimento de energia elétrica do país, de características singulares no âmbito mundial, como o grande porte do complexo hidro-termo-eólico (com predominância hidro), a multiplicidade de proprietários das usinas e a subdivisão em subsistemas Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte[36].

SÍTIO EÓLICO - área de interesse para implementação de um parque eólico.

SOLSTÍCIO - início do verão e do inverno, quando a incidência de radiação solar é maior próxima aos trópicos[17]. Os dias de solstício são os que possuem a maior e a menor duração no ano, respectivamente.

SOTAVENTO - direção para onde sopra o vento. Os termos sotavento e barlavento podem ser utilizados para identificar regiões de escoamento do vento próximas a uma colina, morro ou montanha.

SUBESTAÇÃO - parte do sistema de fornecimento de energia elétrica que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem[37].

TAXA DE DISPONIBILIDADE - percentual médio do tempo durante o qual uma instalação está em operação, ao longo de um determinado período.

TAXA DE OCUPAÇÃO - expressão utilizada na presente publicação para o cálculo do potencial solar e eólico, referente à relação média entre potência instalável, em MW, e área, em km².

TAXA DE PERFORMANCE (*PERFORMANCE RATIO*) - para um sistema fotovoltaico, razão entre a produção final de energia e a produção de referência, indicando o efeito das perdas no sistema, conforme a IEC 61724-1[38].

TEMPERATURA NOMINAL DE OPERAÇÃO DA CÉLULA (*NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE* – NOCT) - segundo a ABNT NBR 10899:2013, temperatura média de equilíbrio da célula fotovoltaica em um módulo, submetida a condições ambientes de irradiância de 800 W/m², temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento de 1 m/s e em circuito aberto[39].

TERMOPILHA - conjunto de termopares em série que mede a intensidade de radiação recebida através da diferença de potencial entre seus terminais.

TERMOSSIFÃO - equipamento que induz a circulação da água devido à diferença de densidade entre a água quente e a água fria.

TORRE (OU ESTAÇÃO) ANEMOMÉTRICA - conjunto composto por torre (tipicamente do tipo treliçada e estaiada), *datalogger*, sistema de transmissão de dados, anemômetros, *wind vanes* e outros instrumentos meteorológicos (termômetros, barômetros e higrômetros), destinados à avaliação do recurso eólico.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO – UC - espaço territorial, incluindo seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que tem a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, *habitats* e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente[40].

VENTOS CATABÁTICOS - correntes de ar de alta densidade que fluem para baixo em encostas, devido à ação da gravidade, formando-se tipicamente em regiões frias[40].

VENTO GEOSTRÓFICO - vento horizontal teórico que escoa na atmosfera livre, no topo da camada-limite, seguindo trajetórias retilíneas, definido pelo balanço de forças entre o efeito Coriolis e o gradiente de pressão. De grande importância para o entendimento da circulação atmosférica, os ventos puramente geostróficos não ocorrem na atmosfera real, pois há perdas por fricção e anomalias de pressão[6], [3].

VENTO PREDOMINANTE - direção do vento com maior incidência, característico de uma determinada região geográfica.

VIÉS (*BIAS*) - erro sistemático ou tendenciosidade de um conjunto de dados.

WINDMAP - *software* proprietário, módulo do sistema *Meso-Map*[28], desenvolvido para o cálculo do recurso eólico e que utiliza base de dados de alta resolução espacial para ajuste da topografia local e rugosidade.

WIND VANE - instrumento utilizado para medir a direção do vento.

Acronyms Used in the Maps	
DL	*Distribution Line*
DT	*Distribution*
FP	*Full Protection*
HYP	*Hydroelectric Power Plant < 5 MW*
IL or TI	*Indigenous Land*
PVP	*Photovoltaic Power Plant*
SS	*Substation*
THP	*Thermoelectric Power Plant*
TL	*Transmission Line (greater than or equal to 230 kV)*
TS	*Transmission*
WPP	*Wind Power Plant*

Unit System	
MEASURING UNITS USED IN WIND AND PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS:	
Kilowatt [kW]	*power unit equivalent to 1 000 W*
Kilowatt -hour [kWh]	*energy unit equivalent to 1 000 Wh or 3 600 kJ*
Watt [W]	*power unit relating to one joule per second [J/s]*
Watt-hour [Wh]	*unit that represents the amount of energy required to power a load with 1 Watt for 1 hour*
Watt-peak [W_p]	*unit of measurement used to characterize photovoltaic modules, referring to the power [W] generated when in standard test conditions; it is the maximum power that a module can provide under ideal conditions.*
Metre per second [m/s]	*unit of measurement used to identify wind speeds.*

Other Acronyms Used	
ABRAVA	*Brazilian Association of Refrigeration, Air Conditioning, Ventilation and Heating*
ABENS	*Brazilian Association of Solar Energy*
ABNT	*Brazilian Association of Technical Standards*
ABSOLAR	*Brazilian Association of Photovoltaic Solar Energy*
AC	*Alternating Current*
ADECE	*Ceará State Development Agency*
ANA	*National Water Agency*
ANEEL	*Brazilian Electricity Regulatory Agency*
ANP	*National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels*
AOD	*Aerosol Optical Depth*
APA	*Environmental Protection Area*
APP	*Permanent Preservation Area*
ARIE	*Area of Relevant Ecological Interest*
ARPA-E	*Advanced Research Projects Agency - Energy*
ARW	*Advanced Research WRF*
ASD	*Area Susceptible to Desertification*
a-Si	*Amorphous Silicon*
BIG	*ANEEL's Generation Information Database*
BNDES	*Brazilian Development Bank*
C&S	*Camargo-Schubert Associate Engineers*
CBENS	*Brazilian Congress of Solar Energy*
CCEE	*Chamber of Electrical Energy Commercialization*
CDC	*Ceará Digital Belt*
CdTe	*Cadmium Telluride*
CEARÁ SPA	*Ceará Export Processing Zone*
CENEA	*Alternative Energy and Environment Center*
CEPEL	*Electrical Energy Research Center*
CGEE	*Center for Strategic Studies and Management*
CGIAR	*Consultative Group on International Agricultural Research*
CHESF	*São Francisco Hydroelectric Company*
CIEMAT	*Center for Energy, Environment and Technology Research*
CIGS	*Copper, Indium, Gallium and Selenide*
CIN/CE	*International Business Center of Ceará*
CLP	*Public Leadership Center*
CNTTL	*National Workers Confederation in Transport and Logistics*
CNUCD	*United Nations Convention to Combat Desertification*
COELCE	*Ceará Energy Company*
COEMA	*Environmental State Council of Ceará*
COFINS	*Contribution for Social Security Financing*
CONAMA	*National Environmental Council*
CONFAZ	*National Council of Treasury Policy*
COPPE	*Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering*
CP	*Cumulus*
CRESESB	*Sérgio de S. Brito Reference Center for Solar and Wind Energy*
CSEólica	*Wind Power Sectoral Chamber*
CSP	*Concentrating Solar Power*
CSRenováveis/CE	*Sectoral Chamber of Renewable Energies of Ceará*

APÊNDICE A
SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO
APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

CTA	*Aerospace Technical Center*
DC	*Direct Current*
DENEF	*Division of Environmental Licensing of Nuclear, Thermal, Wind and Other Alternative Energy Sources*
DER-CE	*Ceará State Department of Highways*
DG	*Distributed Generation*
DHI	*Diffuse Horizontal Irradiance*
DHN	*Directory of Hydrography and Navigation*
DLR	*German Aerospace Center*
DNI	*Direct Normal Irradiance*
DNIT	*National Department of Transport Infrastructure*
DOE	*U. S. Department of Energy*
DOI	*U. S. Department of the Interior*
ECMWF	*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*
EE	*Ecological Station*
EEE	*State Ecological Station*
EIA	*Environmental Impact Study*
EMA	*Automatic Weather Stations*
ENSO	*El Niño Southern Oscillation*
EPE	*Energy Research Office*
ERA5	*ECMWF Re-Analysis, 5th Generation*
ERA-Interim	*ECMWF Re-Analysis data Interim version*
ESEC	*Ecological Station*
EVI	*Enhanced Vegetation Index*
FAA	*Federal Aviation Administration*
FDI	*Industrial Development Fund*
FEE	*Foundation of Economics and Statistics*
FIEC	*Federation of Industries of the State of Ceará*
FIEE	*Incentive Fund to Energy Efficiency and Distributed Generation*
FLONA	*National Forest*
FUNAI	*National Indigenous Foundation*
FUNCEME	*Ceará Research Institute for Meteorology and Water Resources*
GDP	*Gross Domestic Product*
GEOS	*Goddard Earth Observing System Data Model*
GES DISC	*Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*
GHI	*Global Horizontal Irradiance*
GMAO	*Global Modeling and Assimilation Office*
GTZ	*German Technical Cooperation Agency*
IBAMA	*Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources*
IBGE	*Brazilian Institute of Geography and Statistics*
ICMBio	*Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation*
ICMS	*Tax on Circulation of Goods and Services*
Ideal	*Institute for Alternative Energy Development in Latin America*
IEA	*International Energy Agency*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IFC	*International Finance Corporation*
IFN-CE	*National Forest Inventory of Ceará*
INCRA	*National Institute for Colonization and Agrarian Reform*
INMET	*National Institute of Meteorology*
INMETRO	*National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality*
INPE	*National Institute for Space Research*
INPI	*National Institute of Industrial Property*
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPECE	*Institute for Research and Economic Strategy of Ceará*
IRENA	*International Renewable Energy Agency*
ISO	*International Organization for Standardization*
ITCZ	*Intertropical Convergence Zone*
LandSat	*Land Remote Sensing Satellite*
LER	*Reserve Energy Auction*
LFA	*Alternative Sources Auction*
LI	*Instability Lines*
LIDAR	*Light Detection and Ranging*
LO	*Ordinary Law*
LSM	*Land Surface Model*
LW	*Longwave Radiation*
MapBiomas	*Brazilian Annual Land Use and Land Cover Mapping Project*
MASS	*Mesoscale Atmospheric Simulation System*
MCC	*Mesoscale Convective Complex*
MEASNET	*Measuring Network of Wind Energy Institutes*
MERRA2	*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2*
MMA	*Ministry of the Environment*
MME	*Ministry of Mines and Energy*
MODIS	*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*
MoNA	*Natural Monument*
MP	*Microphysics*
MTPA	*Ministry of Transport, Ports and Civil Aviation*
MYNN	*Mellor-Yamada Nakanishi Niino*
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NBR	*Brazilian Standard*
NCAR	*National Center for Atmospheric Research*
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
NOCT	*Nominal Operating Cell Temperature*
NREL	*National Renewable Energy Laboratory*
NT-Solar	*Solar Energy Technology Center*
NWP	*Numerical Weather Prediction*
NWS	*National Weather Service*
O&M	*Operation and Maintenance*
OLI	*Operational Land Imager*
ONS	*National Electricity System Operator*
OPV	*Organic Photovoltaic*
PAN-Brazil	*National Action Program to Combat Desertification and Mitigate the Effects of Drought*
PBL	*Planetary Boundary Layer*
PCDs	*Data Collection Platforms*
PE	*State Park*
PIER	*Incentive Program to the Productive Chain Generating Renewable Energies*
PIS	*Social Integration Program*
PLAMEG	*State Government's Target Plan*
PN	*National Park*
PNM	*Municipal Natural Park*
POA	*Total Plane of Array Irradiance*
Procobre	*Brazilian Institute of Copper*
PRODEEM	*Program for Energy Development of States and Municipalities*
PROEÓLICA	*Development Program of the Productive Chain Generating Wind Power*
ProGD	*Development Program for Distributed Power Generation*
PROINFA	*Incentive Program for Alternative Electric Energy Sources*
PV	*Photovoltaic*
PWC	*PricewaterhouseCoopers*
Q	Quilombo
RAS	*Simplified Environmental Report*
RDS	*Sustainable Development Reserve*
REBIO	*Biological Reserve*
RESEX	*Extractive Reserve*
REVIS	*Wildlife Refuge*
RF	*Wildlife Reserve*
RIMA	*Environmental Impact Report*
RMSPE	*Root Mean Square Percentage Error*
RN	*Normative Resolution*
RPPN	*Private Reserve of Natural Heritage*
RRTM	*Rapid Radiative Transfer Model*
SCEE	*Electrical Energy Compensation System*
SDA	*Agrarian Development Secretariat*
SDE	*Economic Development Department*
SEBRAE/CE	*Service of Support to the Micro and Small Companies of the State of Ceará*
SEINFRA/CE	*Department of Infrastructure of Ceará*
SEMA/CE	*Environment Secretariat of Ceará*
SEMACE	*Environment State Superintendence of Ceará*
SEUC	*State System of Conservation Units*
SIN	*National Interconnected System*
SINDIENER-GIA/CE	*Union of Energy and Service Industries of the Electrical Sector of the State of Ceará*
SL	*Surface Layer*
SNUC	*National System of Conservation Units*
SODAR	*Sound Detection and Ranging*
SRREN	*Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*
STC	*Standard Test Condition*
SUDENE	*Superintendency for the Development of the Northeast*
SW	*Shortwave Radiation*
TMY	*Typical Meteorological Year*
TNL	*Transnordestina Railway Logistics*
TRMM	*Tropical Rainfall Measurement Mission*
UC	*Conservation Unit*
UECE	*Ceará State University*
UFRJ	*Rio de Janeiro Federal University*
USGS	*United States Geological Survey*
UV	*Ultraviolet*
VCAN	*Upper Level Cyclonic Vortex*
WMO	*World Meteorological Organization*
WRF	*Weather Research and Forecasting*
WSM5	*WRF Single-moment 5-class*
WT	*Wind Turbine*

GLOSSARY

AEROSOLS - *small particles in solid or liquid state that are dispersed in the air.*

AIR DENSITY - *the measure of the concentration of mass per volume unit of the Earth's atmosphere. The density value is of interest for wind power engineering as it is directly proportional to the energy of the wind.*

ALBEDO - *fraction between the radiation reflected by the Earth's surface and the total incident.*

ANEMOMETER - *instrument used to measure wind speed.*

ANEMOMETRIC TOWER/MAST (OR STATION) - *assembly consisting of a tower (typically the guyed and lattice type), datalogger, data transmission system, anemometers, wind vanes, and other meteorological instruments (thermometers, barometers, and hygrometers), intended for the assessment of the wind resource.*

ANOMALY - *the difference between the value of a variable at a given moment and the standard average of this variable, calculated for a long period (recommended 30 years)[4].*

ANTICYCLONE - *high pressure center from where the wind diverges, in large scale. The winds around the anticyclone circulate in a counterclockwise direction in the Southern Hemisphere.*

ARCHAEOLOGICAL HERITAGE - *objects, places, and other traces with relevance for the study of the evolution of the planet, life, or human beings and considered heritage assets of the Union[31].*

ARIDITY INDEX - *relation between the rainfall level and the maximum possible loss of water by evaporation and transpiration, used as a parameter to identify areas susceptible to desertification[22].*

ARTIFICIAL REEF - *structure created by man in underwater environments with the objective of maintaining/recovering marine fauna.*

ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER - *atmospheric layer that suffers influence from the Earth's surface, typically extending to a height of 1 km, according to the type of land cover and the time of day. The theoretical concept of the boundary layer allows the modeling and understanding of a series of thermodynamic and atmospheric phenomena at different temporal and spatial scales[6], [7].*

AVAILABILITY RATE - *average percentage of time during which an installation is in operation over a given period.*

AZIMUTH - *angle measured in the horizontal plane between the meridian of the place of the observer and the vertical plane containing the observed point.*

BASIC GRID - *transmission facilities of the SIN, owned by public transmission service concessionaires[33]. It consists of all substations and transmission lines in voltages of 230 kV or higher, excluding those for private use and intended to connect the transmission and distribution lines of a distribution concessionaire. Assets in voltages below 230 kV can be included at the discretion of ANEEL.*

BIAS - *systematic error or tendency of a data set.*

BIOME - *a set of ecosystems, habitats or biological communities reasonably homogeneous, whose characteristics are defined by different factors, such as climate and altitude.*

CAATINGA - *typical vegetation of the Brazilian Northeast of semiarid climate, with few leaves and adapted to periods of drought, in addition to great biodiversity.*

CAPACITY FACTOR - *the ratio between the effective electrical energy production in a period of time and the maximum possible electrical energy production (nominal power) during the same period.*

CENTRALIZED GENERATION - *traditional form of electrical power generation, which uses a large generating source for energy transformation.*

CLIMATOLOGICAL NORMALS - *average values of climatological data calculated for a minimum period of 30 consecutive years, according to the World Meteorological Organization[29].*

CLIMATOLOGICAL YEAR - *average of several years of a variable under analysis (i.e., wind speed, precipitation, relative humidity, atmospheric pressure, etc.), forming an average year (12 months) from this variable.*

CLIMATOLOGY - *the study of climate, including its characteristics and influences, at various time scales.*

COASTAL PLAIN - *narrow strip of low-lying lands along the coastline, formed by sediments deposited by the wind, sea, rivers or combined processes, giving rise to beaches, also containing dunes, restingas, mangroves, among other formations[32].*

CONSERVATION UNIT – UC - *territorial space, including its environmental resources, with relevant natural characteristics, which is intended to ensure the representativeness of significant and ecologically viable samples of the different populations, habitats and ecosystems of the national territory and of territorial waters, preserving the existing biological heritage[40].*

CONSUMER CENTER - *concentration of consumer units of electrical energy in a particular geographic region. Examples of consumer centers are industries, cities, and villages. The information about the consumer centers is used for the strategic sizing and planning of the transmission and distribution electrical system.*

CORIOLIS EFFECT - *inertial force proposed by the French mathematician and engineer Gaspard Gustave Coriolis (1792-1843) which explains the law of kinetics: "In the Northern Hemisphere, every particle in motion from the pole to the Equator is diverted to its right and in the Southern hemisphere, to its left." In meteorology, it is a fundamental phenomenon to explain the movements of air masses and atmospheric circulation[12].*

CYCLONE - *low pressure center to where the wind converges, in large scale. The winds around the cyclone circulate in a clockwise direction in the Southern Hemisphere.*

DATALOGGER - *electronic device used for digitally recording meteorological data from multiple sensors.*

DEGRADED AREAS - *areas entirely transformed, with environmental changes from severe to irreversible, exposing evidences of desertification[1], or areas with transformed primary vegetation cover, with compromised soil and biodiversity. In Ceará, the degraded areas were mapped by FUNCEME[2].*

DISTRIBUTED GENERATION - *type of electrical power generation characterized by the direct injection of the energy produced into the distribution grid and close to the load. Normally present in households, trade and industry, it distributes itself in groups of microgeneration (installed power lower than 75 kW) and mini-generation (installed power between 75 kW and 5 MW)[19].*

DISTRIBUTED MICROGENERATION - *term defined by Normative Resolution No. 482[19], referring to the power plant with installed capacity less than or equal to 75 kW, using hydraulic, solar, wind, biomass or qualified co-generation energy sources, and connected to the distribution grid through a consumer unit.*

DISTRIBUTED MINI-GENERATION - *term defined by Normative Resolution No. 482[19], referring to the electrical energy power plant with installed capacity higher than 75 kW and less or equal to 5 MW, using hydraulic, solar, wind, biomass or qualified co-generation energy sources, and connected to the distribution network through a consumer unit.*

DISTRIBUTION/UTILITY GRIDS AND LINES - *set of structures, utilities, drivers and electrical equipment, overhead or underground, used for the distribution of electrical energy, operating at low, medium and/or high-voltage distribution (less than 230 kV)[34].*

DISTRIBUTION/UTILITY SYSTEM - *set of lines, substations, and other associated equipment required for the electrical interconnection between the transmission or generation system and the installations of the end users[34].*

DYNAMIC DOWNSCALING - *approach that includes the use and/or development of (dynamic) regional climate models using initial and boundary conditions from global circulation models. Such models have the ability of representing weather phenomena on a global scale and, with the nesting of refined grids, they can also represent more accurately the phenomena on a local and regional scale[11].*

DYNAMIC METEOROLOGY - *branch of meteorology which studies atmospheric movements associated with weather and climate, so as to consider the atmosphere as a continuous fluid[3], [6].*

EKMAN LAYER - *layer of fluid in which the flow is the result of the balance between the pressure gradient, the inertial force of Coriolis, and turbulent drag forces. The concept was proposed by the Swedish oceanographer Vagn Walfrid Ekman (1874-1954) and it is used in the studies and in modeling atmospheric circulation and ocean hydrodynamics[6].*

EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION (EL NIÑO and LA NIÑA) - *extreme patterns of natural climate oscillations resulting from interactions between the atmosphere and the ocean. El Niño is associated with the abnormal warming of surface waters of the Equatorial Pacific Ocean and La Niña is associated with its cooling.*

ELECTRICAL ENERGY COMPENSATION SYSTEM - *regulation implemented in April/2012 by the ANEEL, establishing conditions for granting access to mini and micro distributed generations into the electrical energy distribution system, through Normative Resolution No. 482[19].*

ENERGY AUCTIONS - *bidding processes conducted by the Brazilian government, through the MME, which are regulated by ANEEL, with the aim of contracting the electrical energy required to ensure the comprehensive fulfillment of future demand in the Regulated Contracting Environment - ACR (distributor market)[23].*

ENVIRONMENTAL LAW - *set of laws which deals with environmental issues, such as fauna and flora preservation, providing also the application of fines or penalties in case of non-compliance with these laws.*

ENVIRONMENTAL LICENSING - *procedure where the competent agencies, after careful analysis of impacts, license the activities of installations that may cause some kind of environmental damage[24].*

A APÊNDICE
SIGLAS, UNIDADES E GLOSSÁRIO
APPENDIX A – ACRONYMS, UNITS AND GLOSSARY

EQUINOX *- beginning of spring and fall, when the incidence of solar radiation is greatest near the equator[17], and daytime and nighttime are approximately equal.*

ETHNIC GROUPS *- a set of persons identified by social and cultural tradition, maintained from generation to generation, by common history and origin and a sense of identification of the group[20].*

FAUNA *- a term that denotes animal life and the diversity of species.*

FLORA *- set of plant species (plants, trees, etc.) in a given region or ecosystem.*

FREE MARKET OF ENERGY OR FREE CONTRACTING ENVIRONMENT *- segment of the electrical energy market regulated by the Brazilian government in which electrical energy purchase and sale operations are carried out directly between consumers and generators or traders through freely negotiated bilateral agreements, pursuant to specific trading rules and procedures[27].*

FRONTAL SYSTEMS *- set of climatic events composed of cold and warm fronts, and low pressure centers on the surface, originating from a large horizontal temperature gradient[6].*

GEOSTROPHIC WIND *- theoretical horizontal wind that flows in the free atmosphere, at the top of the boundary layer, following rectilinear trajectories, defined by the balance of forces between the Coriolis effect and the pressure gradient. Of great importance for understanding atmospheric circulation, the purely geostrophic winds do not occur in the real atmosphere since there are frictional losses and pressure abnormalities[6], [3].*

GREENHOUSE EFFECT *- natural phenomenon in which heat is trapped by the Earth's atmosphere, wherein it is enhanced by the presence of gases generated by polluting activities, such as CO_2.*

INSTALLATION LICENSE *- license issued by the environmental agency authorizing the installation of a project or activity in accordance with the specifications listed in the approved plans, programs, and projects, including also environmental control and conditioning measures[24].*

INSTALLED POWER *- in photovoltaic systems, the sum of the nominal power of inverters in kW or the sum of the maximum power of all photovoltaic modules of a system, usually measured in kW_p. In wind power systems, the sum of the nominal power of all wind turbines of a wind park or complex, usually expressed in MW or GW.*

INVERTER *- equipment primarily responsible for converting direct current into alternating current, or vice versa. Also used to monitor generation, detect anomalies in the electrical network, perform system switching, among others. It features various topologies, such as off-grid inverters (used in isolated systems), grid-tie inverters or string inverters (used in systems connected to the network), microinverters (used individually in the photovoltaic panel of a system connected to the network) and central inverters (used in generating stations connected to the network)[14].*

IRRADIANCE *- instant measure of exposure to incident radiation per area unit [W/m²].*

IRRADIATION *- integral of the irradiance at the time [W/m²/time].*

ISOGONIC *- isoline on the Earth's surface formed by points with the same magnetic declination.*

ISOHYET *- curves that represent the points of equal precipitation.*

ISOLATED GENERATION *- type of electrical power generation characterized by the non-existence of connection to the transmission or distribution grid. The system supplies directly the appliances that will use the energy and they are generally built with a local and specific purpose.*

ISOPORIC *- isoline on the Earth's surface of constant variation of the Earth's magnetic field, at a fixed time interval.*

KATABATIC WINDS *- high density air currents flowing down hillsides, due to gravity, typically forming in cold regions[41].*

KRIGING *- method of spatial interpolation of data. Developed by Daniel G. Krige and formalized by Georges Matheron in the 1960s, it is also known as "Gaussian regression process".*

LAND BREEZE *- movement of air that occurs during the night, from land towards the sea, due to the cooling of the Earth's surface.*

LANDSAT 8 OLI IMAGES *- images acquired by the Operational Land Imager - OLI sensor, on board the artificial satellite Land Remote Sensing Satellite 8 - LandSat 8, made available at no charge for the entire Earth's surface since 2013, as part of the North American program for Earth observation[21].*

LEASE *- a contract by which the owner of a rural or urban property (lessor) gives another person (tenant), for a fixed period (or not), the right to use the property, upon receipt of payment.*

LEEWARD SIDE *- direction to which the wind blows. The leeward and windward terms may be used to identify regions of wind flow next to a hill or mountain.*

MARICULTURE *- cultivation of animals and/or marine organisms, mainly for food purposes. Within it, fish farming stands out.*

MERRA *- climate reanalysis database, made available by NASA's Global Modeling and Assimilation Office, generated from the Goddard Earth Observing System Model data assimilation atmospheric system, version 5 - GEOS-5[26].*

MESOMAP *- set of processes for numerical modeling of the atmosphere in a mesoscale for survey of wind resources. It is based on the MASS[28] model, incorporating principles such as the conservation of mass, amount of movement and energy, and viscous effects and thermal stability on the vertical gradient of the wind.*

MESOSCALE METEOROLOGY *- branch of meteorology which studies atmospheric phenomena of intermediary scale between the synoptic and microscale, i.e., varying from one to hundreds of kilometers, spatially, and from some to various hour units, temporally[3], [6].*

METEOROLOGICAL STATION *- location where it is installed a set of equipment used to measure weather data, with various purposes.*

MICROSCALE METEOROLOGY *- branch of meteorology which studies atmospheric phenomena of scales under one kilometer, spatially, and under an hour, temporally[3], [6].*

MICRO-SITING *- study of the optimal placement of wind turbines in a wind power project, through maximizing energy production and minimizing losses due to aerodynamic interference. The local wind characteristics are considered, as well as the topography, accesses, land boundaries, economic variables and legal and environmental constraints, among others that may be arbitrated by the entrepreneur.*

MOUNTAIN BREEZE *- movement of air that occurs mainly during the night, due to the cooling of the air in the mountain, which forms air currents from the mountain to the valley.*

NACELLE *- assembly with fairings installed atop the tower of a wind turbine that houses, among other equipment, an electric generator, gearbox, a rotor-fixing chassis, and control system.*

NATIONAL INTERCONNECTED SYSTEM - SIN *- interconnected facilities responsible for the country's electrical energy supply, featuring unique characteristics at the global level, such as the large size of the hydro-thermo-wind power complex (predominantly hydro), the multiplicity of power plant owners, and the subdivision into the South, Southeast/Midwest, Northeast and North subsystems[36].*

NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE - NOCT *- according to ABNT NBR 10899:2013, the average equilibrium temperature of the photovoltaic cell in a module, subjected to environmental conditions of irradiance of 800 W/m², ambient temperature of 20°C, wind speed of 1 m/s and in an open circuit[39].*

OCCUPANCY RATE *- expression used in this publication to calculate the wind and solar power potential, regarding the average relationship between the installable power, in MW, and the area, in km².*

OFFSHORE *- region located in the sea, beyond the coastal line.*

OPERATING LICENSE *- license issued by the environmental agency authorizing the operation of a project or activity, after verifying compliance with environmental control measures and the conditions laid down for the operation, contained in the previous phases of the licencing process [24].*

ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELL *- photovoltaic cell that uses organic molecules with conjugated double bonds capable of transporting electrons[8].*

PARAMETERIZATION *- method for the representation of physical processes and/or complex modeling that occur in a spatial or temporal scale lower than the resolution of the model used[30].*

PERFORMANCE RATIO *- for a photovoltaic system, the ratio between the final production of electrical energy and the reference production, indicating the effect of losses in the system, in accordance with IEC 61724-1[38].*

PHENOLOGY *- branch of biology that studies the phenomena and relations between biological cycles and climate. The vegetation's phenology indicates the periods of growth, flowering, and senescence.*

PHOTOELECTRIC EFFECT *- the emission of electrons from a material when exposed to electromagnetic radiation[13].*

PHOTON *- elementary particle, the quantum of electromagnetic interaction and the basic unit of light and all other forms of electromagnetic radiation. Solar radiation reaches the surface of photovoltaic cells in the form of photons, providing the main energy that activates the cells to produce electricity[15].*

PHOTOVOLTAIC EFFECT *- emergence of a voltage and electric current in a device when exposed to solar radiation[13].*

PHOTOVOLTAIC MODULE *- a set of multiple solar cells connected in series and/or in parallel and encapsulated with the objective of generating electrical energy.*

PHOTOVOLTAIC PANEL *- assembly of photovoltaic modules.*

PHOTOVOLTAIC SYSTEM *- set of equipment capable of converting the energy emitted by the Sun into electrical energy, composed of: inverter, photovoltaic module, support and fixing structure, and other components.*

POWER CURVE - *theoretical or measured curve that indicates the electrical power generated by a certain model of photovoltaic panel or wind turbine, in function, respectively, of the incident solar radiation and temperature or wind speed and air density.*

POWER DISTRIBUTOR - *agent holder of a concession to provide public service of electrical energy distribution[10].*

POWER LAW (SHEAR) EXPONENT - *dimensionless parameter that characterizes the shape of the vertical profile of the wind, directly related to the land cover and land use characteristics. It is the exponent of the mathematical function that establishes wind speed from a height.*

PREDOMINANT WIND - *wind direction with the highest incidence, characteristic of a particular geographical region.*

PRIOR LICENSE - *license issued by the environmental agency certifying the environmental feasibility of projects, approving their location and design, as well as establishing the conditions to be met for the next phase[24].*

PYRANOMETER - *instrument used to measure solar irradiance.*

RADIATION - *propagation of energy into space by means of particles or waves, without requiring the presence of a material medium.*

REANALYSIS - *data integration process from various observation systems, from numerical models and other methodologies that involve the reanalysis and the reprocessing of weather data, covering historical periods of decades. The objective of the reanalysis is to produce sets of reference data for meteorological and climatological studies.*

REMOTE SENSING - *science and art that makes it possible to obtain information about targets on the Earth's surface (objects, areas, or phenomena) using distant measuring devices, usually embedded in orbital platforms (satellites) or on aircrafts, which record the interaction of electromagnetic radiation with the surface or the object being studied[35].*

RENEWABLE ENERGY - *term that designates the energy sources that are not exhausted by their use over time, capable of regenerating in a relatively short time, such as: solar radiation, geothermal energy, tides, biomass, wind, and water resources[16].*

RESIDUAL MASSIFS - *residual reliefs with a history of erosive processes and climate oscillation, with physical-environmental characteristics distinct from the surrounding areas[25].*

ROTOR - *assembly formed by the blades and by the hub of a wind turbine. Commercial wind power wind turbines typically feature rotors with three blades, number that results from a compromise between aerodynamic efficiency, cost, and minimization of cyclic loads[18].*

SEA BREEZE - *movement of air that occurs during the day, from the sea towards land, due to the warming of the Earth's surface.*

SEDIMENTARY PLATEAUS - *areas of plain and elevated relief relative to sea level, with predominant erosive wear, formed by sedimentary rocks.*

SETTLEMENT - *set of agricultural units independent from each other, created by the division of a rural property which belonged to a single owner and usually transferred by dispossession, being delivered to low-income families by INCRA[5].*

SHADOW FLICKER - *flickering effect caused by the shadow of wind turbine rotors in motion. The flickering occurs in function of the latitude, wind direction, the height of the sun, the rotation of the blades, and the relative position between the wind turbines and stationary objects, under specific conditions[9].*

SOLAR CELL - *device that converts solar energy into electricity.*

SOLAR ECLIPTIC - *apparent orbit of the Sun in the celestial sphere, describing the apparent movement of the Sun throughout the year.*

SOLAR POWER (HARNESSING) SYSTEM - *set of equipment capable of converting the energy emitted by the Sun into electrical energy (i.e., photovoltaic or CSP system) or into thermal energy (i.e., solar heating system).*

SOLAR RESOURCE - *amount of electrical energy expected to be produced from the harnessing of the solar radiation in a given area and time period, taking into account the characteristics of the solar radiation, ambient temperature, land use and land cover, environmental restrictions, and the technical features of the energy conversion systems available on the market.*

SOLAR SPECTRUM - *total distribution of electromagnetic radiation emitted by the Sun.*

SOLARIMETRIC STATION - *location where a set of equipment is installed and used to measure data from solar radiation as well as other meteorological parameters, with the purpose of solar resource assessment.*

SOLSTICE - *beginning of summer and winter, when the incidence of solar radiation is greatest near the tropics[17]. The days of solstice are those with the greatest and least duration in the year, respectively.*

SUBSTATION - *part of the electrical power supplying system comprising switching, control, protection, and transformation devices, as well as other equipment, conductors accessories, including civil works (assembly structures)[37].*

SUITABLE AREAS - *expression used in this publication referring to areas considered suitable for the installation of solar and/or wind power projects, being delimited based on geoprocessing techniques and maps of land cover and land use.*

SYNOPTIC METEOROLOGY - *branch of meteorology which studies atmospheric phenomena of scales of hundreds of kilometers, spatially, and days to months, temporally[3], [6].*

TERRITORIAL SEA - *strip of 12 nautical miles (22 kilometers) wide, measured from the shoreline, according to Law Nº 8617 of January 4, 1993.*

THERMAL STABILITY - *characteristic parameter of the atmosphere close to the Earth's surface which allows to infer on its thermodynamic properties and on the horizontal flow of wind.*

THERMOPILE - *set of thermocouples in series that measures the intensity of radiation received through the potential difference between its terminals.*

THERMOSYPHON - *equipment that induces water circulation due to the difference in density between hot and cold water.*

TRADE WINDS - *winds typical of tropical regions, resulting from the difference between the high pressure in the tropics and the low pressure in the Equator. Due to the Coriolis effect, the air masses in the Southern Hemisphere circulate around the high-pressure centers, counterclockwise. In the Brazilian Northeast, trade winds blow, predominantly, from the Southeast[3].*

TRANSMISSION SYSTEM - *set of transmission lines and substations that are part of the Basic Grid, in accordance with Ordinance DNAEE No. 244 of June 28, 1996, and its revisions[34].*

VALLEY BREEZE - *movement of air that occurs mainly during the day, due to the heating of one face of the mountain, which forms air currents from the valley to the mountain.*

VEGETATION COVER - *vegetation types or forms of natural or planted origin that cover a particular area or land.*

WEIBULL FORM FACTOR (k) - *dimensionless parameter that establishes the continuous distribution of probability, proposed by engineer and mathematician Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1877-1979). It is the statistical distribution with better adherence to wind speed data[18].*

WIND DIRECTION - *direction in relation to the geographic North from where the wind blows. Unlike the bearing, the direction points towards the center of the compass rose. The values are usually represented by cardinal, collateral, and sub-collateral points or values in degrees.*

WIND POWER SITE - *area of interest for the implementation of a wind park.*

WIND RESOURCE - *amount of electrical energy expected to be produced from the harnessing of the wind in a given area and time period, taking into account the characteristics of the wind, land use and land cover, environmental restrictions, and the technical features of the wind turbines available on the market.*

WIND TURBINE - *electromechanical assembly used to convert wind energy into electrical energy, consisting of, in the modern version, tower, nacelle (which houses the electric generator), and rotor.*

WIND VANE - *instrument used to measure wind direction.*

WINDMAP - *proprietary software, module of the MesoMap system[28], developed to calculate the wind power resource and that makes uses of a spatial high-resolution database to adjust local topography and roughness.*

WINDWARD SIDE - *direction from where the wind blows.*

WINGED FAUNA - *set of flying animals. (i.e., birds, butterflies, insects, bats).*

B APÊNDICE
LEGISLAÇÃO AMBIENTAL ESTADUAL VIGENTE
APPENDIX B – CURRENT STATE ENVIRONMENTAL LEGISLATION

FIGURA B.1 Parque Nacional de Jericoacoara.



FOTO/*PHOTO:* ZIG KOCH

B.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA, A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS

A Resolução COEMA nº 03/2016 dispõe sobre os critérios e procedimentos simplificados para a implantação de sistemas de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, a partir de fontes renováveis.

De acordo com essa Resolução, os sistemas de microgeração solar fotovoltaica ou eólica, bem como os de minigeração eólica, serão isentos de licenças ambientais, desde que não interfiram em Áreas de Preservação Permanente e/ou Unidade de Conservação. Para isto, consideram-se sistemas de microgeração distribuída as centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW e sistemas de minigeração, as centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW.

Ficam isentos também de licença ambiental os sistemas de minigeração solar fotovoltaica instalados em telhado ou fachada, localizados em área urbana ou rural, com potência menor ou igual a 2 MW. Os que possuírem potência maior que 2 MW e menor ou igual a 3 MW deverão realizar o licenciamento por meio de Licença Ambiental por Adesão e Compromisso – LAC. Por fim, os sistemas com potência maior que 3 MW e menor ou igual a 5 MW serão autorizados mediante Licença Ambiental Única – LAU.

Nos casos de sistemas de micro e minigeração distribuída de energia elétrica renovável oriunda de biogás e biomassa, com potência instalada de até 5 MW, estes devem realizar o licenciamento através de Licença Ambiental Única – LAU.

B.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE SOLAR

A Resolução COEMA nº 06/2018 dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar no Estado do Ceará.

De acordo com a citada Resolução, os empreendimentos de geração de energia elétrica, por fonte solar, possuem potencial poluidor baixo, sendo o procedimento de licenciamento delineado da seguinte maneira:

- Pelo sistema "bifásico" (em duas etapas) para os empreendimentos de porte micro, pequeno, médio e grande, os quais serão licenciados através de Licença Prévia – LP – e Licença de Instalação e Operação – LIO;

- Pelo sistema "trifásico" (em três etapas) para os empreendimentos de porte excepcional, através das licenças Prévia, de Instalação – LI – e de Operação – LO.

Outro ponto importante trazido por esta Resolução refere-se ao prazo para análise de processos e emissão das licenças ambientais, definido em, no máximo, 45 dias contados a partir da data do protocolo de requerimento, o que implica um processo de licenciamento ambiental mais célere.

Destaca-se também que não serão considerados de baixo impacto, independentemente do porte, exigindo-se a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA e a comprovação de inexistência de alternativa técnica e locacional, além de audiências públicas, os empreendimentos solares de porte excepcional ou os que estejam localizados:

- Em formações dunares, planícies fluviais e de deflação, mangues e demais áreas úmidas;

- No bioma Mata Atlântica e que implique corte e supressão de vegetação primária e secundária no estágio avançado de regeneração;

- Na Zona Costeira e que implique alterações significativas das suas características naturais;

- Em zonas de amortecimento de Unidades de Conservação de Proteção Integral, adotando-se o limite de 3 km a partir do limite da Unidade de Conservação em zonas de amortecimento ainda não estabelecidas;

- Em áreas regulares de rota, pouso, descanso, alimentação e reprodução de aves migratórias constantes de Relatório Anual de Rotas e Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil emitido pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;

- Em locais em que venham a gerar impactos socioculturais diretos que impliquem inviabilização de comunidades ou sua completa remoção;

- Em áreas de ocorrência de espécies ameaçadas de extinção e áreas de endemismo restrito, conforme listas oficiais.

B.3 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE EÓLICA

A Resolução COEMA nº 07/2018 dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte eólica no Estado do Ceará.

De acordo com a citada Resolução, os empreendimentos de geração de energia elétrica, por fonte eólica, possuem Potencial Poluidor Degradador – PPD – baixo, sendo o procedimento de licenciamento delineado da seguinte maneira:

- Pelo sistema bifásico para os empreendimentos de porte micro, pequeno, médio e grande, os quais serão licenciados através de Licença Prévia e Licença de Instalação e Operação;

- Pelo sistema trifásico para os empreendimentos de porte excepcional, através das licenças Prévia, de Instalação e de Operação.

Assim como os empreendimentos de geração de energia solar, o prazo para análise de processos e emissão das licenças ambientais foi fixado, para os empreendimentos eólicos, em no máximo 45 dias a contar do protocolo do requerimento.

As regras para apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental seguem as mesmas aplicadas aos empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar, em conformidade com o art. 3º, § 3º da Resolução CONAMA nº 462/2014.

B.4 RESOLUÇÃO COEMA N° 02/2019

Apesar das tipologias de empreendimentos geradores de energia elétrica serem tratadas em resoluções diferentes, a Resolução COEMA nº 02/2019, publicada no Diário Oficial do Estado em 17 de maio de 2019, recepcionou todas essas atividades em seus Anexos I e II.

Conforme Tabela 09.00 do Anexo I, foram atribuídos Potencial Poluidor-Degradador baixo, ou seja, com um baixo potencial de causar poluição ou degradação ambiental às atividades de geração, transmissão e distribuição de energia para:

- Parque eólico, usina eólica, central eólica – Código 09.05;

- Energia Solar/ Fotovoltaica – Código 09.11;

- Minigeração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis (Fotovoltaica) – Código 09.13.

É importante destacar que a classificação PPD baixo desses empreendimentos somente ocorrerá se as atividades em sua implantação e operação seguirem adequadamente todas as normas e legislações a elas aplicadas, bem como a adoção de boas práticas de gestão ambiental.

No Anexo III desta Resolução, os empreendimento são classificados por porte, em micro (Mc), pequeno (Pe), médio (Me), Grande (Gr) e excepcional (Ex), e PPD, segundo a potência gerada (09.05 e 09.13) ou área total construída (09.11). A Tabela B.4.1 apresenta o porte dos empreendimentos parque eólico, usina eólica, central eólica e a Tabela B.4.2 para energia solar/fotovoltaica.

Os empreendimentos listados, 09.05, 09.11 e 09.13, são submetidos a três formas de licenciamento:

- Dispensa de licença ambiental: devendo ser emitida a Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental, localizada no endereço eletrônico da SEMACE, conforme Art. 8º, § 3º da Resolução COEMA 02/2019;

- Licença Ambiental por Adesão e Compromisso: para aqueles cuja potência gerada seja maior do que 2 MW e menor ou igual a 3 MW;

- Licença Ambiental Simplificada: para aqueles cuja potência gerada seja maior do que 3 MW e não exceda 5 MW.

Ressalta-se que os empreendimentos de porte excepcional relativos aos códigos 09.05 e 09.11 devem apresentar Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, em função de serem considerados de significativo impacto ambiental. Nesses casos, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação através da compensação ambiental, que poderá atingir valores de até 0,5% do Valor de Referência, entendido como somatório dos investimentos necessários para implantação do empreendimento, não incluídos os investimentos referentes aos planos, projetos e programas exigidos no procedimento de licenciamento ambiental para mitigação de impactos causados pelo empreendimento, bem como os encargos e custos incidentes sobre o financiamento do empreendimento, inclusive os relativos às garantias, e os custos com apólices e prêmios de seguros pessoais e reais, conforme Art. 31-A, § 4º, do Decreto Federal nº 4.340/2002. No Estado do Ceará, a metodologia para cálculo da compensação ambiental é normatizada pela Resolução COEMA nº 26/2015.

TABELA B.4.1 Classificação do porte de empreendimentos código 09.05.

Parque Eólico, Usina Eólica, Central Eólica PPD: BAIXO					
Porte	Mc[2]	Pe[2]	Me[2]	Gr[2]	Ex[3]
Potência Gerada (MW)[1]	>5 ≤10	>10 ≤30	>30 ≤60	>60 ≤150	>150

[1] INFERIOR A 5 MW FICA DISPENSADO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL.
[2] EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO BIFÁSICO (RESOLUÇÃO COEMA N° 07/2018).
[3] EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO TRIFÁSICO (RESOLUÇÃO COEMA N° 07/2018).

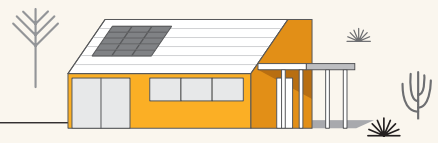
TABELA B.4.2 Classificação do porte de empreendimentos código 09.11.

Energia Solar/ Fotovoltaica PPD: BAIXO					
Porte	Mc[2]	Pe[2]	Me[2]	Gr[2]	Ex[3]
Área (ha)[1]	>15 ≤30	>30 ≤90	>90 ≤180	>180 ≤450	>450

[1] INFERIOR A 15 HECTARES FICA DISPENSADO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL.
[2] EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO BIFÁSICO (RESOLUÇÃO COEMA N° 06/2018).
[3] EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO TRIFÁSICO (RESOLUÇÃO COEMA N° 06/2018).

C APÊNDICE
GUIA DE AQUISIÇÃO DE PEQUENOS PROJETOS DE APROVEITAMENTO SOLAR
APPENDIX C – GUIDE TO ACQUIRING SMALL SOLAR PROJECTS

FIGURA C.1 .



SIMULAÇÃO NA FERRAMENTA ON-LINE OU APLICATIVO DO ATLAS

Sistema Fotovoltaico

Contatar uma empresa especializada

ETAPAS

1 Orçamento

- Qual é o seu consumo mensal de energia kWh?
- Seu local é adequado para a instalação do projeto?
- O orçamento apresenta uma estimativa de taxa de retorno do investimento?
- Está prevista a eventual substituição dos componentes por motivo de falha ou fim de vida útil?
- Há estimativa de custos para manutenção do sistema fotovoltaico?

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

- Quantidade de painéis
- Área ocupada
- Geração mensal e anual de energia
- Quantidade de baterias



2 Projeto de instalação

- O peso e a durabilidade da estrutura de fixação dos equipamentos é compatível com o local de instalação?
- Qual a eficiência dos equipamentos?
  - Possuem selo PROCEL?
- A posição dos painéis é condizente com as características locais (inclinação, orientação e obstáculos)?
- Como foi calculada a produtividade do sistema?
  - A base de dados utilizada é confiável?
  - O projeto considerou características locais da radiação solar (sombreamento, temperatura ambiente ...)?
- Foi explicada a variabilidade mensal e anual da produção do seu sistema fotovoltaico?
- Quais foram as perdas assumidas no projeto?
- O sistema de proteção contra descargas atmosféricas continua adequado após a instalação do sistema fotovoltaico?
- A quantidade e tipo de baterias foi escolhida corretamente para o sistema?
  - Qual a autonomia do sistema?

3 Instalação

- Os equipamentos escolhidos são certificados?
- Os instaladores possuem treinamento específico? Utilizam equipamentos de segurança?
- Há um sistema de proteção da rede isolada (chaves, disjuntores, fusíveis ...)?
- Qual a periodicidade recomendada para manutenção e limpeza dos componentes do sistema?
- Foi entregue um manual de operação e lista de eventuais problemas e soluções do sistema?
- A empresa de instalação solicitou à distribuidora a conexão do sistema na rede?
  Formulário de solicitação de acesso para microgeração distribuída
- A aprovação da conexão foi concedida pela distribuidora através do parecer de acesso?
  - SIM → Solicitar a vistoria da distribuidora para aprovação do ponto de conexão.
    - Foi aprovada a solicitação do ponto de conexão?
      - SIM → A distribuidora irá conectar seu sistema na rede e instalar seu novo relógio de luz bidirecional.
      - NÃO
  - NÃO → Realizar as adequações exigidas.

O QUE VOCÊ PRECISA SABER

HOMOLOGAÇÃO JUNTO À CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA – *ongrid*
Recomenda-se o pedido no início da obra. Para quando o sistema estiver pronto, a conexão com a rede estar liberada.

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS
- Painel solar
- Inversor solar
- Estrutura de fixação dos painéis
- Cabeamentos e conexões
- Bateria

MANUTENÇÃO USUAL
- Limpeza dos painéis solares
- Manutenção do inversor solar
- Manutenção de cabos e conexões elétricas
- Manutenção da bateria

GARANTIAS DO SISTEMA (período mínimo)
- Painel solar: 25 anos
- Inversor solar: 5 anos
- Estrutura de fixação dos painéis: 10 anos
- Cabeamento e conexões: 10 anos
- Bateria: 5 anos

INVERSOR
- Qual a eficiência?
- Qual o grau de proteção do equipamento contra água e poeira?
- Qual a tecnologia do inversor?

PAINEL SOLAR
- Qual a potência do painel solar?
- Qual a margem de erro da potência do painel solar?
- Qual a eficiência do painel solar?
- O painel solar é certificado? INMETRO e IEC 61215

ELABORAÇÃO/*PREPARATION*: CAMARGO-SCHUBERT

FIGURA C.2 .



O QUE VOCÊ PRECISA SABER

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS
- Coletor solar
- Reservatório térmico
- Bomba (para sistemas de circulação forçada)
- Caixa de água fria
- Tubulações
- Controle e acessórios

OPÇÕES DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- Circulação natural, recomendada até mil litros
- Circulação forçada, recomendada para sistemas maiores

MANUTENÇÃO
- Limpeza da superfície e do interior do coletor solar
- Limpeza do reservatório térmico (com drenagem da água)
- Manutenção dos sensores de temperatura

COLETOR SOLAR
- Qual a capacidade de aquecimento?
- Qual a forma de conexão entre os coletores: em série ou em paralelo?

RESERVATÓRIO TÉRMICO
- Qual a capacidade de armazenamento/volume?
- Apresenta proteção contra retorno?
- Qual a durabilidade?
- Há isolamento?
- Qual o sistema de redundância do aquecimento?
- A pressão de operação do reservatório é compatível com a instalação?

ELABORAÇÃO/*PREPARATION*: CAMARGO-SCHUBERT

Saiba mais



Sistema Fotovoltaico

- ABNT. NBR 15569 : 2008. **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Projeto e instalação.** http://www.abntcatalogo.com.br
- INMETRO. **Portaria INMETRO Nº 229/2018.** http://www.inmetro.gov.br
- PROCOBRE. **Qualidade em instalações de aquecimento solar.** Boas práticas. 2009. https://www.procobre.org
- SEBRAE. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil.** 2017. http://www.sebrae.com.br

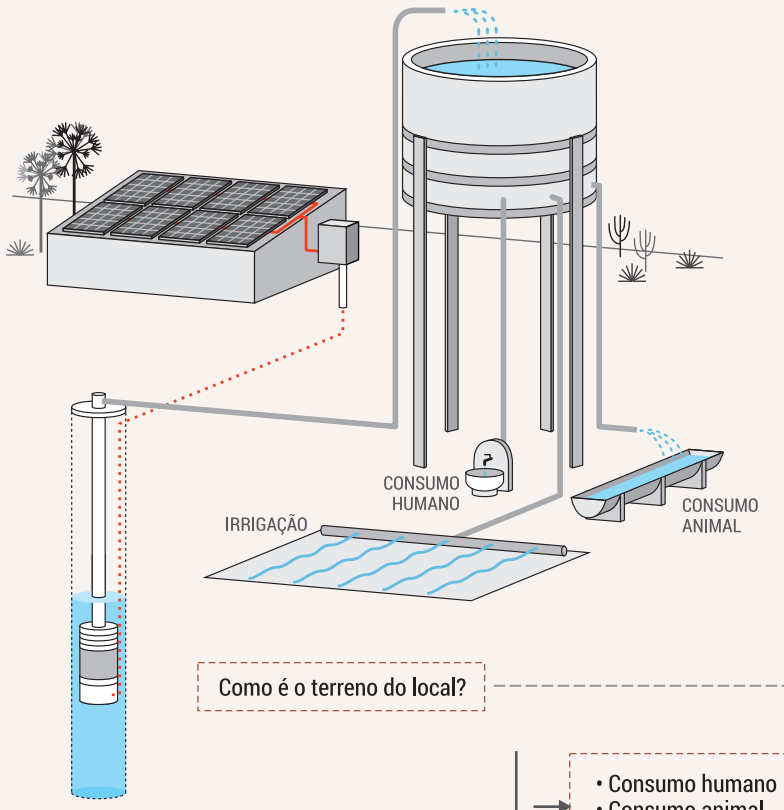


Aquecimento Solar

- ANEEL. **Resolução normativa nº 482/2012.** http://www.aneel.gov.br
- ANEEL. **Resolução normativa nº 687/2015.** http://www.aneel.gov.br
- SRD/ANEEL. **Nota técnica nº 0056/2017.** http://www.aneel.gov.br
- CEPEL – CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** 2014. http://www.cresesb.cepel.br

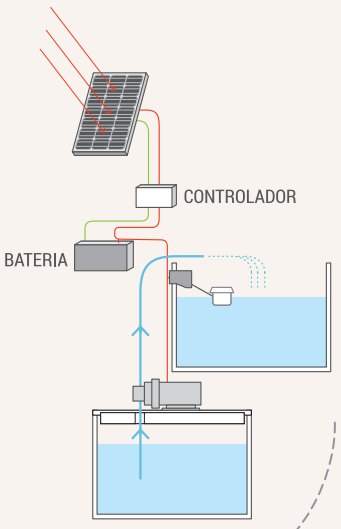
C APÊNDICE
GUIA DE AQUISIÇÃO DE PEQUENOS PROJETOS DE APROVEITAMENTO SOLAR
APPENDIX C – GUIDE TO ACQUIRING SMALL SOLAR PROJECTS

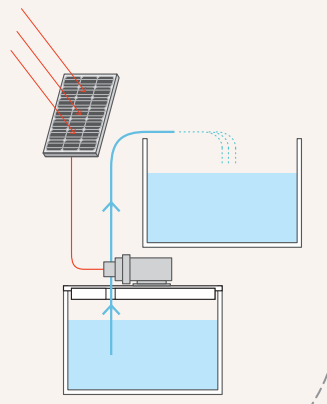
FIGURA C.3 .



QUAL SERÁ SEU SISTEMA DE APROVEITAMENTO SOLAR?

Sistema fotovoltaico de bombeamento





- Como é o terreno do local?
- Qual a finalidade do sistema?
  - • Consumo humano • Consumo animal • Irrigação → Definir o tipo de reservatório e o sistema de distribuição
  - É necessário o funcionamento contínuo ao longo do dia?
    - SIM → Recomenda-se a instalação indireta (com uso de baterias) → BOMBEAMENTO INDIRETO
    - NÃO → Recomenda-se a instalação direta (sem uso de baterias) → BOMBEAMENTO DIRETO
- Quais as características locais de radiação e temperatura? → Foi utilizada uma base de dados confiável de radiação e temperatura?
- Qual o consumo médio de água? — IMPORTANTE PARA → Dimensionar o sistema completo
  - *• Quantidade de painéis solares*
  - *• Capacidade e tipo do reservatório de água*
  - *• Vazão no sistema de distribuição* → Onde o reservatório será instalado? — *Quanto mais alto, maior o consumo de energia.*
  - *• Distância da fonte de água ao reservatório* → Deve ser mantida a menor possível — *Quanto maior a distância, maior a perda de energia.*
  - *• Características da motobomba ...*
- Qual a fonte de água? — IMPORTANTE PARA → Definir a configuração do sistema
  - Tipo de bomba
  - Tipo de motor
  - Subterrânea — *• Aquífero • Poço* → Qual a profundidade? / Qual o diâmetro do poço? — *Quanto mais profundo, maior o consumo de energia.*
  - Superficial — *• Rios • Lagos • Cisterna • Reservatório*

ELABORAÇÃO/*PREPARATION*: CAMARGO-SCHUBERT

O QUE VOCÊ PRECISA SABER

COMPONENTES
- Gerador fotovoltaico
- Conversor/Inversor
- Conjunto motobomba
- Fonte de água
- Reservatório de água (opcional)
- Sistema de distribuição

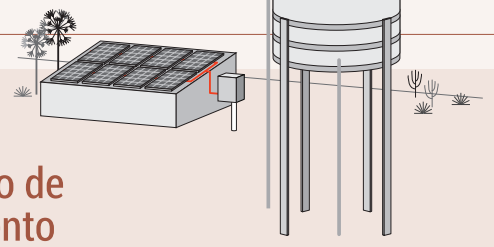
COMPONENTE EXTRA
- Bateria

CONFIGURAÇÕES
- Motobomba suspenso
- Bomba suspensa e motor em superfície
- Motobomba flutuante
- Motobomba em superfície

TIPOS DE INSTALAÇÃO
- Direta: uso direto da energia elétrica produzida pelo painel solar;
- Indireta: uso conjunto de baterias para o armazenamento da energia.

BOMBAS
- Volumétrica: recomendada para o bombeamento de menores volumes de água a grandes alturas.
- Centrífuga: recomendada para o bombeamento de maiores volumes de água a menores alturas.

Saiba mais



Sistema fotovoltaico de bombeamento

- IEC 62253:2011 – **Photovoltaic pumping systems – Design qualification and performance measurements.** 2011.
- Morales, L. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais.** Dissertação de mestrado – USP. 2011.
- Alvarenga, C (Solenerg). **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica.** https://www.solenerg.com.br
- SunLab Power. **Sistemas de bombeamento através de energia solar.** http://www.sunlab.net.br

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Este apêndice contém as tabelas com o potencial eólico, solar e híbrido calculados para as áreas apresentadas no Mapa 6.3 ("Áreas Aptas"), considerando os limites municipais do IBGE e mapas de potencial eólico e solar. Todas as premissas e metodologia de cálculo de potencial estão descritas no Capítulo 5. Ressalte-se que os municípios com área inferior a 0,01 km² de área apta urbana podem ter seu potencial fotovoltaico reavaliado, uma vez que os mapas de uso e cobertura do solo podem não representar pequenas "áreas aptas", devido a limitações na resolução espacial da modelagem. Áreas de baixo potencial fotovoltaico centralizado podem, igualmente, ser reavaliadas, uma vez que a taxa de ocupação utilizada é proporcional às áreas aptas disponíveis. O potencial dentro de uma área de interesse qualquer pode ser melhor avaliado na versão digital do Atlas em que estão disponíveis ferramentas de consulta espacial e simulação por coordenadas geográficas ou poligonais de regiões de interesse. As tabelas aqui apresentadas são um indicativo de potencial por município e podem ser úteis na elaboração das políticas públicas municipais e regionais para incentivo ao uso de energias renováveis.

TABELA D.1 Potencial Eólico por Município.

Potencial Eólico a 150 m de Altura *Wind Resource at 150 m height*				Velocidade > 7,0 m/s *Wind speed > 7,0 ms*				Velocidade > 7,5 m/s *Wind speed > 7,5 m/s*				Velocidade > 8,0 m/s *Wind speed > 8,0 m/s*			
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Abaiara	180	Sul Cearense	Brejo Santo	3,4	13,6	38%	45,0	0,2	0,6	41%	2,3	0,0	0,0	44%	0,0
Acarape	155	Norte Cearense	Baturité	0,1	0,4	38%	1,4	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Acaraú	845	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	603,5	2 414,1	50%	10 576,0	573,7	2 294,9	50%	10 151,3	419,6	1 678,6	52%	7 650,3
Acopiara	2 265	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	1,9	7,7	39%	26,3	0,4	1,6	45%	6,2	0,2	0,7	47%	2,7
Aiuaba	2 434	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	351,4	1 405,7	39%	4 768,1	36,1	144,3	42%	527,0	0,0	0,0	0%	0,0
Alcântaras	139	Noroeste Cearense	Meruoca	31,4	125,6	46%	510,5	27,8	111,0	47%	460,0	17,9	71,5	49%	308,7
Altaneira	73	Sul Cearense	Caririaçu	0,6	2,6	37%	8,3	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Alto Santo	1 338	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	36%	0,1	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Amontada	1 178	Norte Cearense	Itapipoca	740,2	2 960,8	45%	11 545,1	413,7	1 654,9	48%	6 934,4	172,4	689,4	51%	3 092,2
Antonina do Norte	260	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	0,5	2,2	38%	7,3	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Apuiarés	545	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	36%	0,1	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Aquiraz	481	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	45,5	182,1	40%	634,8	0,2	0,6	43%	2,4	0,0	0,0	0%	0,0
Aracati	1 231	Jaguaribe	Litoral de Aracati	951,2	3 805,0	48%	16 052,5	913,3	3 653,2	48%	15 493,2	496,4	1 985,5	50%	8 760,4
Aracoiaba	657	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ararendá	344	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	3,7	14,8	37%	48,6	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Araripe	1 100	Sul Cearense	Chapada do Araripe	1 020,5	4 081,8	44%	15 812,6	926,8	3 707,1	45%	14 494,4	267,3	1 069,3	47%	4 409,3
Aratuba	115	Norte Cearense	Baturité	1,0	4,0	44%	15,4	0,6	2,3	48%	9,7	0,3	1,4	51%	6,1
Arneiroz	1 066	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	42,5	170,1	38%	570,6	2,0	7,8	42%	29,0	0,1	0,3	46%	1,2
Assaré	1 116	Sul Cearense	Chapada do Araripe	190,5	761,9	39%	2 631,3	32,6	130,6	42%	483,5	0,3	1,3	46%	5,2
Aurora	886	Sul Cearense	Barro	0,1	0,3	36%	0,8	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Baixio	146	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Banabuiú	1 080	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Barbalha	570	Sul Cearense	Cariri	108,0	431,8	37%	1 408,5	2,3	9,3	36%	29,4	0,0	0,0	0%	0,0
Barreira	246	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Barro	712	Sul Cearense	Barro	5,8	23,4	41%	83,0	3,5	14,2	42%	51,9	0,6	2,3	43%	8,7
Barroquinha	385	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	253,3	1 013,3	47%	4 138,6	198,4	793,4	48%	3 360,4	87,7	351,0	51%	1 572,8
Baturité	309	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Beberibe	1 620	Norte Cearense	Cascavel	1 213,4	4 853,6	44%	18 509,9	570,8	2 283,2	47%	9 415,5	188,6	754,3	51%	3 349,4
Bela Cruz	843	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	800,1	3 200,4	45%	12 487,2	584,4	2 337,5	46%	9 327,0	26,6	106,6	49%	453,4
Boa Viagem	2 837	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	61,6	246,5	39%	837,7	10,7	42,9	43%	159,7	0,4	1,6	47%	6,4
Brejo Santo	663	Sul Cearense	Brejo Santo	44,7	178,7	38%	592,6	2,8	11,2	43%	41,6	0,5	2,2	48%	9,1
Camocim	1 129	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	832,4	3 329,5	46%	13 402,9	640,0	2 559,9	47%	10 599,6	244,1	976,3	50%	4 302,4
Campos Sales	1 083	Sul Cearense	Chapada do Araripe	483,2	1 932,7	42%	7 112,1	266,7	1 066,9	44%	4 142,0	18,5	74,0	46%	298,9

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Eólico a 150 m de Altura *Wind Resource at 150 m height*				Velocidade > 7,0 m/s *Wind speed > 7,0 ms*				Velocidade > 7,5 m/s *Wind speed > 7,5 m/s*				Velocidade > 8,0 m/s *Wind speed > 8,0 m/s*			
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Canindé	3 218	Norte Cearense	Canindé	110,8	443,1	42%	1 642,8	57,6	230,3	45%	911,3	13,6	54,5	49%	232,8
Capistrano	223	Norte Cearense	Baturité	0,3	1,2	38%	4,1	0,0	0,1	42%	0,3	0,0	0,0	0%	0,0
Caridade	847	Norte Cearense	Canindé	68,1	272,5	42%	1 000,3	26,3	105,3	46%	421,8	6,6	26,3	49%	112,3
Cariré	757	Noroeste Cearense	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Caririaçu	624	Sul Cearense	Caririaçu	9,5	38,0	37%	124,8	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Cariús	1 062	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	1,6	6,5	37%	20,9	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Carnaubal	365	Noroeste Cearense	Ibiapaba	279,5	1 118,2	50%	4 903,1	276,2	1 105,0	50%	4 858,3	249,5	997,8	51%	4 441,2
Cascavel	835	Norte Cearense	Cascavel	193,7	774,7	40%	2 706,2	5,6	22,6	44%	86,3	0,0	0,2	48%	0,7
Catarina	487	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	40,5	162,0	38%	537,8	0,9	3,5	42%	12,8	0,0	0,0	0%	0,0
Catunda	791	Noroeste Cearense	Santa Quitéria	51,4	205,5	42%	760,9	29,6	118,5	45%	463,8	7,6	30,4	48%	128,0
Caucaia	1 228	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	318,2	1 272,9	43%	4 744,3	99,5	398,1	48%	1 665,8	38,6	154,5	51%	694,6
Cedro	726	Centro-Sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Chaval	237	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	147,2	588,6	40%	2 042,7	11,8	47,1	44%	183,1	0,0	0,0	0%	0,0
Choró	816	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	3,0	12,1	39%	41,7	0,7	2,8	44%	11,0	0,2	0,7	48%	3,0
Chorozinho	278	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Coreaú	776	Noroeste Cearense	Coreaú	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Crateús	2 985	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	110,3	441,2	41%	1 569,2	42,5	169,8	44%	654,9	7,4	29,7	48%	124,5
Crato	1 176	Sul Cearense	Cariri	64,6	258,5	37%	848,1	2,3	9,2	37%	29,8	0,0	0,0	0%	0,0
Croatá	697	Noroeste Cearense	Ibiapaba	415,0	1 660,2	41%	6 031,4	200,7	802,9	44%	3 123,9	26,6	106,4	49%	455,0
Cruz	330	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	278,7	1 114,8	50%	4 840,9	278,7	1 114,8	50%	4 840,8	239,0	955,9	50%	4 178,8
Deputado Irapuan Pinheiro	470	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ererê	383	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Eusébio	79	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Farias Brito	504	Sul Cearense	Caririaçu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Forquilha	517	Noroeste Cearense	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Fortaleza	312	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Fortim	278	Jaguaribe	Litoral de Aracati	220,2	880,7	50%	3 830,8	220,2	880,7	50%	3 830,8	157,9	631,6	51%	2 796,1
Frecheirinha	181	Noroeste Cearense	Coreaú	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
General Sampaio	206	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Graça	282	Noroeste Cearense	Sobral	2,2	8,9	39%	30,1	0,5	1,9	42%	6,9	0,0	0,0	0%	0,0
Granja	2 663	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	598,0	2 392,1	40%	8 470,5	69,1	276,3	45%	1 096,1	12,4	49,7	53%	230,4
Granjeiro	100	Sul Cearense	Caririaçu	1,6	6,6	37%	21,2	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Groaíras	156	Noroeste Cearense	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Guaiúba	267	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,9	3,6	41%	13,0	0,4	1,5	45%	6,0	0,2	0,6	49%	2,6
Guaraciaba do Norte	611	Noroeste Cearense	Ibiapaba	473,5	1 894,0	45%	7 396,9	400,9	1 603,7	46%	6 403,8	156,9	627,5	48%	2 632,5
Guaramiranga	59	Norte Cearense	Baturité	0,1	0,5	47%	2,1	0,1	0,4	48%	1,9	0,1	0,3	51%	1,2
Hidrolândia	967	Noroeste Cearense	Santa Quitéria	0,0	0,0	34%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Horizonte	161	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	7,6	30,3	38%	101,6	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ibaretama	877	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,2	0,8	42%	3,1	0,1	0,5	45%	1,9	0,0	0,1	50%	0,6

Potencial Eólico a 150 m de Altura *Wind Resource at 150 m height*				Velocidade > 7,0 m/s *Wind speed > 7,0 ms*				Velocidade > 7,5 m/s *Wind speed > 7,5 m/s*				Velocidade > 8,0 m/s *Wind speed > 8,0 m/s*			
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Ibiapina	415	Noroeste Cearense	Ibiapaba	223,5	894,1	49%	3 805,8	196,6	786,5	50%	3 439,9	168,2	672,8	51%	3 005,3
Ibicuitinga	425	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	37%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Icapuí	424	Jaguaribe	Litoral de Aracati	303,3	1 213,1	52%	5 501,2	303,3	1 213,1	52%	5 501,2	303,3	1 213,1	52%	5 501,2
Icó	1 872	Centro-sul Cearense	Iguatu	73,4	293,5	39%	1 009,5	17,2	69,0	43%	256,8	1,5	5,9	46%	23,7
Iguatu	1 029	Centro-sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Independência	3 219	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	240,4	961,8	40%	3 335,4	43,4	173,6	45%	690,5	16,6	66,4	48%	279,2
Ipaporanga	702	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	124,5	498,1	44%	1 935,3	100,0	400,2	46%	1 603,6	41,8	167,4	48%	698,7
Ipaumirim	275	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ipu	629	Noroeste Cearense	Ipu	33,8	135,2	39%	457,3	2,8	11,4	42%	42,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ipueiras	1 477	Noroeste Cearense	Ipu	430,2	1 720,7	45%	6 763,0	325,9	1 303,7	47%	5 336,9	162,3	649,2	49%	2 801,9
Iracema	821	Jaguaribe	Serra do Pereiro	15,2	60,8	41%	220,1	6,0	23,9	45%	93,4	1,8	7,2	48%	30,3
Irauçuba	1 461	Noroeste Cearense	Sobral	79,5	318,1	40%	1 104,8	9,4	37,5	46%	152,3	4,3	17,3	50%	75,2
Itaiçaba	212	Jaguaribe	Litoral de Aracati	176,1	704,4	42%	2 614,0	54,4	217,7	46%	870,3	1,6	6,2	48%	26,4
Itaitinga	152	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Itapajé	431	Norte Cearense	Uruburetama	22,4	89,6	42%	331,8	7,8	31,1	49%	133,1	5,0	19,8	52%	89,6
Itapipoca	1 614	Norte Cearense	Itapipoca	997,2	3 988,9	45%	15 602,9	663,3	2 653,2	46%	10 799,0	150,2	600,6	52%	2 719,6
Itapiúna	589	Norte Cearense	Baturité	16,0	63,9	40%	223,4	1,5	6,1	43%	22,9	0,0	0,0	0%	0,0
Itarema	718	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	502,4	2 009,4	48%	8 453,8	388,7	1 554,6	50%	6 831,9	260,4	1 041,7	52%	4 781,2
Itatira	783	Norte Cearense	Canindé	23,4	93,5	40%	327,3	7,4	29,7	44%	113,1	0,9	3,6	48%	15,2
Jaguaretama	1 759	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Jaguaribara	669	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Jaguaribe	1 877	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,6	2,6	40%	9,0	0,2	0,7	43%	2,8	0,0	0,0	0%	0,0
Jaguaruana	868	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	626,3	2 505,0	42%	9 281,0	247,4	989,6	45%	3 911,8	2,6	10,3	49%	43,7
Jardim	552	Sul Cearense	Cariri	150,0	600,0	37%	1 940,4	1,1	4,3	38%	14,5	0,0	0,0	0%	0,0
Jati	353	Sul Cearense	Brejo Santo	24,1	96,4	37%	309,4	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Jijoca de Jericoacoara	208	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	132,7	530,7	49%	2 257,6	132,7	530,7	49%	2 257,6	70,2	280,9	50%	1 233,4
Juazeiro do Norte	249	Sul Cearense	Cariri	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Jucás	937	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	1,4	5,4	42%	20,0	0,9	3,7	43%	14,0	0,1	0,4	49%	1,9
Lavras da Mangabeira	948	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Limoeiro do Norte	750	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Madalena	1 035	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	2,2	8,9	38%	29,6	0,0	0,1	42%	0,4	0,0	0,0	47%	0,0
Maracanaú	107	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	1,2	4,7	44%	18,2	0,6	2,5	49%	10,7	0,4	1,6	51%	7,2
Maranguape	591	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	54,9	219,6	41%	792,6	9,1	36,6	49%	157,3	5,2	21,0	53%	97,5
Marco	574	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	495,1	1 980,6	41%	7 070,1	74,4	297,6	44%	1 156,0	0,3	1,0	49%	4,3
Martinópole	299	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	48,2	193,0	39%	654,8	0,1	0,3	46%	1,2	0,0	0,1	48%	0,2
Massapê	567	Noroeste Cearense	Sobral	24,6	98,3	40%	344,1	2,7	10,7	46%	42,9	0,9	3,8	50%	16,4
Mauriti	1 049	Sul Cearense	Barro	150,1	600,6	39%	2 037,4	16,6	66,3	41%	240,8	0,4	1,8	49%	7,5
Meruoca	150	Noroeste Cearense	Meruoca	17,1	68,4	45%	267,8	11,1	44,4	48%	186,3	6,6	26,6	50%	117,4
Milagres	605	Sul Cearense	Brejo Santo	0,7	3,0	37%	9,6	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Eólico a 150 m de Altura *Wind Resource at 150 m height*				Velocidade > 7,0 m/s *Wind speed > 7,0 ms*				Velocidade > 7,5 m/s *Wind speed > 7,5 m/s*				Velocidade > 8,0 m/s *Wind speed > 8,0 m/s*			
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Milhã	502	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Miraíma	700	Noroeste Cearense	Sobral	2,1	8,4	45%	33,2	1,5	5,8	48%	24,4	1,0	3,9	50%	16,9
Missão Velha	646	Sul Cearense	Cariri	124,0	496,0	39%	1 693,2	20,8	83,1	42%	305,5	0,5	1,9	45%	7,5
Mombaça	2 119	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	32,2	128,9	39%	443,7	7,5	30,0	43%	113,8	0,3	1,1	46%	4,3
Monsenhor Tabosa	886	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	196,5	785,9	38%	2 631,9	10,9	43,5	43%	163,4	1,3	5,1	49%	21,6
Morada Nova	2 779	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	1,9	7,5	39%	25,4	0,0	0,1	43%	0,4	0,0	0,0	0%	0,0
Moraújo	416	Noroeste Cearense	Coreaú	1,3	5,1	39%	17,2	0,1	0,3	43%	1,2	0,0	0,0	47%	0,0
Morrinhos	416	Noroeste Cearense	Litoral de Camocim e Acaraú	172,5	689,9	40%	2 417,9	6,2	25,0	44%	95,9	0,4	1,5	52%	6,7
Mucambo	191	Noroeste Cearense	Sobral	0,0	0,1	37%	0,2	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Mulungu	135	Norte Cearense	Baturité	1,0	3,9	46%	15,8	0,5	2,2	52%	9,8	0,4	1,8	54%	8,3
Nova Olinda	284	Sul Cearense	Cariri	52,5	210,0	39%	719,2	1,9	7,8	41%	28,0	0,0	0,0	0%	0,0
Nova Russas	743	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Novo Oriente	949	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	63,8	255,1	39%	880,9	23,3	93,1	42%	344,7	3,4	13,7	42%	50,1
Ocara	765	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Orós	576	Centro-Sul	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Pacajus	255	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	0,5	2,0	38%	6,7	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Pacatuba	132	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	3,8	15,4	40%	54,1	0,8	3,1	47%	12,8	0,4	1,6	49%	6,8
Pacoti	112	Norte Cearense	Baturité	2,6	10,4	45%	41,3	1,5	5,9	50%	25,8	1,1	4,2	52%	19,1
Pacujá	76	Noroeste Cearense	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Palhano	440	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	147,5	589,9	39%	2 024,6	1,2	4,7	43%	17,7	0,0	0,0	0%	0,0
Palmácia	118	Norte Cearense	Baturité	6,0	24,2	45%	95,5	3,5	14,1	49%	60,8	2,1	8,3	53%	38,6
Paracuru	302	Norte Cearense	Baixo Curu	206,8	827,1	45%	3 286,6	149,2	596,9	47%	2 465,4	45,5	181,8	51%	814,3
Paraipaba	301	Norte Cearense	Baixo Curu	212,1	848,5	44%	3 253,8	108,0	432,0	47%	1 767,6	28,6	114,6	51%	511,1
Parambu	2 304	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	197,9	791,5	39%	2 676,3	43,6	174,3	41%	625,2	0,0	0,0	0%	0,0
Paramoti	483	Norte Cearense	Canindé	0,0	0,0	36%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Pedra Branca	1 303	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	236,4	945,4	39%	3 239,5	37,0	147,8	43%	561,7	4,0	15,9	48%	67,0
Penaforte	150	Sul Cearense	Brejo Santo	7,6	30,3	36%	96,5	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Pentecoste	1 378	Norte Cearense	Médio Curu	4,2	16,7	38%	56,0	0,1	0,2	43%	0,9	0,0	0,0	49%	0,1
Pereiro	434	Jaguaribe	Serra do Pereiro	77,7	310,9	41%	1 108,5	28,4	113,7	45%	450,4	9,9	39,6	48%	168,2
Pindoretama	75	Norte Cearense	Cascavel	55,8	223,0	44%	854,3	38,0	151,9	45%	595,2	0,0	0,0	0%	0,0
Piquet Carneiro	588	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,1	0,2	38%	0,8	0,0	0,1	41%	0,2	0,0	0,0	0%	0,0
Pires Ferreira	243	Noroeste Cearense	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Poranga	1 309	Noroeste Cearense	Ipu	468,9	1 875,6	46%	7 485,7	358,9	1 435,5	48%	5 979,2	233,1	932,6	49%	4 042,3
Porteiras	218	Sul Cearense	Cariri	12,1	48,3	37%	156,3	0,2	0,7	40%	2,3	0,0	0,0	0%	0,0
Potengi	339	Sul Cearense	Chapada do Araripe	218,6	874,2	40%	3 059,6	52,5	209,9	43%	784,4	0,0	0,0	0%	0,0
Potiretama	410	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Quiterianópolis	1 041	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	138,3	553,2	41%	1 973,9	61,9	247,4	43%	929,6	9,6	38,5	45%	151,4
Quixadá	2 020	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	1,8	7,2	40%	25,3	0,6	2,6	44%	9,9	0,1	0,5	47%	1,9
Quixelô	560	Centro-Sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Quixeramobim	3 276	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	3,0	11,9	39%	40,4	0,5	1,9	44%	7,4	0,1	0,5	48%	1,9
Quixeré	614	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	47,4	189,4	38%	634,2	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0

Potencial Eólico a 150 m de Altura *Wind Resource at 150 m height*				Velocidade > 7,0 m/s *Wind speed > 7,0 ms*				Velocidade > 7,5 m/s *Wind speed > 7,5 m/s*				Velocidade > 8,0 m/s *Wind speed > 8,0 m/s*			
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Redenção	226	Norte Cearense	Baturité	0,2	0,8	37%	2,7	0,0	0,0	41%	0,1	0,0	0,0	0%	0,0
Reriutaba	383	Noroeste Cearense	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Russas	1 590	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	2,6	10,6	39%	35,7	0,1	0,4	43%	1,5	0,0	0,0	0%	0,0
Saboeiro	1 383	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	11,9	47,6	39%	163,2	2,2	8,8	44%	33,9	0,6	2,5	48%	10,2
Salitre	804	Sul Cearense	Chapada do Araripe	715,0	2 859,9	48%	12 056,7	682,2	2 728,9	49%	11 605,7	567,3	2 269,1	49%	9 771,8
Santana do Acaraú	969	Noroeste Cearense	Sobral	8,9	35,6	39%	121,0	0,5	2,1	46%	8,7	0,2	1,0	49%	4,2
Santana do Cariri	856	Sul Cearense	Cariri	430,4	1 721,5	39%	5 938,4	122,3	489,3	43%	1 822,3	0,2	0,8	46%	3,2
Santa Quitéria	4 260	Noroeste Cearense	Santa Quitéria	302,1	1 208,5	40%	4 255,1	69,8	279,1	44%	1 071,3	7,2	28,9	49%	123,4
São Benedito	338	Noroeste Cearense	Ibiapaba	232,5	929,9	47%	3 845,7	205,2	820,9	48%	3 477,8	154,7	618,9	50%	2 708,1
São Gonçalo do Amarante	834	Norte Cearense	Baixo Curu	200,2	801,0	43%	2 985,2	77,4	309,5	46%	1 258,7	12,2	48,8	50%	212,8
São João do Jaguaribe	280	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
São Luís do Curu	122	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Senador Pompeu	1 002	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Senador Sá	424	Noroeste Cearense	Sobral	48,3	193,2	38%	648,7	0,4	1,4	44%	5,6	0,0	0,2	48%	0,6
Sobral	2 123	Noroeste Cearense	Sobral	16,9	67,8	41%	243,0	6,8	27,1	44%	104,4	1,0	4,0	47%	16,6
Solonópole	1 536	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Tabuleiro do Norte	862	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Tamboril	1 961	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	131,5	525,9	40%	1 843,7	32,8	131,2	44%	508,9	9,1	36,3	48%	151,6
Tarrafas	454	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	2,2	8,7	37%	28,2	0,0	0,1	41%	0,4	0,0	0,0	0%	0,0
Tauá	4 018	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	894,4	3 577,7	40%	12 536,8	217,0	868,0	44%	3 347,5	29,0	115,9	48%	488,2
Tejuçuoca	760	Norte Cearense	Médio Curu	0,7	2,7	40%	9,5	0,2	0,7	44%	2,8	0,0	0,1	46%	0,6
Tianguá	909	Noroeste Cearense	Ibiapaba	477,2	1 908,7	49%	8 176,4	426,5	1 705,9	50%	7 483,4	349,1	1 396,3	51%	6 294,2
Trairi	929	Norte Cearense	Itapipoca	536,4	2 145,5	46%	8 561,3	371,0	1 484,0	48%	6 205,9	156,5	625,9	51%	2 780,8
Tururu	202	Norte Cearense	Uruburetama	3,2	12,7	38%	42,6	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Ubajara	421	Noroeste Cearense	Ibiapaba	192,0	768,0	49%	3 288,2	167,6	670,5	50%	2 959,5	141,4	565,5	52%	2 556,5
Umari	264	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,4	1,6	38%	5,2	0,1	0,4	41%	1,3	0,0	0,0	0%	0,0
Umirim	317	Norte Cearense	Uruburetama	0,1	0,5	40%	1,7	0,1	0,3	43%	1,0	0,0	0,0	0%	0,0
Uruburetama	97	Norte Cearense	Uruburetama	1,0	4,0	41%	14,6	0,5	2,0	44%	7,8	0,1	0,4	48%	1,6
Uruoca	697	Noroeste Cearense	Coreaú	3,4	13,7	39%	46,8	0,3	1,2	47%	5,1	0,1	0,6	51%	2,5
Varjota	179	Noroeste Cearense	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0%	0,0
Várzea Alegre	836	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	5,2	21,0	37%	68,7	0,0	0,1	41%	0,2	0,0	0,0	0%	0,0
Viçosa do Ceará	1 312	Noroeste Cearense	Ibiapaba	475,7	1 902,9	48%	7 940,5	394,5	1 578,0	49%	6 836,4	286,3	1 145,2	51%	5 153,2

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

TABELA D.2 Potencial Solar por Município.

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10° Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10° GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10° Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10° Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10° Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10° GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10° Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10° Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Abaiara	180	Sul Cearense	Brejo Santo	0,3	0,6	5,943	5,997	4,519	1,0	10,1	0,081	5,952	6,007	4,526	133,4
Acarape	155	Norte Cearense	Baturité	0,9	1,8	4,980	5,021	3,779	2,4	4,0	0,032	5,053	5,081	3,825	44,5
Acaraú	845	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	2,5	5,0	5,199	5,216	3,917	7,2	77,5	0,620	5,260	5,278	3,963	896,9
Acopiara	2 265	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	2,1	4,1	5,636	5,691	4,273	6,4	168,0	1,344	5,700	5,753	4,320	2 119,4
Aiuaba	2 434	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	0,5	1,0	5,798	5,857	4,410	1,6	281,0	2,248	5,677	5,745	4,337	3 558,9
Alcântaras	139	Noroeste	Meruoca	0,4	0,7	5,738	5,734	4,365	1,2	0,5	0,004	5,699	5,719	4,347	6,6
Altaneira	73	Sul Cearense	Caririaçu	0,6	1,3	5,888	5,950	4,512	2,1	2,2	0,018	5,871	5,936	4,496	29,0
Alto Santo	1 338	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,9	1,8	5,861	5,900	4,405	2,8	143,3	1,147	5,882	5,922	4,427	1 852,9
Amontada	1 178	Norte Cearense	Itapipoca	1,4	2,8	5,599	5,621	4,216	4,4	75,6	0,605	5,480	5,502	4,132	912,6
Antonina do Norte	260	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	1,2	2,4	5,810	5,870	4,413	3,9	16,1	0,128	5,798	5,864	4,408	206,6
Apuiarés	545	Norte Cearense	Médio Curu	0,8	1,6	5,401	5,422	4,073	2,4	77,6	0,621	5,493	5,522	4,151	941,0
Aquiraz	481	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	22,2	44,5	5,158	5,185	3,904	63,3	4,8	0,038	5,184	5,211	3,922	54,8
Aracati	1 231	Jaguaribe	Litoral de Aracati	3,7	7,3	5,615	5,647	4,241	11,3	183,2	1,465	5,646	5,678	4,261	2 278,7
Aracoiaba	657	Norte Cearense	Baturité	1,4	2,8	5,023	5,049	3,801	3,9	72,1	0,577	5,374	5,402	4,063	855,7
Ararendá	344	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	0,8	1,5	5,111	5,136	3,859	2,1	66,1	0,529	5,125	5,160	3,872	747,4
Araripe	1 100	Sul Cearense	Chapada do Araripe	0,7	1,5	5,750	5,817	4,406	2,4	315,6	2,525	5,764	5,830	4,439	4 090,9
Aratuba	115	Norte Cearense	Baturité	0,2	0,4	4,844	4,962	3,798	0,6	0,5	0,004	5,143	5,176	3,909	6,2
Arneiroz	1 066	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	0,3	0,5	5,679	5,734	4,298	0,8	66,4	0,531	5,649	5,709	4,288	830,8
Assaré	1 116	Sul Cearense	Chapada do Araripe	1,2	2,4	5,827	5,891	4,439	3,9	56,0	0,448	5,833	5,900	4,453	728,3
Aurora	886	Sul Cearense	Barro	1,4	2,8	5,804	5,863	4,404	4,5	41,5	0,332	5,851	5,908	4,441	537,7
Baixio	146	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,4	0,8	6,119	6,176	4,641	1,4	21,6	0,173	6,100	6,157	4,625	292,1
Banabuiú	1 080	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,9	1,7	5,693	5,729	4,295	2,7	125,9	1,007	5,655	5,691	4,271	1 569,9
Barbalha	570	Sul Cearense	Cariri	5,0	10,0	5,839	5,896	4,445	16,2	64,1	0,513	5,804	5,857	4,462	835,0
Barreira	246	Norte Cearense	Chorozinho	1,5	3,0	5,160	5,188	3,907	4,3	19,1	0,153	5,236	5,266	3,961	220,9
Barro	712	Sul Cearense	Barro	1,2	2,4	5,969	6,033	4,544	4,0	33,1	0,265	5,955	6,011	4,528	437,4
Barroquinha	385	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,5	3,0	5,417	5,446	4,078	4,5	12,9	0,103	5,420	5,441	4,077	153,1
Baturité	309	Norte Cearense	Baturité	1,9	3,9	4,638	4,684	3,531	5,0	10,3	0,083	5,182	5,212	3,923	118,3
Beberibe	1 620	Norte Cearense	Cascavel	2,5	4,9	5,382	5,410	4,069	7,3	96,9	0,775	5,422	5,451	4,094	1 157,9
Bela Cruz	843	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	2,1	4,2	5,337	5,354	4,012	6,2	104,2	0,834	5,343	5,364	4,020	1 223,2
Boa Viagem	2 837	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	2,4	4,7	5,336	5,368	4,036	6,9	195,0	1,560	5,231	5,266	3,966	2 258,9
Brejo Santo	663	Sul Cearense	Brejo Santo	3,8	7,6	5,989	6,042	4,551	12,7	42,3	0,338	5,955	6,006	4,531	559,6
Camocim	1 129	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	4,4	8,9	5,227	5,247	3,934	12,8	51,8	0,414	5,283	5,303	3,974	600,9
Campos Sales	1 083	Sul Cearense	Chapada do Araripe	2,0	4,0	5,765	5,840	4,417	6,5	108,8	0,871	5,726	5,799	4,385	1 393,7
Canindé	3 218	Norte Cearense	Canindé	8,6	17,1	5,536	5,570	4,194	26,2	177,4	1,419	5,459	5,490	4,138	2 143,1
Capistrano	223	Norte Cearense	Baturité	0,7	1,4	4,936	4,969	3,745	1,9	10,2	0,082	5,137	5,167	3,893	116,4

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
36,4	0,292	5,951	6,006	4,528	481,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
16,1	0,129	5,054	5,081	3,825	180,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
186,8	1,494	5,259	5,277	3,962	2 161,0	5,7	0,091	5,574	5,599	4,195	139,9	11,8	0,189	5,574	5,598	4,195	288,7
774,7	6,198	5,700	5,752	4,320	9 772,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
849,9	6,799	5,685	5,752	4,338	10 765,4	18,5	0,296	5,698	5,762	4,330	468,0	69,8	1,117	5,693	5,757	4,326	1 763,1
3,2	0,025	5,697	5,712	4,340	40,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
7,6	0,061	5,866	5,931	4,489	99,5	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
323,4	2,587	5,880	5,920	4,426	4 178,9	59,0	0,945	5,859	5,899	4,409	1 520,0	217,6	3,482	5,858	5,899	4,408	5 602,5
170,4	1,363	5,487	5,509	4,137	2 057,6	107,0	1,712	5,636	5,660	4,242	2 651,2	241,5	3,864	5,644	5,668	4,248	5 991,5
69,1	0,553	5,794	5,860	4,405	888,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
265,7	2,126	5,490	5,519	4,149	3 219,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
13,8	0,110	5,184	5,212	3,922	158,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
307,4	2,459	5,644	5,676	4,259	3 823,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
248,9	1,991	5,355	5,383	4,048	2 941,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
177,2	1,418	5,123	5,158	3,870	2 002,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
468,1	3,745	5,747	5,815	4,420	6 041,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
2,9	0,023	5,142	5,168	3,903	32,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
279,4	2,235	5,655	5,714	4,292	3 502,0	37,8	0,605	5,663	5,723	4,294	947,9	136,8	2,189	5,669	5,729	4,299	3 435,0
225,6	1,805	5,825	5,893	4,444	2 927,5	0,9	0,014	5,795	5,862	4,405	22,0	4,5	0,072	5,796	5,863	4,406	115,0
190,7	1,526	5,853	5,910	4,443	2 474,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
69,8	0,558	6,103	6,160	4,627	942,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
437,4	3,499	5,660	5,696	4,273	5 458,2	13,4	0,214	5,725	5,763	4,323	337,5	50,1	0,802	5,722	5,760	4,320	1 264,9
109,1	0,872	5,812	5,866	4,460	1 420,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
73,1	0,585	5,236	5,265	3,961	845,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
171,1	1,369	5,959	6,016	4,532	2 263,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
18,5	0,148	5,429	5,450	4,083	220,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
42,1	0,337	5,178	5,208	3,920	482,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
243,1	1,945	5,421	5,451	4,093	2 905,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
206,9	1,655	5,342	5,363	4,020	2 428,2	0,3	0,005	5,457	5,479	4,104	8,0	0,7	0,011	5,458	5,478	4,103	16,4
876,7	7,014	5,243	5,277	3,976	10 178,0	5,5	0,088	5,475	5,515	4,149	133,3	24,8	0,396	5,475	5,516	4,150	600,1
148,6	1,189	5,953	6,004	4,529	1 965,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
82,9	0,663	5,282	5,302	3,973	961,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
390,7	3,126	5,721	5,794	4,379	4 996,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
760,5	6,084	5,456	5,487	4,136	9 185,0	35,0	0,560	5,624	5,655	4,260	870,6	138,1	2,210	5,621	5,651	4,258	3 433,8
42,7	0,342	5,130	5,159	3,887	484,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [kWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Caridade	847	Norte Cearense	Canindé	2,0	3,9	5,752	5,770	4,347	6,2	81,4	0,652	5,695	5,726	4,315	1 026,2
Cariré	757	Noroeste	Sobral	1,5	3,1	5,359	5,387	4,032	4,6	85,2	0,681	5,291	5,322	3,984	990,6
Caririaçu	624	Sul Cearense	Caririaçu	1,1	2,1	5,829	5,887	4,458	3,5	8,6	0,069	5,831	5,891	4,441	112,0
Cariús	1 062	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,7	1,4	5,744	5,798	4,345	2,3	47,7	0,381	5,821	5,881	4,412	614,1
Carnaubal	365	Noroeste	Ibiapaba	2,6	5,2	5,767	5,820	4,436	8,4	43,3	0,347	5,837	5,872	4,476	566,6
Cascavel	835	Norte Cearense	Cascavel	3,8	7,6	5,266	5,296	3,985	11,1	29,6	0,237	5,345	5,372	4,036	348,6
Catarina	487	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	1,1	2,1	5,671	5,725	4,326	3,4	24,7	0,198	5,708	5,766	4,340	313,5
Catunda	791	Noroeste	Santa Quitéria	0,8	1,6	5,809	5,855	4,396	2,6	30,0	0,240	5,736	5,771	4,343	381,0
Caucaia	1 228	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	46,4	92,8	5,255	5,279	3,973	134,6	65,9	0,527	5,416	5,441	4,095	788,3
Cedro	726	Centro-Sul Cearense	Iguatu	2,0	3,9	5,921	5,980	4,488	6,4	58,7	0,470	5,917	5,974	4,482	768,5
Chaval	237	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,5	3,0	5,461	5,480	4,100	4,5	23,8	0,191	5,642	5,665	4,239	295,1
Choró	816	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,3	0,5	5,388	5,410	4,074	0,8	49,8	0,399	5,345	5,376	4,050	589,4
Chorozinho	278	Norte Cearense	Chorozinho	1,1	2,3	5,323	5,351	4,022	3,4	14,8	0,118	5,330	5,359	4,029	173,7
Coreaú	776	Noroeste	Coreaú	1,7	3,5	5,419	5,454	4,081	5,2	33,4	0,267	5,395	5,426	4,063	396,7
Crateús	2 985	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	5,5	10,9	5,410	5,455	4,080	16,2	628,2	5,026	5,432	5,476	4,101	7 522,7
Crato	1 176	Sul Cearense	Cariri	9,1	18,1	5,841	5,897	4,446	29,4	118,4	0,947	5,813	5,870	4,474	1 546,2
Croatá	697	Noroeste	Ibiapaba	1,9	3,7	5,845	5,895	4,462	6,1	79,3	0,634	5,908	5,946	4,506	1 043,5
Cruz	330	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	0,7	1,5	5,188	5,201	3,904	2,1	46,5	0,372	5,149	5,166	3,878	526,3
Deputado Irapuan Pinheiro	470	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,2	0,5	5,786	5,832	4,376	0,7	30,3	0,243	5,780	5,827	4,371	387,3
Ererê	383	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,3	0,6	5,764	5,801	4,347	0,9	47,1	0,377	5,699	5,743	4,302	591,2
Eusébio	79	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	14,7	29,3	5,108	5,133	3,863	41,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Farias Brito	504	Sul Cearense	Caririaçu	0,9	1,7	5,798	5,860	4,401	2,8	16,6	0,133	5,837	5,901	4,441	215,2
Forquilha	517	Noroeste	Sobral	1,4	2,7	5,661	5,689	4,255	4,3	57,5	0,460	5,687	5,718	4,282	719,6
Fortaleza	312	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	229,5	458,9	5,209	5,234	3,939	659,9	0,0	0,000	5,246	5,258	3,956	0,0
Fortim	278	Jaguaribe	Litoral de Aracati	0,9	1,9	5,612	5,641	4,244	2,9	7,2	0,058	5,549	5,579	4,193	88,2
Frecheirinha	181	Noroeste	Coreaú	0,9	1,9	5,164	5,158	3,861	2,6	20,7	0,166	5,216	5,245	3,928	237,6
General Sampaio	206	Norte Cearense	Médio Curu	0,5	0,9	5,319	5,355	4,026	1,3	18,4	0,147	5,363	5,395	4,057	217,6
Graça	282	Noroeste	Sobral	0,7	1,4	4,890	4,940	3,704	1,9	19,6	0,157	4,929	4,961	3,719	213,0
Granja	2 663	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	4,2	8,5	5,483	5,509	4,120	12,8	134,3	1,074	5,651	5,676	4,248	1 665,5
Granjeiro	100	Sul Cearense	Caririaçu	0,1	0,2	5,823	5,871	4,412	0,4	1,2	0,010	5,818	5,877	4,419	16,1
Groaíras	156	Noroeste	Sobral	0,8	1,6	5,479	5,503	4,115	2,4	24,9	0,199	5,510	5,543	4,146	300,9
Guaiúba	267	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	1,1	2,2	4,969	4,996	3,759	3,1	6,1	0,049	5,016	5,042	3,796	67,4
Guaraciaba do Norte	611	Noroeste	Ibiapaba	3,2	6,3	5,566	5,578	4,266	9,9	82,6	0,661	5,948	5,980	4,552	1 098,2

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
299,0	2,392	5,701	5,732	4,320	3 771,1	11,9	0,191	5,723	5,753	4,334	302,4	40,0	0,640	5,720	5,752	4,333	1 012,3
263,5	2,108	5,293	5,324	3,985	3 066,7	38,0	0,608	5,302	5,333	3,993	885,8	104,0	1,664	5,302	5,333	3,992	2 424,7
46,9	0,375	5,830	5,890	4,441	607,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
205,3	1,643	5,826	5,886	4,417	2 648,3	3,6	0,058	5,865	5,925	4,447	93,6	16,2	0,260	5,867	5,926	4,449	422,2
133,0	1,064	5,850	5,885	4,484	1 741,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
73,9	0,591	5,342	5,370	4,034	870,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
132,3	1,059	5,708	5,766	4,340	1 677,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
103,5	0,828	5,756	5,790	4,361	1 317,8	73,2	1,171	5,702	5,743	4,314	1 843,2	212,5	3,400	5,706	5,746	4,316	5 356,6
206,3	1,650	5,416	5,442	4,095	2 467,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
238,6	1,909	5,917	5,974	4,482	3 122,7	0,0	0,001	5,913	5,965	4,479	0,9	0,1	0,002	5,913	5,965	4,479	3,6
43,9	0,351	5,631	5,655	4,232	542,4	1,6	0,026	5,541	5,566	4,164	39,7	2,3	0,037	5,542	5,567	4,165	55,9
230,7	1,846	5,342	5,373	4,048	2 727,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
45,8	0,366	5,326	5,354	4,025	538,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
106,2	0,849	5,388	5,419	4,058	1 258,2	73,7	1,180	5,459	5,490	4,109	1 769,3	184,9	2,958	5,455	5,486	4,106	4 433,1
1 505,2	12,041	5,431	5,475	4,101	18 025,5	16,9	0,271	5,691	5,732	4,297	424,8	28,4	0,455	5,689	5,731	4,297	713,4
201,5	1,612	5,823	5,881	4,469	2 629,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
251,2	2,009	5,891	5,928	4,494	3 295,9	9,2	0,146	5,975	6,013	4,543	242,9	21,9	0,351	5,987	6,023	4,551	583,3
92,1	0,737	5,154	5,171	3,881	1 044,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
155,8	1,246	5,778	5,825	4,370	1 987,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
146,5	1,172	5,695	5,740	4,299	1 839,6	0,2	0,004	5,601	5,642	4,223	6,1	1,1	0,018	5,603	5,642	4,223	27,6
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
82,6	0,661	5,840	5,904	4,443	1 071,9	0,0	0,001	5,809	5,875	4,413	0,9	0,3	0,004	5,810	5,876	4,415	6,5
191,7	1,533	5,686	5,717	4,281	2 396,4	19,2	0,307	5,698	5,729	4,290	481,5	63,3	1,013	5,700	5,731	4,292	1 587,4
0,0	0,000	5,247	5,258	3,956	0,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
15,0	0,120	5,544	5,573	4,188	183,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
57,0	0,456	5,217	5,246	3,929	654,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
74,3	0,595	5,361	5,393	4,056	880,5	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
57,5	0,460	4,944	4,976	3,732	626,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
290,8	2,326	5,615	5,640	4,221	3 584,2	121,8	1,950	5,517	5,544	4,148	2 951,4	277,5	4,440	5,499	5,525	4,134	6 699,9
4,9	0,039	5,818	5,877	4,422	63,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
66,4	0,531	5,511	5,545	4,147	803,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
23,1	0,185	5,014	5,040	3,794	255,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
254,4	2,035	5,931	5,963	4,540	3 372,4	0,7	0,012	6,022	6,061	4,592	19,7	2,2	0,036	6,021	6,061	4,591	60,3

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [kWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Guaramiranga	59	Norte Cearense	Baturité	0,1	0,3	4,654	4,699	3,622	0,4	0,0	0,000	5,893	5,942	4,503	0,0
Hidrolândia	967	Noroeste	Santa Quitéria	1,0	1,9	5,479	5,512	4,130	2,9	145,9	1,167	5,432	5,466	4,095	1 745,1
Horizonte	161	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	7,3	14,6	5,194	5,219	3,928	20,9	4,2	0,034	5,190	5,217	3,925	48,1
Ibaretama	877	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,2	0,4	5,564	5,622	4,226	0,7	142,9	1,143	5,536	5,566	4,184	1 746,0
Ibiapina	415	Noroeste	Ibiapaba	1,2	2,5	5,257	5,322	4,072	3,7	48,3	0,386	5,929	5,963	4,527	638,7
Ibicuitinga	425	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,6	1,2	5,622	5,662	4,257	1,9	58,6	0,469	5,681	5,715	4,289	733,7
Icapuí	424	Jaguaribe	Litoral de Aracati	1,3	2,5	5,853	5,885	4,424	4,1	30,7	0,245	5,804	5,836	4,388	392,9
Icó	1 872	Centro-sul Cearense	Iguatu	2,6	5,3	5,934	5,989	4,482	8,6	85,2	0,682	5,946	6,001	4,504	1 121,0
Iguatu	1 029	Centro-sul Cearense	Iguatu	7,8	15,6	5,851	5,909	4,425	25,2	133,2	1,065	5,864	5,920	4,435	1 724,9
Independência	3 219	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	1,0	1,9	5,840	5,886	4,412	3,1	349,9	2,799	5,701	5,747	4,310	4 402,5
Ipaporanga	702	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	0,9	1,9	5,228	5,286	3,960	2,7	110,0	0,880	5,377	5,415	4,065	1 305,3
Ipaumirim	275	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	0,6	1,3	6,107	6,161	4,630	2,1	24,4	0,195	6,093	6,150	4,623	329,0
Ipu	629	Noroeste	Ipu	3,2	6,4	4,947	4,973	3,731	8,7	76,6	0,612	5,047	5,078	3,806	850,7
Ipueiras	1 477	Noroeste	Ipu	2,2	4,3	5,038	5,086	3,823	6,1	157,7	1,262	5,458	5,494	4,142	1 907,9
Iracema	821	Jaguaribe	Serra do Pereiro	1,2	2,3	5,745	5,781	4,322	3,7	61,5	0,492	5,772	5,816	4,352	782,1
Irauçuba	1 461	Noroeste	Sobral	1,8	3,6	5,831	5,862	4,403	5,8	98,4	0,787	5,760	5,790	4,354	1 251,5
Itaiçaba	212	Jaguaribe	Litoral de Aracati	0,4	0,8	5,628	5,661	4,243	1,3	40,6	0,325	5,645	5,676	4,254	504,2
Itaitinga	152	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	9,8	19,6	5,080	5,107	3,843	27,5	0,1	0,001	5,148	5,165	3,887	1,3
Itapajé	431	Norte Cearense	Uruburetama	2,0	4,1	5,486	5,507	4,155	6,2	15,0	0,120	5,519	5,546	4,172	182,2
Itapipoca	1 614	Norte Cearense	Itapipoca	6,4	12,8	5,657	5,684	4,274	20,0	132,3	1,059	5,569	5,594	4,201	1 623,4
Itapiúna	589	Norte Cearense	Baturité	0,8	1,6	5,270	5,299	3,989	2,3	54,3	0,434	5,320	5,350	4,028	638,7
Itarema	718	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,4	2,8	5,306	5,322	4,001	4,1	45,8	0,366	5,364	5,383	4,044	540,5
Itatira	783	Norte Cearense	Canindé	1,1	2,2	5,156	5,173	3,918	3,1	41,0	0,328	5,129	5,160	3,905	467,4
Jaguaretama	1 759	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	1,5	2,9	5,854	5,896	4,411	4,7	123,3	0,986	5,830	5,871	4,399	1 583,7
Jaguaribara	669	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	1,1	2,3	5,816	5,861	4,388	3,6	17,6	0,141	5,897	5,940	4,443	228,2
Jaguaribe	1 877	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	3,0	5,9	5,980	6,030	4,509	9,7	70,8	0,567	5,947	5,996	4,490	928,6
Jaguaruana	868	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	1,2	2,5	5,812	5,828	4,361	4,0	171,5	1,372	5,743	5,776	4,326	2 166,6
Jardim	552	Sul Cearense	Cariri	0,3	0,6	5,831	5,874	4,458	0,9	78,6	0,629	5,832	5,882	4,489	1 029,8
Jati	353	Sul Cearense	Brejo Santo	0,2	0,5	5,978	6,026	4,544	0,8	19,2	0,154	6,010	6,058	4,576	256,7
Jijoca de Jericoa-coara	208	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	0,8	1,6	5,141	5,158	3,871	2,3	21,5	0,172	5,176	5,195	3,898	244,8
Juazeiro do Norte	249	Sul Cearense	Cariri	25,4	50,8	5,858	5,915	4,457	82,6	18,4	0,148	5,847	5,905	4,446	239,5
Jucás	937	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	1,8	3,6	5,650	5,718	4,284	5,6	54,1	0,433	5,703	5,761	4,321	683,2

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
0,0	0,000	5,949	5,924	4,506	0,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
461,6	3,693	5,437	5,471	4,100	5 525,7	2,5	0,041	5,492	5,529	4,144	61,5	8,0	0,128	5,490	5,526	4,142	194,0
12,8	0,103	5,190	5,218	3,926	146,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
443,8	3,550	5,535	5,565	4,183	5 420,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
139,7	1,118	5,922	5,956	4,523	1 845,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
175,9	1,407	5,679	5,712	4,288	2 202,2	0,9	0,014	5,678	5,709	4,286	22,1	3,4	0,054	5,677	5,709	4,286	85,0
69,2	0,554	5,819	5,851	4,399	889,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
330,1	2,640	5,952	6,007	4,511	4 348,0	79,4	1,270	5,874	5,927	4,438	2 057,1	219,8	3,516	5,879	5,932	4,443	5 702,1
343,7	2,750	5,862	5,918	4,435	4 451,1	2,5	0,040	5,906	5,963	4,469	64,5	6,4	0,103	5,894	5,951	4,460	167,6
800,0	6,400	5,692	5,739	4,304	10 053,6	401,2	6,419	5,743	5,791	4,343	10 174,8	896,2	14,339	5,735	5,783	4,337	22 698,6
311,2	2,490	5,389	5,427	4,076	3 703,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
96,1	0,769	6,090	6,147	4,621	1 296,3	0,3	0,004	6,032	6,086	4,574	7,4	1,3	0,021	6,032	6,085	4,573	35,6
239,3	1,914	5,056	5,088	3,815	2 665,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
545,1	4,361	5,461	5,497	4,147	6 600,0	13,5	0,216	5,858	5,899	4,442	349,9	27,9	0,447	5,858	5,899	4,442	724,2
219,5	1,756	5,781	5,826	4,359	2 794,2	15,9	0,255	5,832	5,873	4,390	407,8	58,9	0,942	5,831	5,873	4,389	1 508,9
286,1	2,288	5,751	5,782	4,349	3 632,8	127,7	2,043	5,820	5,851	4,395	3 277,6	289,6	4,634	5,816	5,847	4,392	7 428,9
86,0	0,688	5,636	5,667	4,247	1 066,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
0,5	0,004	5,149	5,162	3,885	5,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
56,5	0,452	5,521	5,548	4,175	688,9	0,2	0,003	5,693	5,720	4,299	4,0	0,5	0,008	5,693	5,719	4,298	11,8
313,9	2,511	5,575	5,599	4,206	3 854,8	40,4	0,646	5,747	5,773	4,331	1 021,4	99,6	1,594	5,748	5,774	4,332	2 520,7
227,4	1,819	5,319	5,349	4,027	2 673,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
101,7	0,814	5,364	5,384	4,044	1 201,1	3,7	0,059	5,536	5,557	4,164	89,8	7,8	0,125	5,533	5,555	4,163	189,7
207,3	1,659	5,127	5,158	3,904	2 363,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
402,8	3,223	5,829	5,870	4,398	5 173,3	160,6	2,570	5,816	5,856	4,388	4 115,9	511,1	8,177	5,817	5,858	4,389	13 097,8
49,7	0,398	5,898	5,941	4,444	645,4	29,8	0,478	5,922	5,967	4,464	778,1	85,5	1,367	5,925	5,969	4,466	2 228,9
271,6	2,172	5,946	5,995	4,491	3 560,8	175,5	2,808	5,947	5,995	4,488	4 599,9	574,9	9,198	5,948	5,997	4,489	15 071,6
267,7	2,141	5,745	5,777	4,328	3 382,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
151,1	1,209	5,845	5,895	4,489	1 980,4	0,3	0,005	5,932	5,979	4,516	8,5	0,8	0,012	5,936	5,983	4,519	20,4
80,6	0,645	6,009	6,057	4,575	1 076,9	0,6	0,009	6,006	6,052	4,570	15,7	1,6	0,026	6,013	6,059	4,575	43,0
37,7	0,302	5,180	5,199	3,901	429,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
44,8	0,358	5,843	5,901	4,444	581,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
215,6	1,725	5,690	5,749	4,313	2 715,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [kWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Lavras da Mangabeira	948	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	1,8	3,6	5,897	5,956	4,469	5,8	71,4	0,571	5,931	5,989	4,495	936,8
Limoeiro do Norte	750	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	3,8	7,6	5,870	5,906	4,413	12,3	152,9	1,223	5,886	5,921	4,432	1 978,5
Madalena	1 035	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,7	1,4	5,155	5,162	3,892	2,0	111,5	0,892	5,161	5,193	3,916	1 274,8
Maracanaú	107	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	34,6	69,3	5,152	5,179	3,897	98,6	0,3	0,003	5,277	5,266	3,965	3,7
Maranguape	591	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	7,4	14,7	5,149	5,184	3,904	21,0	19,4	0,155	5,396	5,425	4,088	231,6
Marco	574	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,5	3,0	5,443	5,451	4,083	4,5	66,9	0,535	5,440	5,463	4,093	799,7
Martinópole	299	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,1	2,3	5,513	5,540	4,148	3,4	17,1	0,137	5,447	5,473	4,095	204,2
Massapê	567	Noroeste	Sobral	1,4	2,8	5,392	5,406	4,046	4,2	46,0	0,368	5,418	5,447	4,077	547,3
Mauriti	1 049	Sul Cearense	Barro	2,1	4,2	6,058	6,105	4,599	7,0	81,0	0,648	6,053	6,107	4,605	1 088,8
Meruoca	150	Noroeste	Meruoca	0,1	0,2	5,449	5,471	4,170	0,3	0,1	0,001	5,406	5,432	4,139	1,3
Milagres	605	Sul Cearense	Brejo Santo	1,6	3,1	5,951	5,998	4,514	5,2	52,6	0,421	5,920	5,975	4,498	691,2
Milhã	502	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,5	1,0	5,809	5,848	4,386	1,6	58,5	0,468	5,790	5,833	4,376	747,3
Miraíma	700	Noroeste	Sobral	0,6	1,3	5,658	5,698	4,272	2,0	7,8	0,062	5,739	5,771	4,330	98,8
Missão Velha	646	Sul Cearense	Cariri	1,7	3,4	5,863	5,922	4,461	5,6	42,7	0,342	5,878	5,934	4,486	559,8
Mombaça	2 119	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	1,8	3,6	5,551	5,598	4,196	5,5	122,5	0,980	5,519	5,565	4,176	1 493,7
Monsenhor Tabosa	886	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	1,3	2,7	5,478	5,508	4,188	4,1	70,0	0,560	5,641	5,679	4,296	877,7
Morada Nova	2 779	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	3,9	7,8	5,734	5,767	4,319	12,2	337,8	2,703	5,712	5,746	4,307	4 248,8
Moraújo	416	Noroeste	Coreaú	0,3	0,5	5,570	5,588	4,180	0,8	12,0	0,096	5,620	5,647	4,227	148,5
Morrinhos	416	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	1,3	2,5	5,525	5,545	4,153	3,9	59,3	0,474	5,515	5,539	4,151	718,5
Mucambo	191	Noroeste	Sobral	0,9	1,9	5,020	5,032	3,770	2,6	20,8	0,166	5,031	5,062	3,794	230,1
Mulungu	135	Norte Cearense	Baturité	0,4	0,7	5,632	5,620	4,321	1,2	0,0	0,000	5,460	5,471	4,165	0,2
Nova Olinda	284	Sul Cearense	Cariri	1,0	2,0	5,831	5,901	4,447	3,3	10,6	0,084	5,844	5,908	4,470	137,8
Nova Russas	743	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	4,6	9,1	5,300	5,337	3,996	13,3	131,8	1,054	5,382	5,417	4,059	1 561,5
Novo Oriente	949	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	1,8	3,5	5,286	5,337	3,998	5,2	167,7	1,341	5,352	5,403	4,051	1 983,4
Ocara	765	Norte Cearense	Chorozinho	1,1	2,2	5,413	5,441	4,093	3,2	113,2	0,906	5,434	5,464	4,105	1 356,7
Orós	576	Centro-Sul	Iguatu	1,1	2,1	5,877	5,934	4,444	3,5	33,7	0,270	5,885	5,940	4,453	438,1
Pacajus	255	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	5,9	11,9	5,194	5,225	3,931	17,0	12,4	0,099	5,196	5,224	3,930	141,8
Pacatuba	132	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	6,4	12,8	5,048	5,080	3,823	17,8	1,2	0,010	5,037	5,064	3,811	13,7
Pacoti	112	Norte Cearense	Baturité	0,2	0,3	4,811	4,823	3,704	0,5	0,0	0,000	5,060	5,068	3,851	0,1
Pacujá	76	Noroeste	Sobral	0,5	1,0	5,064	5,094	3,812	1,4	11,5	0,092	5,081	5,108	3,825	128,3
Palhano	440	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,4	0,9	5,547	5,592	4,189	1,3	70,5	0,564	5,547	5,578	4,182	861,4
Palmácia	118	Norte Cearense	Baturité	0,2	0,4	5,141	5,151	3,916	0,6	1,6	0,012	5,142	5,164	3,891	17,6
Paracuru	302	Norte Cearense	Baixo Curu	5,5	10,9	5,480	5,502	4,146	16,5	19,8	0,158	5,439	5,463	4,113	237,8

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
244,0	1,952	5,935	5,992	4,498	3 205,1	11,7	0,187	5,917	5,977	4,487	305,6	52,8	0,845	5,920	5,979	4,490	1 385,2
234,3	1,875	5,880	5,915	4,426	3 028,4	3,6	0,057	5,845	5,881	4,398	91,6	10,7	0,172	5,845	5,881	4,398	275,5
455,1	3,641	5,159	5,192	3,916	5 203,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
0,9	0,007	5,276	5,263	3,962	10,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
80,8	0,647	5,396	5,425	4,088	964,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
160,8	1,287	5,438	5,461	4,091	1 921,4	20,2	0,323	5,446	5,471	4,097	483,0	42,0	0,672	5,444	5,469	4,096	1 004,0
50,7	0,406	5,447	5,473	4,096	606,4	6,1	0,097	5,453	5,476	4,098	144,9	16,6	0,266	5,453	5,476	4,098	398,0
142,8	1,142	5,422	5,451	4,081	1 701,7	6,5	0,105	5,365	5,398	4,042	154,2	14,2	0,228	5,367	5,400	4,044	336,3
261,3	2,090	6,069	6,123	4,622	3 526,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
0,8	0,006	5,402	5,435	4,136	9,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
170,9	1,367	5,903	5,959	4,487	2 239,5	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
234,4	1,875	5,787	5,830	4,374	2 994,1	4,1	0,065	5,773	5,813	4,365	104,3	9,5	0,151	5,773	5,813	4,365	241,2
20,9	0,167	5,746	5,775	4,334	264,0	134,1	2,145	5,629	5,658	4,240	3 320,1	345,9	5,534	5,634	5,662	4,244	8 572,3
108,0	0,864	5,880	5,936	4,481	1 412,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
587,0	4,696	5,520	5,566	4,178	7 160,3	0,0	0,000	5,769	5,814	4,388	0,0	0,0	0,000	5,765	5,814	4,388	0,5
293,4	2,347	5,612	5,650	4,276	3 662,7	0,0	0,000	5,831	5,854	4,419	0,2	0,0	0,000	5,832	5,869	4,433	0,3
981,4	7,851	5,715	5,749	4,309	12 348,5	76,2	1,220	5,808	5,845	4,376	1 948,3	259,1	4,145	5,808	5,845	4,376	6 620,0
39,8	0,319	5,615	5,642	4,223	491,3	47,0	0,752	5,535	5,561	4,161	1 141,7	124,8	1,997	5,524	5,551	4,154	3 027,1
136,4	1,091	5,512	5,536	4,149	1 652,4	12,4	0,198	5,542	5,567	4,171	301,8	24,5	0,393	5,543	5,568	4,171	597,6
63,7	0,510	5,032	5,063	3,795	706,1	1,0	0,016	5,107	5,133	3,842	21,8	3,0	0,047	5,104	5,132	3,841	66,5
0,1	0,001	5,582	5,601	4,264	1,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
35,2	0,282	5,843	5,907	4,466	459,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
370,3	2,962	5,374	5,409	4,053	4 381,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
397,7	3,182	5,352	5,404	4,053	4 706,5	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
292,9	2,343	5,434	5,464	4,105	3 511,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
147,2	1,178	5,882	5,937	4,451	1 913,4	8,5	0,135	5,908	5,962	4,468	220,7	23,5	0,377	5,898	5,952	4,460	613,2
43,1	0,344	5,194	5,222	3,929	494,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
3,9	0,032	5,033	5,060	3,808	43,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
0,1	0,001	5,059	5,084	3,864	0,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
30,3	0,243	5,084	5,112	3,828	338,9	0,3	0,006	5,147	5,175	3,873	7,8	1,1	0,018	5,144	5,175	3,872	25,5
167,5	1,340	5,551	5,582	4,184	2 046,6	5,7	0,091	5,636	5,664	4,241	140,8	14,4	0,231	5,637	5,666	4,242	357,4
6,0	0,048	5,140	5,161	3,889	67,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
31,6	0,253	5,438	5,462	4,112	379,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [kWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Paraipaba	301	Norte Cearense	Baixo Curu	1,7	3,4	5,427	5,447	4,100	5,1	21,8	0,174	5,422	5,445	4,098	260,6
Parambu	2 304	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	1,8	3,5	5,432	5,495	4,130	5,3	304,0	2,432	5,531	5,594	4,217	3 743,9
Paramoti	483	Norte Cearense	Canindé	0,8	1,7	5,495	5,527	4,156	2,6	58,0	0,464	5,384	5,415	4,075	690,0
Pedra Branca	1 303	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	2,0	4,0	5,494	5,533	4,174	6,1	40,2	0,321	5,612	5,654	4,266	500,6
Penaforte	150	Sul Cearense	Brejo Santo	0,1	0,3	5,956	6,003	4,535	0,5	8,4	0,067	5,990	6,036	4,559	111,7
Pentecoste	1 378	Norte Cearense	Médio Curu	2,6	5,2	5,509	5,545	4,165	8,0	207,2	1,657	5,561	5,590	4,204	2 542,9
Pereiro	434	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,4	0,9	5,882	5,918	4,484	1,4	12,3	0,098	5,948	5,998	4,542	163,0
Pindoretama	75	Norte Cearense	Cascavel	0,8	1,5	5,203	5,232	3,938	2,2	1,1	0,008	5,219	5,249	3,950	12,1
Piquet Carneiro	588	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,8	1,5	5,724	5,770	4,330	2,4	47,2	0,377	5,704	5,750	4,316	594,2
Pires Ferreira	243	Noroeste	Ipu	0,4	0,8	5,072	5,096	3,816	1,2	27,8	0,222	5,092	5,123	3,837	311,2
Poranga	1 309	Noroeste	Ipu	1,0	1,9	5,585	5,652	4,291	3,0	210,7	1,685	5,831	5,876	4,420	2 719,1
Porteiras	218	Sul Cearense	Cariri	0,2	0,5	5,916	5,965	4,507	0,8	13,6	0,109	5,908	5,960	4,529	180,5
Potengi	339	Sul Cearense	Chapada do Araripe	0,1	0,3	5,795	5,855	4,427	0,5	34,2	0,274	5,788	5,857	4,428	442,3
Potiretama	410	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,5	0,9	5,926	5,963	4,459	1,5	32,8	0,262	5,915	5,958	4,456	426,9
Quiterianópolis	1 041	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	1,3	2,6	5,410	5,465	4,098	3,9	108,2	0,866	5,411	5,469	4,119	1 301,6
Quixadá	2 020	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	6,5	13,1	5,507	5,538	4,166	19,9	224,2	1,794	5,490	5,523	4,153	2 718,7
Quixelô	560	Centro-Sul Cearense	Iguatu	0,4	0,9	5,948	6,001	4,496	1,4	72,8	0,583	5,906	5,959	4,468	950,4
Quixeramobim	3 276	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	4,6	9,3	5,610	5,643	4,239	14,3	406,9	3,255	5,556	5,591	4,202	4 991,9
Quixeré	614	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	2,3	4,5	5,874	5,907	4,417	7,3	177,6	1,421	5,841	5,876	4,400	2 281,8
Redenção	226	Norte Cearense	Baturité	1,6	3,1	4,988	5,022	3,784	4,3	3,1	0,024	5,044	5,075	3,823	34,1
Reriutaba	383	Noroeste	Ipu	1,3	2,6	5,083	5,108	3,823	3,6	35,2	0,281	5,084	5,115	3,832	393,5
Russas	1 590	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	5,5	11,1	5,791	5,825	4,355	17,6	283,9	2,271	5,694	5,726	4,290	3 555,9
Saboeiro	1 383	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	0,6	1,3	5,719	5,791	4,341	2,0	78,4	0,628	5,720	5,782	4,343	994,6
Salitre	804	Sul Cearense	Chapada do Araripe	0,5	1,0	5,664	5,747	4,359	1,7	165,1	1,321	5,726	5,802	4,404	2123,5
Santana do Acaraú	969	Noroeste Cearense	Sobral	1,8	3,6	5,453	5,475	4,096	5,4	86,8	0,695	5,444	5,470	4,096	1 038,4
Santana do Cariri	856	Sul Cearense	Cariri	0,7	1,4	5,832	5,892	4,467	2,3	180,1	1,441	5,842	5,903	4,504	2 368,3
Santa Quitéria	4 260	Noroeste Cearense	Santa Quitéria	2,5	5,1	5,541	5,580	4,184	7,7	282,9	2,263	5,627	5,662	4,254	3 514,4
São Benedito	338	Noroeste	Ibiapaba	3,1	6,2	5,137	5,162	3,951	9,0	33,4	0,267	5,895	5,930	4,518	440,4
São Gonçalo do Amarante	834	Norte Cearense	Baixo Curu	9,8	19,6	5,421	5,443	4,099	29,3	71,5	0,572	5,425	5,451	4,100	856,2
São João do Jaguaribe	280	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,6	1,2	5,821	5,861	4,378	2,0	27,0	0,216	5,860	5,897	4,409	348,2
São Luís do Curu	122	Norte Cearense	Médio Curu	0,9	1,8	5,474	5,498	4,129	2,7	15,3	0,123	5,469	5,495	4,128	184,8
Senador Pompeu	1 002	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	1,5	2,9	5,599	5,639	4,225	4,5	98,0	0,784	5,590	5,631	4,226	1 209,2
Senador Sá	424	Noroeste	Sobral	0,3	0,7	5,485	5,510	4,126	1,0	15,1	0,121	5,412	5,438	4,072	179,7
Sobral	2 123	Noroeste	Sobral	19,0	37,9	5,402	5,430	4,062	56,2	133,1	1,065	5,560	5,590	4,187	1 627,1
Solonópole	1 536	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,8	1,6	5,825	5,874	4,399	2,5	155,8	1,247	5,843	5,889	4,414	2 008,7

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
37,6	0,301	5,422	5,445	4,098	450,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
1 011,1	8,088	5,523	5,586	4,207	12 418,8	0,9	0,015	5,547	5,606	4,211	23,0	2,6	0,041	5,547	5,606	4,211	63,6
223,5	1,788	5,384	5,414	4,074	2 658,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
229,9	1,839	5,619	5,662	4,273	2 868,4	0,2	0,004	5,768	5,816	4,392	6,4	1,7	0,028	5,769	5,816	4,392	44,6
23,2	0,186	6,004	6,050	4,570	310,1	1,0	0,016	5,998	6,046	4,566	27,1	2,9	0,046	6,016	6,062	4,579	77,6
622,2	4,978	5,565	5,593	4,207	7643,4	9,2	0,147	5,706	5,738	4,322	231,7	23,2	0,372	5,706	5,738	4,322	586,7
48,5	0,388	5,946	5,996	4,540	642,8	0,2	0,004	6,022	6,075	4,557	6,4	1,0	0,015	6,017	6,070	4,553	25,5
3,0	0,024	5,217	5,246	3,948	34,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
221,8	1,775	5,703	5,749	4,315	2 795,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
98,2	0,786	5,093	5,124	3,838	1 100,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
551,4	4,412	5,840	5,885	4,429	7 131,2	22,7	0,363	5,763	5,811	4,354	577,4	40,8	0,652	5,765	5,813	4,355	1 036,6
41,8	0,334	5,914	5,966	4,518	551,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
134,8	1,079	5,786	5,854	4,426	1 742,2	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
106,4	0,851	5,916	5,959	4,457	1 385,0	22,5	0,359	5,913	5,956	4,454	584,3	84,4	1,350	5,911	5,954	4,452	2 193,8
364,0	2,912	5,404	5,461	4,111	4 368,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
774,6	6,197	5,484	5,516	4,148	9 382,7	1,3	0,020	5,684	5,725	4,294	31,8	5,1	0,082	5,685	5,725	4,295	128,8
232,3	1,859	5,902	5,955	4,465	3 029,3	4,3	0,069	5,897	5,952	4,461	112,4	11,6	0,186	5,900	5,954	4,462	302,4
1 497,3	11,979	5,551	5,587	4,199	18 358,3	1,0	0,015	5,742	5,782	4,341	24,4	3,5	0,055	5,742	5,781	4,341	87,6
223,7	1,789	5,842	5,876	4,400	2 873,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
12,3	0,098	5,042	5,072	3,821	136,9	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
126,1	1,009	5,079	5,110	3,829	1 409,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
699,7	5,598	5,682	5,714	4,282	8 749,1	21,3	0,340	5,626	5,658	4,236	526,3	54,0	0,865	5,626	5,658	4,237	1 337,2
372,8	2,983	5,719	5,781	4,342	4 727,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
358,0	2,864	5,728	5,804	4,402	4 602,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
219,9	1,760	5,444	5,471	4,097	2 631,2	105,2	1,683	5,498	5,525	4,138	2 542,7	251,0	4,016	5,500	5,528	4,141	6 069,6
236,3	1,890	5,846	5,908	4,497	3 102,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
953,4	7,627	5,621	5,655	4,250	11 833,0	368,6	5,898	5,635	5,671	4,260	9 170,3	988,1	15,810	5,634	5,669	4,258	24 573,6
106,0	0,848	5,878	5,915	4,506	1 394,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
164,1	1,313	5,424	5,451	4,100	1 964,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
74,4	0,595	5,861	5,898	4,409	957,9	10,8	0,173	5,884	5,922	4,426	279,3	39,2	0,628	5,883	5,922	4,425	1 014,0
44,3	0,355	5,469	5,495	4,128	534,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
425,8	3,406	5,589	5,629	4,225	5 252,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
38,9	0,311	5,422	5,449	4,080	463,9	53,1	0,849	5,430	5,457	4,086	1 266,2	121,5	1,944	5,430	5,457	4,086	2 899,6
389,6	3,117	5,552	5,583	4,181	4 756,2	247,5	3,961	5,722	5,753	4,314	6 237,1	591,8	9,469	5,717	5,748	4,311	14 899,3
635,5	5,084	5,846	5,892	4,417	8 196,2	31,2	0,500	5,817	5,861	4,395	801,9	100,3	1,605	5,823	5,867	4,399	2 577,8

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Potencial Solar *Solar Resource*				Urbano (Distribuído) / *Urban (Distributed)*						Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*					
										Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*					
										Terreno Plano / *Flat terrain*					
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10° Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10° GTI – North-oriented [kWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10° Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10° Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10° Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10° GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10° Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10° Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
Tabuleiro do Norte	862	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	1,9	3,8	5,928	5,965	4,454	6,2	203,8	1,630	5,889	5,926	4,431	2 636,5
Tamboril	1 961	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	1,8	3,7	5,686	5,731	4,307	5,8	307,6	2,461	5,673	5,713	4,290	3 853,4
Tarrafas	454	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,4	0,8	5,694	5,760	4,320	1,3	8,5	0,068	5,777	5,842	4,389	108,5
Tauá	4 018	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	5,5	11,0	5,516	5,572	4,179	16,8	347,6	2,781	5,570	5,625	4,229	4 291,9
Tejuçuoca	760	Norte Cearense	Médio Curu	0,6	1,1	5,329	5,357	4,025	1,7	78,5	0,628	5,435	5,465	4,110	942,0
Tianguá	909	Noroeste	Ibiapaba	8,0	15,9	5,756	5,776	4,409	25,6	77,4	0,619	5,844	5,877	4,467	1 009,5
Trairi	929	Norte Cearense	Itapipoca	3,6	7,3	5,481	5,501	4,141	11,0	59,9	0,479	5,461	5,483	4,124	721,3
Tururu	202	Norte Cearense	Uruburetama	0,7	1,4	5,385	5,397	4,056	2,1	29,3	0,235	5,404	5,429	4,080	349,6
Ubajara	421	Noroeste	Ibiapaba	1,8	3,6	5,239	5,260	4,015	5,3	37,0	0,296	5,781	5,817	4,424	478,0
Umari	264	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,4	0,7	6,152	6,206	4,663	1,2	33,3	0,266	6,122	6,178	4,642	451,1
Umirim	317	Norte Cearense	Uruburetama	1,1	2,2	5,417	5,440	4,087	3,3	38,5	0,308	5,417	5,443	4,091	459,8
Uruburetama	97	Norte Cearense	Uruburetama	0,8	1,5	5,240	5,267	3,960	2,2	2,6	0,021	5,301	5,324	4,003	30,1
Uruoca	697	Noroeste	Coreaú	0,8	1,7	5,516	5,546	4,151	2,5	43,7	0,350	5,506	5,535	4,141	528,9
Varjota	179	Noroeste	Ipu	2,0	4,1	5,241	5,276	3,951	5,9	23,9	0,191	5,226	5,257	3,936	274,2
Várzea Alegre	836	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	2,7	5,4	5,869	5,934	4,458	8,8	30,7	0,245	5,880	5,940	4,464	399,7
Viçosa do Ceará	1 312	Noroeste	Ibiapaba	2,4	4,9	5,474	5,532	4,194	7,5	66,7	0,534	5,863	5,895	4,464	869,8

Não Urbano (Áreas para Usinas Centralizadas e Geração Distribuída Rural) / *Non-urban (Areas for Centralized Power Plants and Rural Distributed Generation)*																	
Terreno não degradado / *Non-degraded Areas*						Terreno Degradado / *Degraded Areas*											
Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*						Terreno Plano / *Flat terrain*						Terreno Suave Ondulado / *Slightly Undulating Terrain*					
Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]"*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [GW] *Installable Capacity [GW]*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*
340,1	2,721	5,894	5,931	4,434	4 403,1	17,5	0,280	5,924	5,962	4,452	454,9	39,6	0,633	5,921	5,959	4,450	1 028,5
746,9	5,975	5,663	5,703	4,283	9 341,2	107,7	1,724	5,744	5,785	4,346	2 734,4	203,2	3,251	5,742	5,782	4,345	5 155,5
39,5	0,316	5,783	5,848	4,395	507,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
1 377,6	11,021	5,580	5,635	4,237	17 044,1	190,5	3,048	5,669	5,721	4,300	4 782,8	536,6	8,585	5,676	5,728	4,305	13 489,6
265,9	2,127	5,427	5,457	4,104	3 186,6	11,5	0,184	5,655	5,682	4,273	286,7	33,2	0,531	5,655	5,683	4,274	827,8
194,6	1,557	5,839	5,872	4,458	2 532,8	5,5	0,088	5,612	5,644	4,229	136,6	14,4	0,230	5,461	5,495	4,117	346,1
131,7	1,053	5,460	5,482	4,123	1 585,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
72,1	0,577	5,404	5,428	4,080	859,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
104,0	0,832	5,761	5,795	4,404	1 337,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
101,8	0,814	6,117	6,173	4,639	1 378,6	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
112,1	0,897	5,417	5,444	4,091	1 339,7	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
6,7	0,054	5,295	5,319	3,999	78,4	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
132,6	1,061	5,507	5,535	4,142	1 603,3	21,2	0,339	5,476	5,505	4,119	509,8	56,5	0,904	5,476	5,504	4,119	1 358,6
82,0	0,656	5,226	5,257	3,937	942,8	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
116,3	0,931	5,875	5,935	4,461	1 515,5	0,4	0,007	5,840	5,896	4,427	10,6	2,2	0,035	5,839	5,896	4,428	56,6
175,7	1,406	5,844	5,875	4,448	2 282,1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

TABELA D.3 Potencial Híbrido Eólico e Solar por Município.

Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*									
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*					
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Abaiara	180	Sul Cearense	Brejo Santo	0,7	2,8	37%	9,2	5,6	5,908	5,963	4,540	9,3	18,5
Acarape	155	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Acaraú	845	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	244,6	978,4	51%	4 330,4	1 973,6	5,261	5,279	3,964	2 856,6	7 187,0
Acopiara	2 265	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,3	1,4	37%	4,5	2,8	5,637	5,690	4,292	4,3	8,8
Aiuaba	2 434	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	292,0	1 168,2	39%	3 974,8	2 336,4	5,662	5,732	4,339	3 700,1	7 674,9
Alcântaras	139	Noroeste	Meruoca	3,5	13,9	44%	54,2	27,8	5,696	5,714	4,344	44,2	98,3
Altaneira	73	Sul Cearense	Caririaçu	0,2	0,6	37%	2,0	1,3	5,861	5,931	4,499	2,1	4,1
Alto Santo	1 338	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Amontada	1 178	Norte Cearense	Itapipoca	340,8	1 363,3	43%	5 147,1	3 630,6	5,542	5,564	4,176	5 558,3	10 705,3
Antonina do Norte	260	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	0,0	0,1	38%	0,5	0,3	5,768	5,827	4,390	0,4	0,9
Apuiarés	545	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Aquiraz	481	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	11,6	46,4	39%	159,4	92,8	5,186	5,214	3,924	132,9	292,3
Aracati	1 231	Jaguaribe	Litoral de Aracati	472,5	1 890,1	48%	7 902,6	3 780,3	5,646	5,678	4,260	5 878,4	13 781,0
Aracoiaba	657	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Ararendá	344	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	0,2	0,6	38%	2,1	1,3	5,166	5,202	3,943	1,8	3,9
Araripe	1 100	Sul Cearense	Chapada do Araripe	782,9	3 131,6	44%	12 167,2	6 263,2	5,754	5,821	4,428	10 121,9	22 289,1
Aratuba	115	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,2	48%	0,7	0,3	5,435	5,411	4,109	0,5	1,1
Arneiroz	1 066	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	16,2	64,8	38%	218,0	130,0	5,693	5,750	4,335	205,7	423,7
Assaré	1 116	Sul Cearense	Chapada do Araripe	85,5	342,1	40%	1 185,9	684,3	5,881	5,947	4,503	1 124,5	2 310,4
Aurora	886	Sul Cearense	Barro	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Baixio	146	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Banabuiú	1 080	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Barbalha	570	Sul Cearense	Cariri	67,4	269,8	37%	872,9	539,6	5,786	5,837	4,463	878,9	1 751,8
Barreira	246	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Barro	712	Sul Cearense	Barro	1,6	6,2	41%	22,1	12,4	6,155	6,210	4,712	21,3	43,4
Barroquinha	385	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	29,1	116,3	48%	486,1	232,6	5,417	5,438	4,074	346,0	832,0
Baturité	309	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Beberibe	1 620	Norte Cearense	Cascavel	245,2	980,6	43%	3 657,6	1 961,3	5,410	5,438	4,085	2 924,4	6 581,9
Bela Cruz	843	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	312,1	1 248,4	44%	4 859,2	2 504,9	5,343	5,364	4,020	3 675,8	8 535,0
Boa Viagem	2 837	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	25,9	103,8	39%	352,2	220,6	5,643	5,681	4,296	345,6	697,8
Brejo Santo	663	Sul Cearense	Brejo Santo	17,1	68,6	37%	224,4	137,2	5,964	6,014	4,553	228,0	452,4
Camocim	1 129	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	133,3	533,3	47%	2 176,1	1 066,7	5,281	5,301	3,973	1 546,7	3 722,8
Campos Sales	1 083	Sul Cearense	Chapada do Araripe	340,6	1 362,4	42%	5 053,6	2 724,9	5,733	5,807	4,393	4 369,4	9 423,0
Canindé	3 218	Norte Cearense	Canindé	39,7	158,7	42%	580,5	317,5	5,552	5,580	4,229	490,0	1 070,6
Capistrano	223	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Caridade	847	Norte Cearense	Canindé	35,1	140,5	41%	509,9	281,1	5,875	5,902	4,456	457,1	967,0
Cariré	757	Noroeste	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0

Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*										
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*						
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Caririaçu	624	Sul Cearense	Caririaçu	1,2	4,9	38%	16,3	9,9	5,868	5,931	4,484	16,1	32,4
Cariús	1 062	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,2	0,8	36%	2,5	1,6	5,851	5,913	4,463	2,5	5,0
Carnaubal	365	Noroeste	Ibiapaba	176,2	704,9	50%	3 096,8	1 409,8	5,847	5,881	4,482	2 306,4	5 403,1
Cascavel	835	Norte Cearense	Cascavel	17,3	69,1	40%	239,8	138,2	5,280	5,309	3,991	201,4	441,2
Catarina	487	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	16,6	66,3	38%	220,2	132,5	5,694	5,750	4,338	209,8	430,0
Catunda	791	Noroeste	Santa Quitéria	24,3	97,3	42%	359,5	194,7	5,812	5,845	4,440	315,5	674,9
Caucaia	1 228	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	84,0	336,1	42%	1 224,9	672,2	5,380	5,406	4,069	998,3	2 223,2
Cedro	726	Centro-Sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Chaval	237	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	46,1	184,5	39%	631,2	377,4	5,601	5,625	4,209	579,7	1 210,9
Choró	816	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,5	1,8	38%	6,2	3,7	5,362	5,398	4,089	5,5	11,7
Chorozinho	278	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Coreaú	776	Noroeste	Coreaú	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Crateús	2 985	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	62,4	249,7	40%	883,0	499,5	5,764	5,813	4,380	798,5	1 681,5
Crato	1 176	Sul Cearense	Cariri	21,1	84,3	37%	270,8	168,6	5,796	5,850	4,473	275,2	546,0
Croatá	697	Noroeste	Ibiapaba	267,9	1 071,8	41%	3 877,3	2 208,2	5,895	5,932	4,499	3 627,7	7 505,0
Cruz	330	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	138,6	554,4	50%	2 411,9	1 108,8	5,152	5,170	3,880	1 570,4	3 982,2
Deputado Irapuan Pinheiro	470	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Ererê	383	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Eusébio	79	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Farias Brito	504	Sul Cearense	Caririaçu	0,1	0,2	36%	0,7	0,4	5,870	5,934	4,485	0,7	1,3
Forquilha	517	Noroeste	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Fortaleza	312	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Fortim	278	Jaguaribe	Litoral de Aracati	20,6	82,4	49%	357,1	164,8	5,541	5,570	4,185	251,8	608,9
Frecheirinha	181	Noroeste	Coreaú	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
General Sampaio	206	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Graça	282	Noroeste	Sobral	0,3	1,3	39%	4,5	2,7	5,056	5,034	3,841	3,7	8,2
Granja	2 663	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	89,1	356,3	40%	1 239,0	788,3	5,624	5,648	4,228	1 213,2	2 452,2
Granjeiro	100	Sul Cearense	Caririaçu	0,1	0,5	37%	1,7	1,1	5,841	5,901	4,465	1,7	3,4
Groaíras	156	Noroeste	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Guaiúba	267	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Guaraciaba do Norte	611	Noroeste	Ibiapaba	325,2	1 300,8	45%	5 134,5	2 625,5	5,963	5,995	4,564	4 373,5	9 508,0
Guaramiranga	59	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Hidrolândia	967	Noroeste	Santa Quitéria	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Horizonte	161	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	0,8	3,2	38%	10,6	6,4	5,178	5,209	3,918	9,1	19,7

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*									
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*					
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Ibaretama	877	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Ibiapina	415	Noroeste	Ibiapaba	129,7	518,9	50%	2 272,5	1 037,7	6,000	6,033	4,598	1 741,4	4 014,0
Ibicuitinga	425	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Icapuí	424	Jaguaribe	Litoral de Aracati	74,2	296,8	51%	1 337,5	593,5	5,791	5,824	4,379	948,7	2 286,2
Icó	1 872	Centro-sul Cearense	Iguatu	27,6	110,5	39%	377,4	221,0	5,955	6,005	4,560	367,7	745,2
Iguatu	1 029	Centro-sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Independência	3 219	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	170,7	682,8	39%	2 341,5	2 174,3	5,722	5,765	4,339	3 444,5	5 786,0
Ipaporanga	702	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	78,3	313,1	45%	1 234,1	626,2	5,810	5,850	4,423	1 011,0	2 245,0
Ipaumirim	275	Centro-sul Cearense	Várzea Alegre	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Ipu	629	Noroeste	Ipu	8,6	34,4	39%	116,2	68,7	5,507	5,540	4,233	106,2	222,3
Ipueiras	1 477	Noroeste	Ipu	266,8	1 067,0	46%	4 277,1	2 141,9	5,731	5,767	4,374	3 419,6	7 696,7
Iracema	821	Jaguaribe	Serra do Pereiro	2,6	10,2	41%	37,0	20,4	5,963	6,005	4,525	33,7	70,7
Irauçuba	1 461	Noroeste	Sobral	36,1	144,3	39%	494,3	308,3	5,777	5,807	4,377	492,8	987,0
Itaiçaba	212	Jaguaribe	Litoral de Aracati	125,7	502,6	42%	1 869,1	1 005,2	5,639	5,670	4,250	1 559,2	3 428,3
Itaitinga	152	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Itapajé	431	Norte Cearense	Uruburetama	7,8	31,3	41%	111,4	62,6	5,597	5,617	4,237	96,8	208,2
Itapipoca	1 614	Norte Cearense	Itapipoca	484,0	1 935,8	44%	7 390,7	4 732,0	5,623	5,648	4,241	7 349,4	14 740,1
Itapiúna	589	Norte Cearense	Baturité	9,6	38,4	40%	133,9	76,8	5,166	5,205	3,933	110,2	244,1
Itarema	718	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	132,6	530,2	48%	2 227,0	1 127,6	5,383	5,403	4,058	1 672,5	3 899,5
Itatira	783	Norte Cearense	Canindé	6,4	25,5	39%	88,0	51,1	5,371	5,407	4,107	76,5	164,5
Jaguaretama	1 759	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Jaguaribara	669	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Jaguaribe	1 877	Jaguaribe	Médio Jaguaribe	0,2	0,7	40%	2,4	1,5	6,112	6,142	4,615	2,6	5,0
Jaguaruana	868	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	378,8	1 515,1	43%	5 692,3	3 030,1	5,742	5,773	4,326	4 784,0	10 476,3
Jardim	552	Sul Cearense	Cariri	103,4	413,7	37%	1 339,6	827,4	5,807	5,859	4,479	1 352,5	2 692,1
Jati	353	Sul Cearense	Brejo Santo	18,1	72,6	37%	233,3	145,6	6,027	6,075	4,594	244,1	477,4
Jijoca de Jericoacoara	208	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	59,2	237,0	49%	1 012,5	473,9	5,178	5,198	3,900	674,5	1 687,1
Juazeiro do Norte	249	Sul Cearense	Cariri	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Jucás	937	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,1	0,3	41%	1,1	0,6	5,758	5,803	4,389	1,0	2,1
Lavras da Mangabeira	948	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Limoeiro do Norte	750	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Madalena	1 035	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,5	1,9	38%	6,4	3,8	5,379	5,408	4,100	5,7	12,1
Maracanaú	107	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0

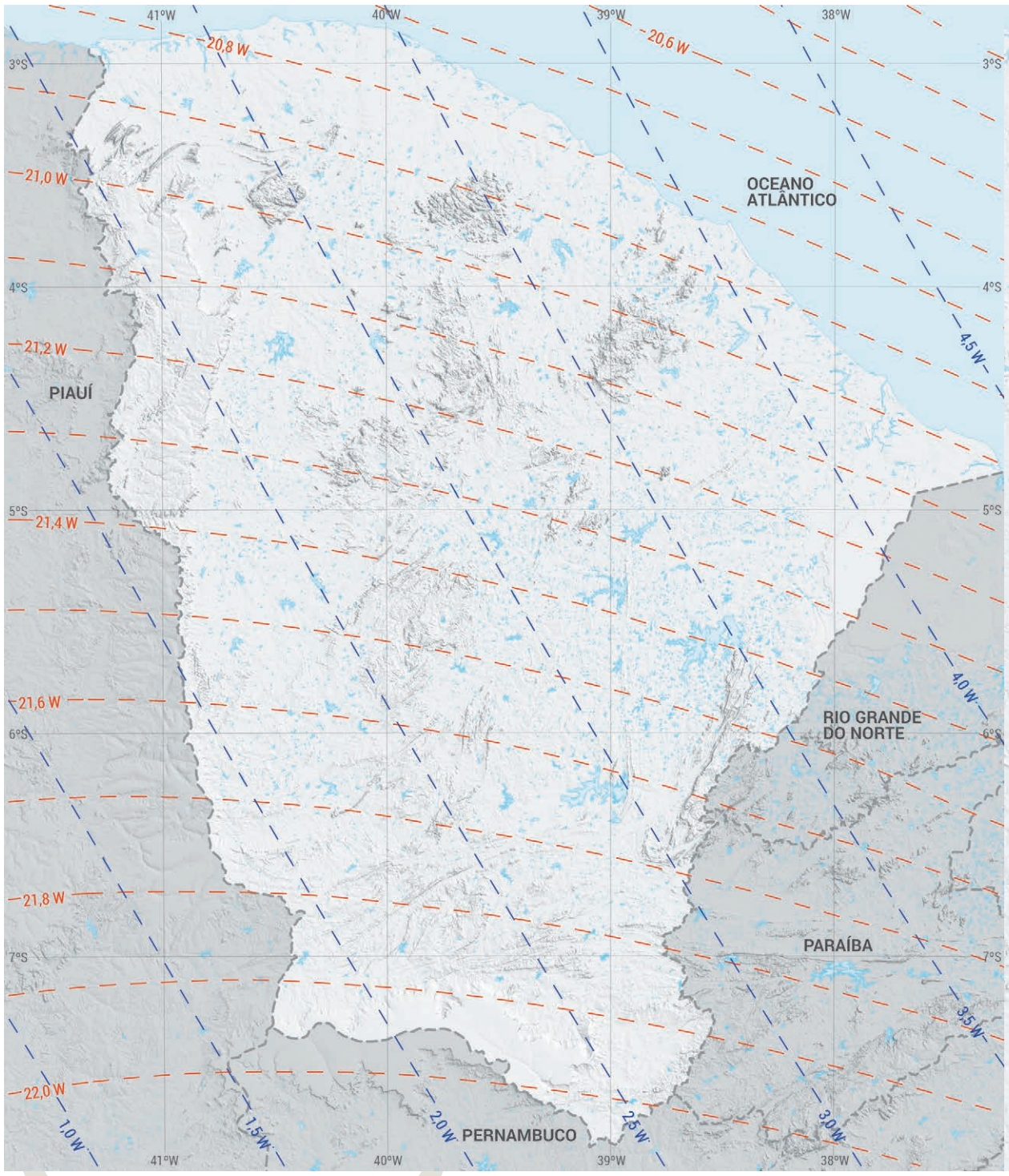
Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*										
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*						
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Maranguape	591	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	19,4	77,6	40%	271,0	155,3	5,553	5,584	4,209	238,6	509,6
Marco	574	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	275,0	1 100,1	40%	3 890,1	2 654,2	5,440	5,463	4,093	3965,9	7 856,0
Martinópole	299	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	5,8	23,3	38%	78,4	52,7	5,535	5,555	4,160	80,0	158,4
Massapê	567	Noroeste	Sobral	4,3	17,2	39%	58,9	34,4	5,803	5,829	4,371	54,9	113,8
Mauriti	1 049	Sul Cearense	Barro	51,0	203,9	39%	690,0	407,7	6,144	6,198	4,699	699,3	1 389,3
Meruoca	150	Noroeste	Meruoca	0,5	2,1	44%	8,2	4,2	5,466	5,498	4,197	6,5	14,7
Milagres	605	Sul Cearense	Brejo Santo	0,3	1,2	37%	3,8	2,4	5,939	5,999	4,543	3,9	7,8
Milhã	502	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Miraíma	700	Noroeste	Sobral	0,5	2,1	45%	8,1	4,2	5,910	5,947	4,501	6,9	15,0
Missão Velha	646	Sul Cearense	Cariri	26,6	106,4	39%	358,8	212,7	5,887	5,941	4,544	352,8	711,6
Mombaça	2 119	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	10,7	42,7	39%	147,4	85,4	5,672	5,717	4,327	134,8	282,2
Monsenhor Tabosa	886	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	112,4	449,6	38%	1 505,5	899,2	5,630	5,669	4,298	1410,6	2916,2
Morada Nova	2 779	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,8	3,3	38%	11,0	6,5	5,520	5,550	4,169	9,9	21,0
Moraújo	416	Noroeste	Coreaú	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Morrinhos	416	Noroeste	Litoral de Camocim e Acaraú	78,6	314,3	40%	1 098,4	671,8	5,517	5,541	4,155	1 018,2	2 116,7
Mucambo	191	Noroeste	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Mulungu	135	Norte Cearense	Baturité	0,1	0,3	52%	1,4	0,6	5,875	5,889	4,479	1,0	2,3
Nova Olinda	284	Sul Cearense	Cariri	7,8	31,2	39%	108,0	62,4	5,846	5,909	4,507	102,7	210,7
Nova Russas	743	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Novo Oriente	949	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	26,0	103,9	40%	364,4	207,7	5,418	5,483	4,163	315,6	680,0
Ocara	765	Norte Cearense	Chorozinho	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Orós	576	Centro-Sul	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Pacajus	255	Metropolitana de Fortaleza	Pacajus	0,1	0,5	38%	1,7	1,0	5,175	5,222	3,927	1,4	3,1
Pacatuba	132	Metropolitana de Fortaleza	Fortaleza	0,4	1,7	38%	5,7	3,4	5,114	5,140	3,867	4,8	10,5
Pacoti	112	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Pacujá	76	Noroeste	Sobral	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Palhano	440	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	80,4	321,5	39%	1 100,2	643,1	5,503	5,533	4,150	974,0	2 074,2
Palmácia	118	Norte Cearense	Baturité	0,1	0,4	44%	1,5	0,8	5,113	5,166	3,924	1,1	2,7
Paracuru	302	Norte Cearense	Baixo Curu	45,4	181,4	45%	707,6	362,9	5,440	5,464	4,114	544,9	1 252,6
Paraipaba	301	Norte Cearense	Baixo Curu	49,2	197,0	45%	779,5	393,9	5,427	5,450	4,102	589,8	1 369,3
Parambu	2 304	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	175,8	703,1	39%	2 387,7	1 406,1	5,529	5,594	4,246	2 179,0	4 566,7
Paramoti	483	Norte Cearense	Canindé	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Pedra Branca	1 303	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	89,1	356,4	39%	1 220,6	728,3	5,682	5,725	4,330	1 151,5	2 372,0
Penaforte	150	Sul Cearense	Brejo Santo	3,6	14,5	36%	46,1	29,5	6,058	6,103	4,614	49,6	95,7
Pentecoste	1 378	Norte Cearense	Médio Curu	0,7	2,9	38%	9,8	5,9	5,567	5,616	4,231	9,1	18,9
Pereiro	434	Jaguaribe	Serra do Pereiro	30,1	120,5	40%	420,9	241,1	5,992	6,042	4,583	403,3	824,3

D APÊNDICE
POTENCIAL EÓLICO E SOLAR POR MUNICÍPIO
APPENDIX D – WIND AND SOLAR RESOURCE PER MUNICIPALITY

Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*									
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*					
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Pindoretama	75	Norte Cearense	Cascavel	4,0	16,1	45%	63,1	32,3	5,218	5,247	3,948	46,5	109,5
Piquet Carneiro	588	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Pires Ferreira	243	Noroeste	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Poranga	1 309	Noroeste	Ipu	322,0	1 287,9	46%	5 193,0	2 575,8	5,938	5,981	4,518	4 247,9	9 440,9
Porteiras	218	Sul Cearense	Cariri	4,9	19,7	37%	63,5	39,4	5,895	5,948	4,556	65,6	129,1
Potengi	339	Sul Cearense	Chapada do Araripe	135,6	542,5	40%	1 901,2	1 084,9	5,793	5,861	4,433	1 755,3	3 656,5
Potiretama	410	Jaguaribe	Serra do Pereiro	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Quiterianópolis	1 041	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	103,1	412,5	41%	1 487,0	824,9	5,426	5,488	4,159	1 252,4	2 739,4
Quixadá	2 020	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,3	1,1	40%	3,7	2,1	5,466	5,518	4,181	3,3	7,0
Quixelô	560	Centro-Sul Cearense	Iguatu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Quixeramobim	3 276	Sertões Cearenses	Sertão de Quixeramobim	0,7	2,8	38%	9,3	5,5	5,504	5,541	4,191	8,5	17,8
Quixeré	614	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	42,8	171,1	38%	573,1	342,2	5,793	5,826	4,365	545,2	1 118,4
Redenção	226	Norte Cearense	Baturité	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Reriutaba	383	Noroeste	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Russas	1 590	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	1,1	4,6	38%	15,2	9,1	5,539	5,568	4,182	13,9	29,1
Saboeiro	1 383	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	3,2	12,8	39%	43,6	25,6	5,708	5,765	4,345	40,5	84,1
Salitre	804	Sul Cearense	Chapada do Araripe	518,1	2 072,4	48%	8 755,8	4 144,7	5,728	5,804	4,403	6 661,6	15 417,4
Santana do Acaraú	969	Noroeste Cearense	Sobral	3,9	15,6	38%	52,2	31,4	5,485	5,509	4,130	47,3	99,5
Santana do Cariri	856	Sul Cearense	Cariri	233,0	932,0	39%	3 167,6	1 863,9	5,846	5,908	4,505	3064,8	6232,5
Santa Quitéria	4 260	Noroeste Cearense	Santa Quitéria	192,4	769,5	40%	2 691,5	1 859,4	5,789	5,824	4,398	2991,2	5 682,7
São Benedito	338	Noroeste	Ibiapaba	131,3	525,4	48%	2 211,3	1 050,7	5,927	5,965	4,543	1742,5	3 953,8
São Gonçalo do Amarante	834	Norte Cearense	Baixo Curu	53,2	212,8	42%	773,7	425,6	5,396	5,422	4,082	634,1	1 407,8
São João do Jaguaribe	280	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
São Luís do Curu	122	Norte Cearense	Médio Curu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Senador Pompeu	1 002	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Senador Sá	424	Noroeste	Sobral	16,0	64,1	38%	214,4	200,1	5,393	5,422	4,060	296,9	511,3
Sobral	2 123	Noroeste	Sobral	3,4	13,7	41%	49,2	31,1	5,604	5,645	4,270	48,6	97,9
Solonópole	1 536	Sertões Cearenses	Sertão de Senador Pompeu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Tabuleiro do Norte	862	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Tamboril	1 961	Sertões Cearenses	Sertão de Crateús	71,5	286,0	39%	989,2	746,2	5,804	5,848	4,414	1 201,4	2 190,6
Tarrafas	454	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,1	0,3	37%	0,9	0,5	5,743	5,809	4,373	0,9	1,7
Tauá	4 018	Sertões Cearenses	Sertão de Inhamuns	537,4	2 149,6	40%	7 472,5	5 749,9	5,779	5,829	4,393	9 227,1	16 699,5
Tejuçuoca	760	Norte Cearense	Médio Curu	0,1	0,2	41%	0,9	0,5	5,468	5,504	4,154	0,7	1,6
Tianguá	909	Noroeste	Ibiapaba	229,1	916,3	50%	4 040,5	1 834,6	5,900	5,933	4,514	3 022,4	7 062,9

Município *Municipality*	Território [km²] *Territory [km²]*	Mesorregião *Mesoregion*	Microrregião *Microregion*	Potencial Híbrido – Solar e Eólico – Velocidade 150 m > 7,0 m/s *Wind and Solar Hybrid Resource – Wind Speed at 150 m > 7,0 m/s*										
				Eólico Onshore a 150 m de altura *Onshore Wind at 150 m*				Solar Centralizada Terreno Plano e Suavemente Ondulado – Todas as Áreas Aptas *Centralized Solar on Flat and Slightly Undulating Terrain – All Suitable Areas*						
				Área Apta [km²] *Suitable area [km²]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]*	Fator de Capacidade Médio [%] *Average Capacity Factor [%]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Capacidade Instalável [MW] *Installable Capacity [MW]"*	GHI Médio Anual [KWh/m²/dia] *Annual Average GHI [kWh/m²/day]*	GTI 10º Médio Anual – Orientado para o Norte [KWh/m²/dia] *Annual Average 10º GTI – North-oriented [KWh/m²/day]*	Produtividade Fotovoltaica 10º Média Anual – Orientado para o Norte [KWh/kW$_p$/dia] *Annual Average 10º Photovoltaic Energy Yield – North-oriented [kWh/kW$_p$/day]*	Geração de Energia Anual [GWh] *Annual Energy Yield [GWh]*	Geração Híbrida de Energia Anual – Eólica e Solar [GWh] *Annual Hybrid Energy Yield – Wind and Solar [GWh]*
Trairi	929	Norte Cearense	Itapipoca	112,7	450,7	47%	1 846,5	901,5	5,462	5,484	4,125	1 357,2	3 203,7
Tururu	202	Norte Cearense	Uruburetama	1,4	5,8	38%	19,3	11,5	5,447	5,476	4,113	17,3	36,6
Ubajara	421	Noroeste	Ibiapaba	88,7	354,9	51%	1 586,3	709,9	5,919	5,954	4,536	1 175,3	2 761,6
Umari	264	Centro-Sul Cearense	Lavras da Mangabeira	0,0	0,1	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Umirim	317	Norte Cearense	Uruburetama	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Uruburetama	97	Norte Cearense	Uruburetama	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Uruoca	697	Noroeste	Coreaú	0,1	0,3	37%	0,8	0,5	5,589	5,627	4,218	0,8	1,6
Varjota	179	Noroeste	Ipu	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Várzea Alegre	836	Centro-Sul Cearense	Várzea Alegre	0,8	3,3	37%	10,8	6,6	5,869	5,929	4,481	10,8	21,6
Viçosa do Ceará	1 312	Noroeste	Ibiapaba	168,7	674,9	49%	2 870,7	1 349,9	5,968	6,000	4,558	2 245,6	5 116,3

APÊNDICE E
MAPAS COMPLEMENTARES
APPENDIX E – COMPLEMENTARY MAPS



MAPA/MAP E.1 .

Declinação Magnética e Variação Anual

MAGNETIC DECLINATION AND ANNUAL VARIATION

Mapa baseado no modelo *World Magnetic Model* 2015 – WMM2015, versão 2 (válida entre 2015-2020)[1].

MAP BASED ON WORLD MAGNETIC MODEL 2015 – WMM2015, VERSION 2 (VALID BETWEEN 2015-2020)[1].

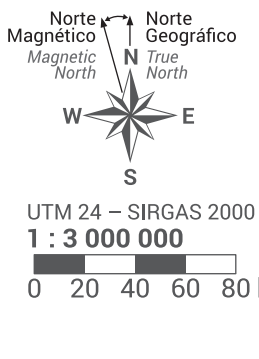
BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE*: IBGE[2], ANA[3].

Declinação magnética (graus) em 1º de julho de 2019
Magnetic declination (degrees) in July 1st, 2019

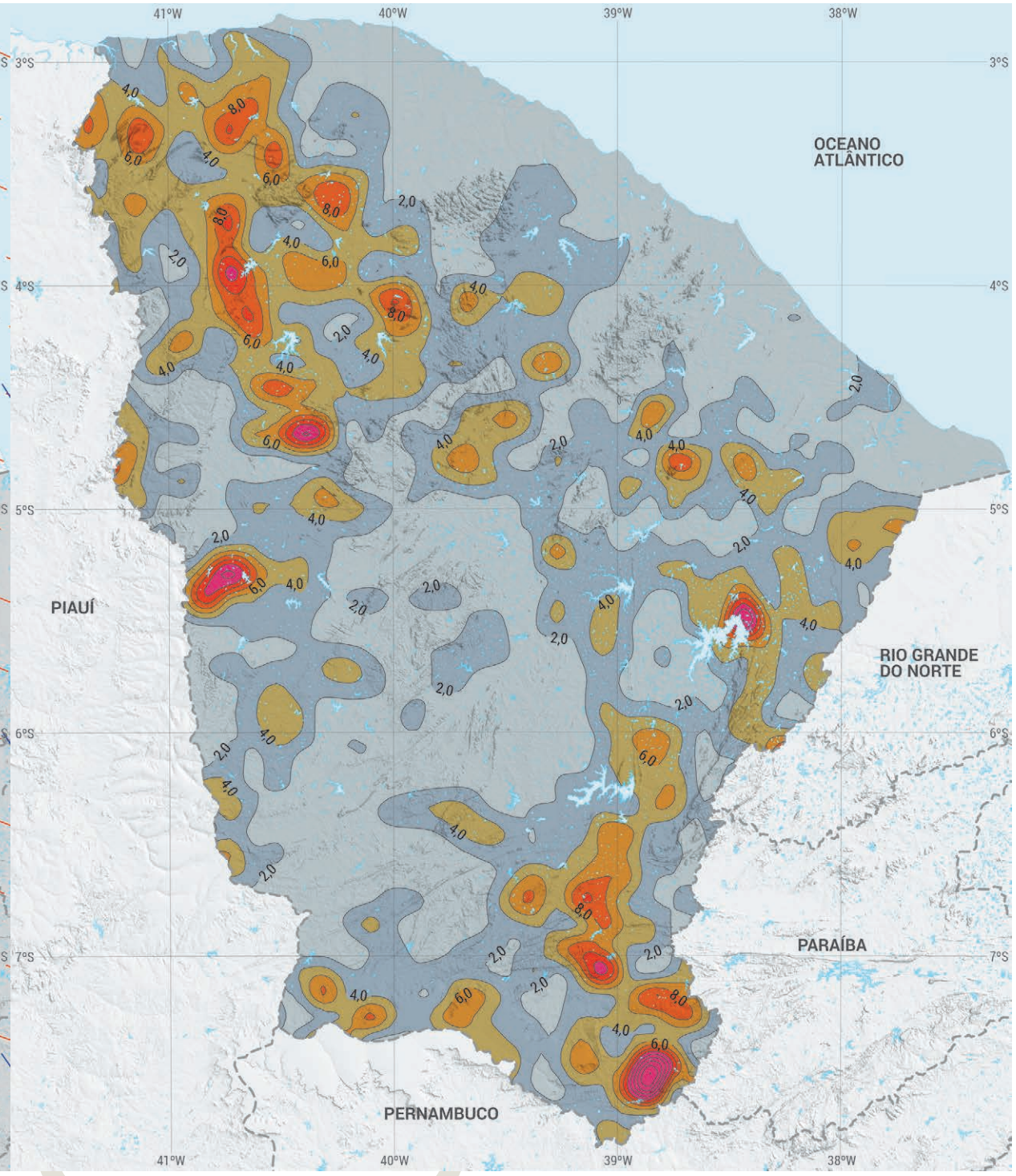
Variação anual (minutos de grau) entre 2015 e 2020
Annual variation (minutos of degree), between 2015 and 2020

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary



UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km



MAPA/MAP E.2 .

Descargas Atmosféricas

LIGHTNING STRIKES

Climatologia da densidade anual da incidência de raios, estimada a partir de medições dos sensores orbitais *Optical Transient Detector* – OTD – e *Lightning Imaging Sensor – LIS*.

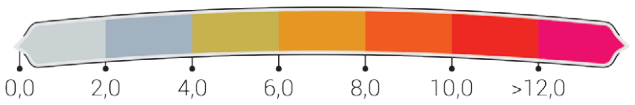
ANNUAL DENSITY CLIMATOLOGY OF LIGHTNING INCIDENCE, ESTIMATED FROM MEASUREMENTS PERFORMED BY THE ORBITAL SENSORS OPTICAL TRANSIENT DETECTOR – OTD – AND LIGHTNING IMAGING SENSOR – LIS.

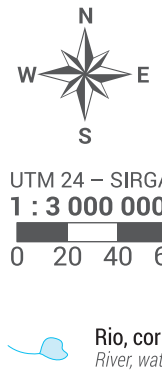
MAPA ELABORADO A PARTIR DE DADOS PROCESSADOS PELO *GLOBAL HYDROLOGY RESOURCE CENTER* – GHRC, DO *MARSHALL SPACE FLIGHT CENTER EARTH SCIENCE OFFICE* DA NASA[4].

MAP BASED ON DATA PROCESSED BY THE GLOBAL HYDROLOGY RESOURCE CENTER – GHRC, MARSHALL SPACE FLIGHT CENTER EARTH SCIENCE OFFICE, NASA[4].

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE*: IBGE[2], ANA[3].

INCIDÊNCIA ANUAL [RAIOS/km²]
ANNUAL INCIDENCE [LIGHTNING STRIKES/km²]

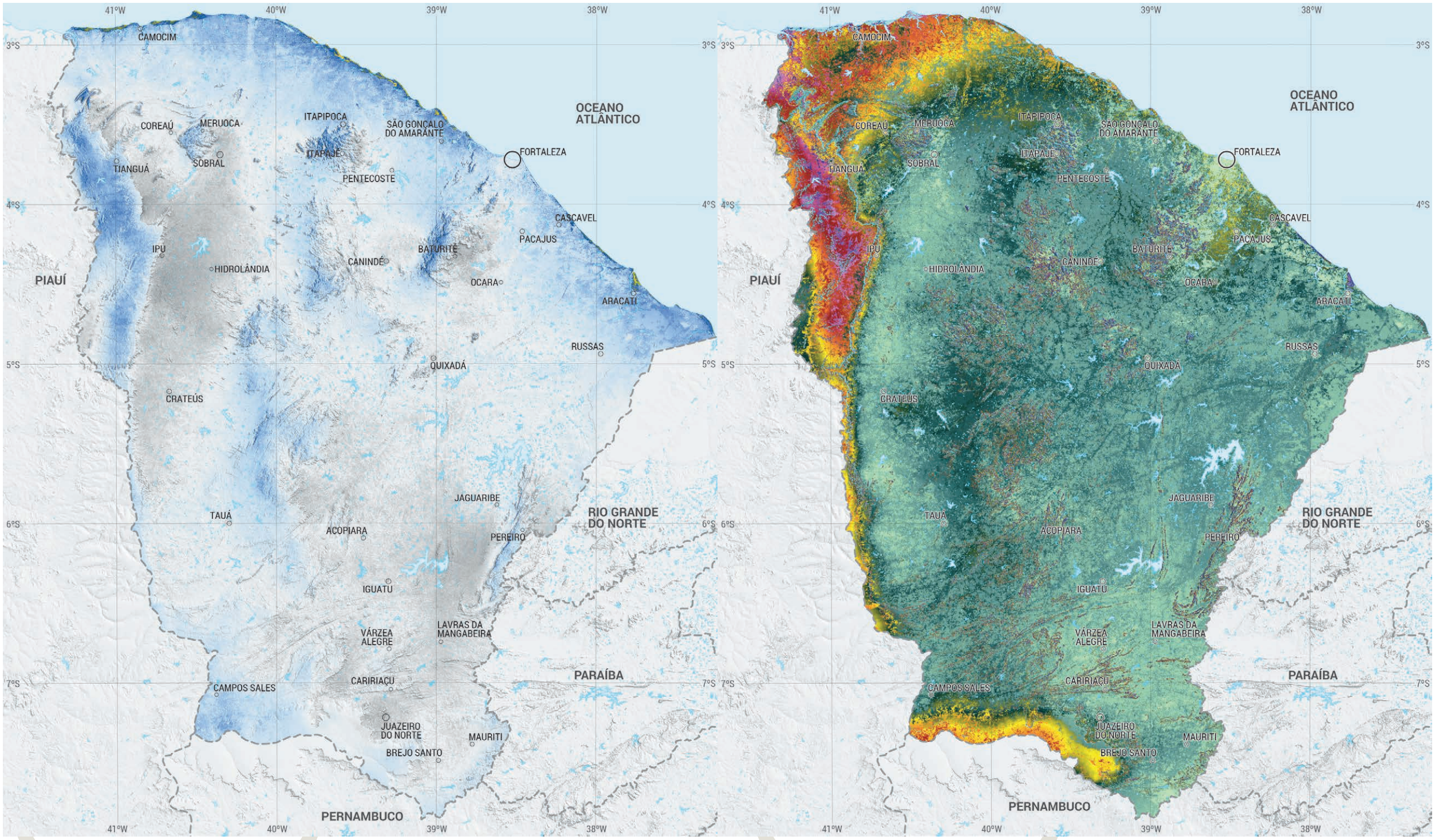




UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

Rio, corpo d'água
River, water body

Divisa estadual
State boundary



MAPA/MAP E.3 .

Velocidade Diurna do Vento
a 10 m de altura

DAYTIME WIND SPEED AT 10 m HEIGHT

Velocidade média anual diurna do vento a 10 m de altura, das 8:00 às 18:00, calculada a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (UL Truepower) e simulações de camada-limite atmosférica *WindMap*, ajustada por medições anemométricas.

DAYTIME ANNUAL AVERAGE WIND SPEED AT 10 M HEIGHT, FROM 8:00 AM TO 6:00 PM, CALCULATED FROM MESOMAP MESOSCALE MODEL (UL TRUEPOWER) AND WINDMAP ATHMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATIONS, ADJUSTED TO WIND MEASUREMENTS.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE*: IBGE[2],[5], ANA[3].

VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO [m/s]
AVERAGE WIND SPEED [m/s]

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

Rio, corpo d'água
River, water body
Divisa estadual
State boundary
Sede municipal
Municipality

MAPA/MAP E.4 .

Rajada Máxima a 100 m de altura

MAXIMUM GUST AT 100 m HEIGHT

Rajada máxima (velocidade extrema medida sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, $Ve50_{[3s,\ 50anos]}$) calculada a partir das isopletas de velocidade básica do vento (V_0, conforme norma brasileira), de registros de rajadas, disponíveis nas torres anemométricas utilizadas neste Atlas, e dos fatores de correção S_1, S_2 e S_3, conforme NBR-6123/88[6].
O fator topográfico (S_1) foi calculado a partir do modelo digital de elevação. O fator de rugosidade e altura sobre o terreno (S_2) foi calculado a partir do modelo digital de rugosidade, interpolando-se os parâmetros meteorológicos definidos na norma brasileira[6] e considerando o fator de rajada correspondente ao intervalo de 3 segundos. O fator estatístico (S_3) foi calculado para a vida útil da edificação de 50 anos e a probabilidade de 63% de que a velocidade seja igualada ou excedida neste período, resultando no fator unitário (S_3=1). Os fatores foram calculados para a altura de 100 m sobre o terreno.

MAXIMUM GUST (EXTREME SPEED MEASURED OVER 3 SECONDS WITH RECURRENCE PERIOD OF 50 YEARS, $VE50_{[3S,\ 50\ YEARS]}$) CALCULATED FROM THE BASIC WIND SPEED (V0) ISOPLETHS (ACCORDING TO THE BRAZILIAN STANDARD), AVAILABLE GUST RECORDS FROM ANEMOMETRIC TOWERS USED IN THIS ATLAS, AND S_1, S_2 AND S_3 CORRECTION FACTORS, ACCORDING TO NBR-6123/88[6].
THE TOPOGRAPHIC FACTOR (S_1) WAS CALCULATED FROM THE DIGITAL ELEVATION MODEL. THE ROUGHNESS AND HEIGHT FACTOR (S_2) WAS CALCULATED FROM THE ROUGHNESS DIGITAL MODEL, BY INTERPOLATING METEOROLOGICAL PARAMETERS DEFINED IN THE BRAZILIAN STANDARD[6], PLUS CONSIDERING THE 3-SECOND INTERVAL GUST FACTOR. THE STATISTICAL FACTOR (S_3) WAS CALCULATED FOR 50-YEAR LIFESPAN OF THE BUILDING AND 63% PROBABILITY THAT THE SPEED IS EQUALED OR EXCEEDED IN THIS PERIOD, RESULTING IN UNIT FACTOR (S_3=1). THE FACTORS WERE CALCULATED FOR THE HEIGHT OF 100 m ABOVE GROUND LEVEL.

BASE CARTOGRÁFICA/*CARTOGRAPHIC DATABASE*: IBGE[2],[5], ANA[3].

RAJADA MÁXIMA (Ve50) A 100 m DE ALTURA [m/s]
MAXIMUM GUST (Ve50) AT 100 m HEIGHT [m/s]

30 35 40 45

N W E S

UTM 24 – SIRGAS 2000
1 : 3 000 000
0 20 40 60 80 km

Rio, corpo d'água
River, water body
Divisa estadual
State boundary
Sede municipal
Municipality

APÊNDICE F
SOBRE O ATLAS DO ESTADO DO CEARÁ
APPENDIX F – ABOUT THE CEARÁ WIND AND SOLAR ATLAS

F.1 Introdução

O novo Atlas Eólico e Solar do Ceará é resultado de um convênio entre ADECE, FIEC e SEBRAE/CE. O Atlas tem por objetivo atualizar o potencial eólico e solar do Estado, inserindo-se em meio a um conjunto de projetos integrados que envolvem ações para promoção da competitividade, do desenvolvimento econômico sustentável e industrial, do estímulo ao empreendedorismo e à eficiência produtiva e de melhores prospecções de futuro. Busca-se, com o Atlas, fomentar o aproveitamento dos recursos naturais e renováveis no Ceará, permitindo a construção de cenários futuros sobre o uso das energias de fontes eólica e solar.

O Atlas disponibiliza ao público dados provindos da aplicação de avançadas tecnologias de modelagem dos recursos eólico e solar, apresentados por meio de mídias impressa (livro e mapa de parede) e digital, incluindo ferramentas *online* de consulta e extração de dados. Espera-se, assim, facilitar o uso das informações apresentadas a micro e pequenas empresas do segmento de geração distribuída de energia, empreendedores e instituições de ensino e pesquisa, proporcionando ao Estado do Ceará um diferencial para a atração de investimentos no setor.

F.1.1 ENTIDADES ENVOLVIDAS COM O PROJETO

Apresenta-se a seguir um breve resumo da participação das principais entidades realizadoras, financiadoras e colaboradoras do projeto do Atlas Eólico e Solar do Ceará.

A) AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ – ADECE

A Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará, desde a sua criação, tem apoiado o setor de energias renováveis, através de participações em feiras, eventos e missões para divulgar as potencialidades do Estado e atrair investimentos. Também por meio da ADECE, foi instituída a Câmara Setorial de Energias Renováveis do Estado do Ceará, um fórum permanente de discussão do setor, que debate sistematicamente visando encontrar alternativas sustentáveis para o desenvolvimento do segmento. O presente Atlas está entre as principais conquistas da Câmara. Outra área de atuação da ADECE é a concessão de incentivos às empresas interessadas em se instalarem no território estadual, por meio do Programa de Incentivos para Energias Renováveis – PIER.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO CEARÁ

EXTRATO DE CONVÊNIO Nº10/2017

CONVENENTES: Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A-ADECE e Federação das Indústrias do Estado do Ceará- FIEC e Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará-Sebrae/CE. OBJETO: Desenvolvimento de estudo na área de energia eólica e solar no Ceará, a partir da elaboração de mapeamento dessas fontes de energia no estado, através da elaboração do Atlas Eólico e Solar do Estado do Ceará. FUNDAMENTAÇÃO LEGAL: Lei Estadual nº 13.960, de 04 de setembro de 2007,na Lei Complementar nº 199 de 28 de dezembro de 2012, Lei Complementar nº 122, de 12 de agosto de 2013 e instrução Normativa Conjunta SECON/SEFAZ/SEPLAN nº01/2005 e suas respectivas atualizações, e na Lei Federal nº8.666/93 e suas alterações. FORO: Fortaleza, CE VIGÊNCIA: 24(vinte e quatro) meses consecutivos, contados a partir da publicação no Diário Oficial do Estado. VALOR : Valor Global de R$ 1.400.000,00(um milhão e quatrocentos mil reais), sendo R$800.000,00 (oitocentos mil reais) contrapartida financeira da ADECE, R$ 300.000,00 (trezentos mil reais), contrapartida econômica da Federação das Indústrias do Estado do Ceará-FIEC e R$300.000,00 (trezentos mil reais) contrapartida financeira do Serviço de Apoio ás Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará-Sebrae/CE. DOTAÇÃO ORÇAMENTÁRIA: Recursos próprios da ADECE DATA DA ASSINATURA: Fortaleza,18 de Dezembro de 2017 SIGNATÁRIOS : Vivian Nicolle Barbosa de Alcântara-Diretora-Presidente-da-ADECE,Maria Inês Cavalcante Studart Menezes-Gerente Administrativo-Financeira-da ADECE,Joaquim Cartaxo Filho-Diretor-Superintendente- do Sebrae,Alci Porto Gurgel Junior-Diretor-Técnico- do Sebrae,Jorge Alberto Vieira Studart Gomes-Presidente da Fiec,José Ricardo Montenegro Cavalcante-Diretor Administrativo da FIEC.

Marilia Maia Castelo Branco Ferreira
ASSESSORA JURÍDICA

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO | SÉRIE 3 | ANO IX Nº239 | FORTALEZA, 22 DE DEZEMBRO DE 2017. P39

FIGURA F.1 Convênio para elaboração do Atlas Eólico e Solar do Ceará.

B) FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ – FIEC

A Federação das Indústrias do Estado do Ceará, similarmente, tem sido outra grande incentivadora das energias renováveis. Em uma das primeiras ações da atual gestão, foram criados na FIEC núcleos estratégicos focados na geração de conhecimento e promoção de parcerias em determinados setores da indústria cearense. Dentro desse escopo, o Núcleo de Energia passou a atuar em parceria com o Observatório da Indústria para o desenvolvimento da cadeia produtiva das energias renováveis. O Observatório é outro importante projeto da FIEC, criado para atuar na construção e articulação de conhecimento especializado, com foco em ações para melhorar a competitividade da indústria. No presente Atlas, coube à FIEC, portanto, responsabilidades de planejamento, organização e coordenação.

Importante ainda ressaltar o papel desempenhado pelo SINDIENERGIA/CE, entidade que congrega as empresas cearenses do setor de energia.

C) SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO ESTADO DO CEARÁ – SEBRAE/CE

O Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará é uma entidade privada sem fins lucrativos que, desde 1972, atua na capacitação de pessoal e na promoção de pequenos negócios em todo o Estado estimulando e viabilizando o empreendedorismo de micro e pequeno porte. As soluções desenvolvidas pelo SEBRAE/CE atendem, portanto, desde o empreendedor que pretende abrir um negócio até pequenas empresas que já estão consolidadas e buscam um novo posicionamento de mercado. O SEBRAE/CE tem sido também um importante agente do setor de energias renováveis, atuando especialmente com as micro e pequenas empresas que participam do mercado de geração distribuída.

Em 2015 o SEBRAE instalou no seu edifício sede, na cidade de Fortaleza, um sistema de geração fotovoltaica onde foram utilizados 210 módulos totalizando 52,5 kW_p de potência que geram energia equivalente ao consumo da iluminação de todo o edifício (Figura F-2).

D) OUTROS PATROCINADORES

Além das principais entidades realizadoras, este projeto contou com valiosos recursos financeiros provindos do Banco do Nordeste do Brasil – BNB, FCG Participações, Newen New Energies, Servtec Energia Ltda, Sindicato das Indústrias de Energia e de Serviços do Setor Elétrico do Estado do Ceará – SINDIENERGIA/CE. Essas entidades compartilham interesses pelos objetivos do projeto.

E) FORNECEDORES DE DADOS

Vale mencionar o apoio fornecido pelas empresas e instituições que cederam seus dados anemométricos e solarimétricos a este projeto, a saber: CPFL Renováveis, Energias Renováveis do Apodi Ltda, Engie Brasil Energia S.A., Omega Energia, Servtec Energia Ltda. e Ziatech. Foram adicionalmente utilizados dados meteorológicos disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelo *Global Modeling and Assimilation Office* – GMAO e *European Centre for*



FOTO/*PHOTO*: ARQUIVO SEBRAE/CE

FIGURA F.2 Geração Distribuída no Edifício sede do SEBRAE/CE.

Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF. Dados cartográficos e do sistema elétrico utilizados em alguns mapas e análises foram gentilmente cedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – e pela Secretaria de Infraestrutura do Ceará – SEINFRA/CE.

F) APOIADORES

O projeto ainda contou com o apoio da Secretaria da Infraestrutura do Ceará – SEINFRA/CE, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, Superintendência Estadual de Meio Ambiente – SEMACE, Câmara Setorial de Energias Renováveis do Ceará – CSRenováveis/CE e Sindicato das Indústrias de Energia e de Serviços do Setor Elétrico do Estado do Ceará – SINDIENERGIA/CE.

A SEINFRA/CE, por meio da Secretaria Executiva de Energia, Mineração e Telecomunicações, esteve presente desde o início do projeto com a elaboração da proposta inicial do termo de referência e apoio técnico no desenvolvimento do trabalho, além da interlocução com as entidades governamentais.

A FUNCEME contribuiu em várias fases, cedendo dados de suas estações meteorológicas para validação dos modelos computacionais e fornecendo mapas e informações geoambientais do território do Estado, além de ter auxiliado na revisão crítica do conteúdo do Atlas. A FUNCEME também foi responsável pela criação da versão do Atlas para *smartphone*.

A SEMACE colaborou com a pesquisa sobre as restrições ambientais que seriam utilizadas nas análises de potencial energético, além de ter revisado e complementado as informações e análises pertinentes ao tema do meio ambiente. Vale dizer que a instituição tem atuado proativamente na modernização do licenciamento ambiental para energias renováveis no Estado.

A CSRenováveis/CE auxiliou na elaboração da justificativa para a execução do novo Atlas e, durante o desenvolvimento do projeto, serviu como articuladora para troca de ideias entre os entes da cadeia produtiva das energias renováveis do Estado e a equipe de elaboração.

Por fim, o SINDIENERGIA/CE esteve presente, da mesma forma, tanto na viabilização como no desenvolvimento do trabalho. A entidade auxiliou na concepção do Atlas, no que se refere ao formato das ferramentas, análises e informações oferecidas, buscando o atendimento, da melhor maneira possível, das necessidades dos empreendedores e de agentes da iniciativa privada.

G) EMPRESA EXECUTORA

A execução do projeto ficou a cargo da Camargo-Schubert, empresa com reconhecida experiência no mapeamento e desenvolvimento de Atlas Eólicos e Solares, com 25 anos de atuação no mercado brasileiro, em serviços de consultoria em energias renováveis. A empresa possui uma longa cooperação técnica com a UL TruePower, empresa reconhecida internacionalmente na área de energias renováveis e que forneceu os dados de mesoescala, solares e eólicos, para este Atlas. Dentre os trabalhos realizados pela Camargo-Schubert, destaca-se a elaboração de 12 atlas eólicos e 2 atlas solares estaduais, além do primeiro atlas eólico do Brasil e do primeiro atlas eólico do Ceará. Esses dois últimos, concluídos coincidentemente no ano de 2000, forneceram, a nível estadual e nacional, subsídios técnicos para o estabelecimento das políticas públicas de uso e desenvolvimento da energia dos ventos que foram adotadas nas duas últimas décadas, e que tiveram impacto marcante no desenvolvimento do país e do Ceará, conforme evidenciado por algumas informações apresentadas no decorrer do presente trabalho.

CEARÁ: VENTO, LUZ, AÇÃO.

ceara.gov.br
/governodoceara

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
NOVAS IDEIAS, **NOVAS CONQUISTAS.**

Usina Eólica da Taíba

INVISTA NO CEARÁ.
AQUI TEM ENERGIA PARA SUA EMPRESA CRESCER.

O Ceará é pioneiro em iniciativas para o desenvolvimento de energias renováveis no Brasil.

Um dos líderes nacionais em produção industrial para energia eólica, com 3 grandes fabricantes do mercado mundial.

Mais de 3 mil MW de geração eólica e solar em operação e em construção.

Estado líder em geração distribuída de energia, com 28% de toda a potência instalada na região Nordeste.

Entre os 3 maiores produtores de energia eólica do país.

Um dos melhores potenciais do país em geração eólica onshore (94 GW), geração eólica offshore (117 GW) e geração solar.

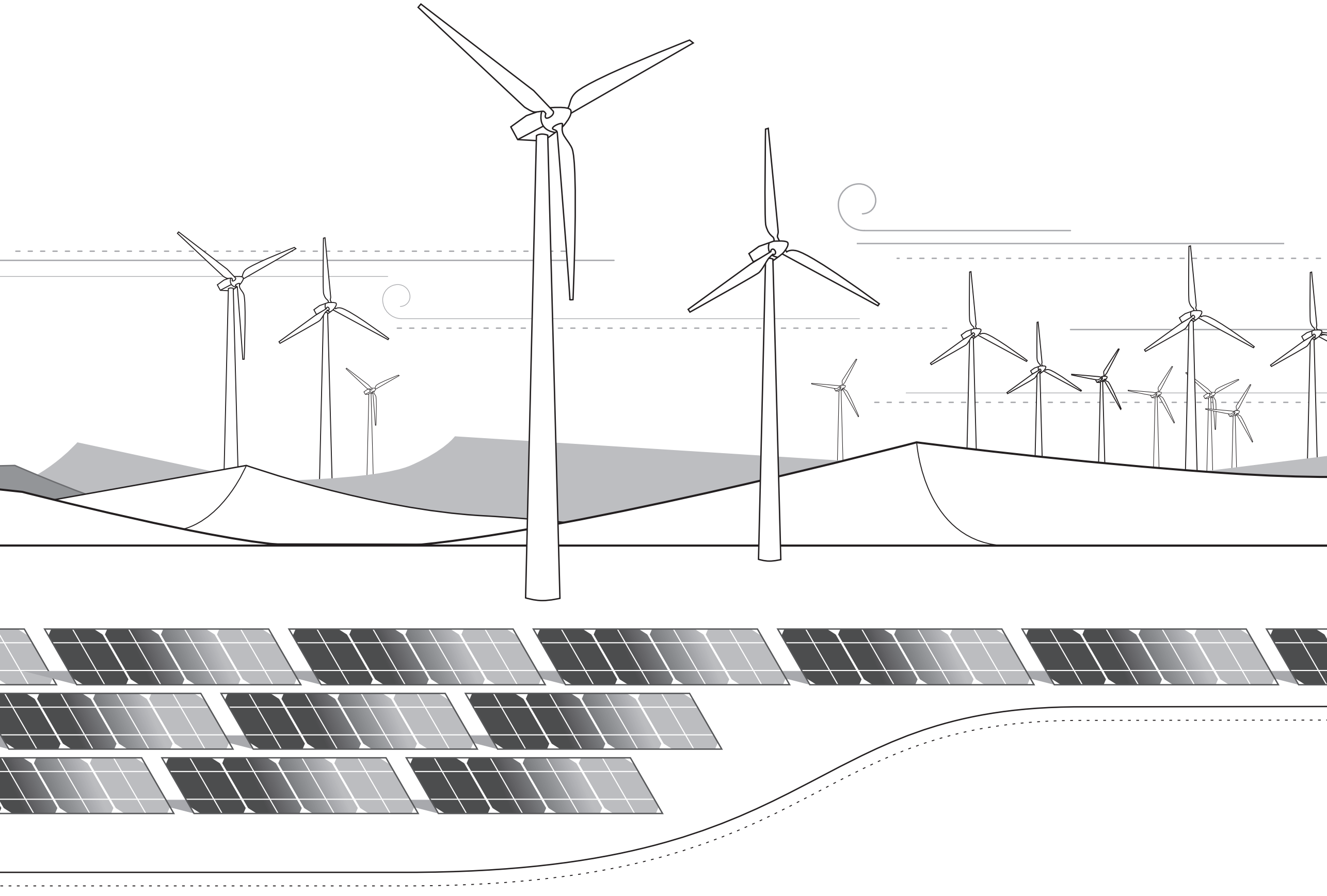
Conta com o Programa de Incentivos da Cadeia Produtiva Geradora de Energias Renováveis (PIER).

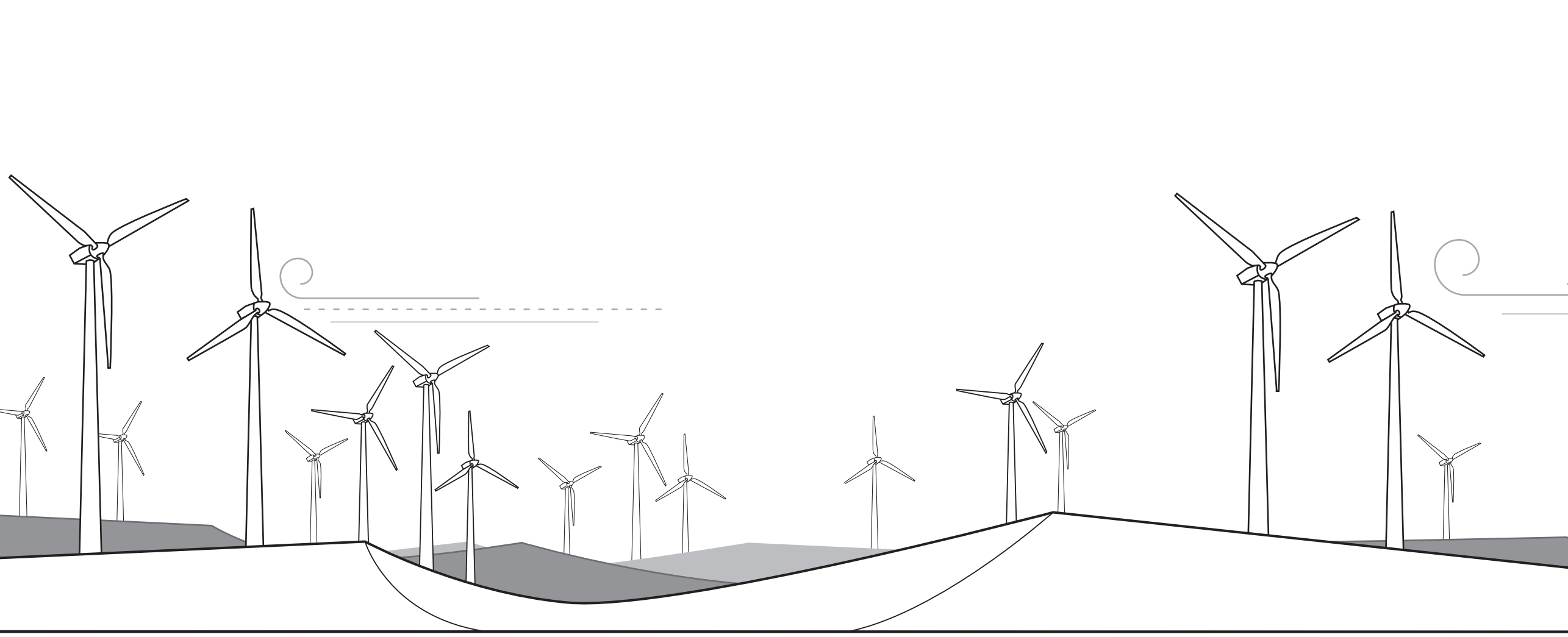
Fonte: Atlas Eólico e Solar 2019

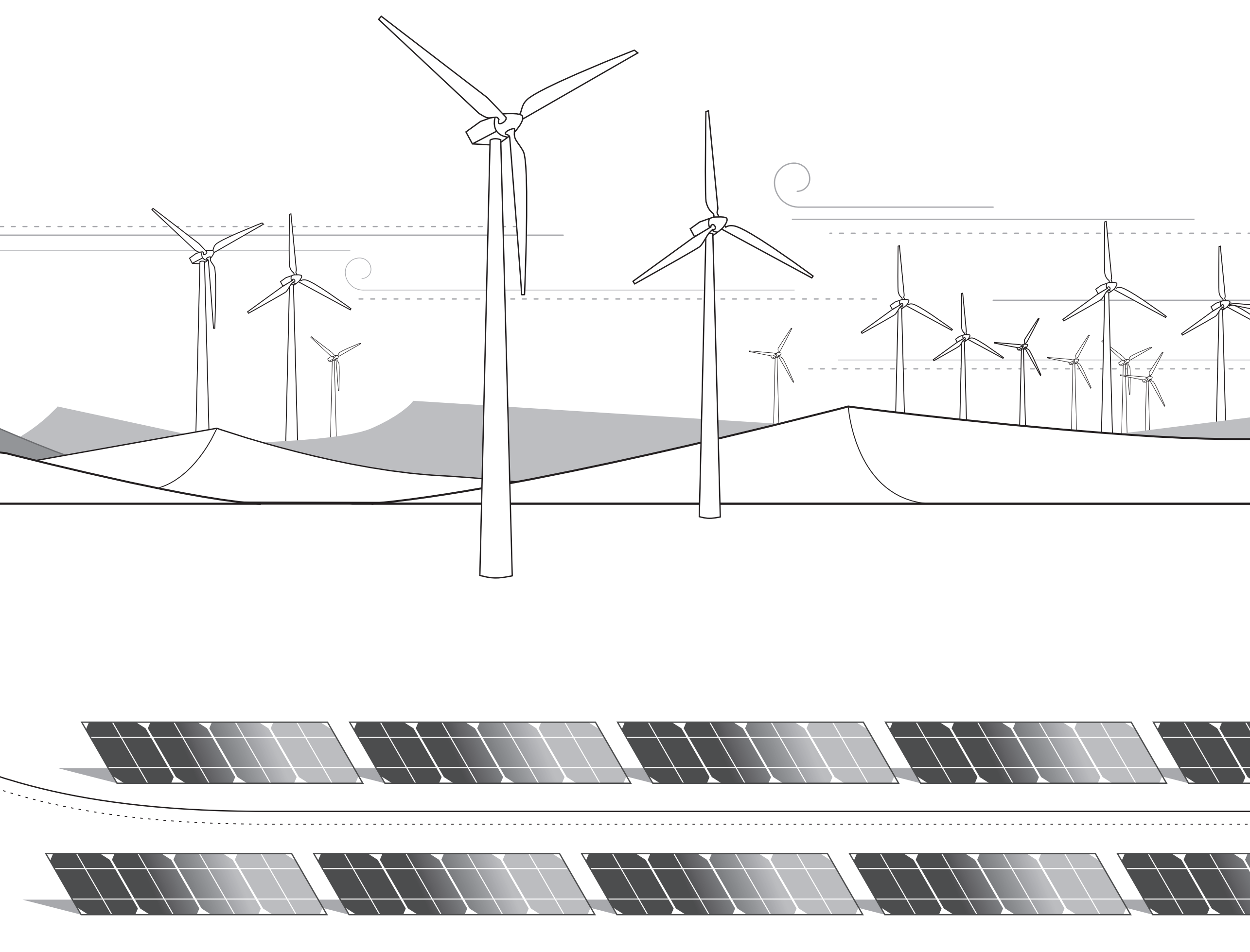
CEARÁ O GOVERNO **QUE NÃO PARA,** O GOVERNO **QUE FAZ.**

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

NOVAS IDEIAS, **NOVAS CONQUISTAS.**









Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-67342-05-4
9 788567 342054



FUNCEME · NEWEN NEW ENERGIES · sindi energia CEARÁ · FCG PARTICIPAÇÕES · bons ventos PROJETOS EÓLICOS · GRUPO SERVTEC TRABALHANDO COM ENERGIA · CAMARGO SCHUBERT · Acelerar para desenvolver · Banco do Nordeste · PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL