



Atlas eólico do estado da Paraíba

2017

GOVERNO DA PARAÍBA

ATECEL

Universidade Federal de Campina Grande

Chesf

Eletrobras

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

BRASIL GOVERNO FEDERAL

CAMARGO SCHUBERT

atlas-PB.indb 1 25/11/2017 09:04:52

atlas eólico PARAÍBA

PRODUÇÃO

: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA :
Fernado Bezerra Coelho Filho - *Ministro*
Eduardo Azevedo Rodrigues - *Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético*
Wilson Ferreira Júnior - *Presidente* ELETROBRAS
Sinval Zaidan Gama - *Presidente* CHESF

: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG :
Vicemário Simões - *Reitor*
José Edílson de Amorim - Professor

: GOVERNO DA PARAÍBA :
Ricardo Vieira Coutinho - *Governador*
João Azevêdo Lins Filho - *Secretário de Infra-estrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia*
Robson Barbosa - *Secretario Executivo de Energia e do Programa de Aceleração do Crescimento* – PAC

: ATECEL :
João Batista Queiroz de Carvalho - *Presidente*
Edson da Costa Pereira - *Vice-Presidente*
Nilson de Brito Feitoza - *Diretor Superintendente*
José Marcelo de Aguiar Macêdo - *Diretor Administrativo*
Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa - *Gestor do Projeto*

EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO

CAMARGO-SCHUBERT ENGENHARIA EÓLICA

Alexander Clasen Back
Fabiano de Jesus Lima da Silva
Fábio Catani
Frederico Eduardo da Cunha Estante
Guilherme Guebur Lima
Gustavo Oliveira Violato
Odilon A. Camargo do Amarante
Paulo Emiliano Piá de Andrade
Ramon Morais de Freitas
Vicente Ferrer Correia Lima Neto

DADOS DO MODELO DE MESOESCALA FORNECIDOS PELA *AWS TRUEPOWER*

Joan Aymamí
Michael Brower
José Vidal

NÚCLEO EDITORIAL

Revisão de texto
Neida Maria da Conceição Padilha
Roberto Sergio Kozdra

Fotografias
Zig Koch

Ilustração da Capa
Leo Gibran

Projeto Gráfico e Diagramação
du.ppg.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP). Index Consultoria em Informação e Serviços Ltda. Curitiba - PR

A881 Atlas eólico : Paraíba / elaborado por Camargo Schubert Engenheiros Associados, Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL) ; dados do modelo mesoescala fornecidos por AWS Truepower. — Curitiba, PR : Camargo Schubert ; Campina Grande, PB : ATECEL : UFCG, 2014.
104 p. : il., mapas ; 37.13cm x 29.83cm.

Inclui Bibliografia
ISBN 978-85-67342-02-3

1. Energia eólica – Paraíba – Mapas. 2. Ventos – Medição – Paraíba – Mapas. 3. Energia – Fontes alternativas – Paraíba. 4. Meio ambiente. I. Camargo Schubert Engenheiros Associados. II. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL). III. AWS Truepower.

CDD (20.ed.) 551.5185098133
CDU (2.ed.) 620.91 (813.3)

CAMPANHA DE MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS

: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG :
Alexandre Cunha Oliveira
Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa

: COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF :
Adriano Soares da Costa - *Diretor Econômico-Financeiro* – DF
Antônio Varejão de Godoy - *Diretor de Geração*
João Henrique de Araujo Franklin Neto - *Diretor de Operação* – DO
Joel de Jesus Lima Sousa - *Diretor de Gestão Corporativa* – DG
Douglas Balduino Guedes da Nobrega - *Superintendente de Engenharia de Geração* – SEG
Eduardo Boudoux Jatobá - *Gerente do Departamento de Engenharia de Geração Eólica* - DEGE
Paulo Cesar de Souza Camara - *Engenheiro do Departamento de Engenharia de Geração Eólica* - DEGE
Pedro Bezerra de Carvalho Neto - *Engenheiro da Superintendência de Engenharia de Geração* – SEG
Ricardo Barreto Fellows - *Engenheiro da Diretoria de Operação* - DO
Roberto Pordeus Nobrega - *Diretor de Engenharia e Construção* - DE
Ruy Barbosa Pinto Junior - *Engenheiro da Diretoria de Operação* - DO
Ubiratan João Paulo de Lima Damasceno - *Engenheiro do Departamento de Engenharia de Geração Eólica* - DEGE

EQUIPE COMPLEMENTAR DE APOIO À REVISÃO

: UFCG :
Angelo Perkusich
Enilson Palmeira Cavalcanti
Enio Pereira de Souza
Euzeli Cipriano dos Santos Filho
Hyggo Oliveira de Almeida
Wellington Santos Mota

: ELETROBRAS :
Guilherme Camargo Rodrigues
João Leonel de Lima
Jonas Ferreira

: OUTROS :
Angelo A. Mustto Cabrera
Bruno Eduardo M. Montezano
Ricardo Marques Dutra
Sérgio Roberto F. C. de Melo
Vanessa Gonçalves Guedes

atlas-PB.indb 2 25/11/2017 09:04:58

Pesquisa, extensão e qualidade

Foi com muita satisfação que em decorrência da assinatura de um protocolo de colaboração com o Governo do Estado da Paraíba e com a Eletrobras obtivemos o ATLAS EÓLICO DO ESTADO DA PARAÍBA.

É com muito orgulho que divulgamos este inédito e imprescindível trabalho de estudo, pesquisa e extensão universitária da mais alta qualificação e da mais profunda relevância social e ambiental.

Historicamente, não poderia ser mais oportuna a divulgação do presente trabalho: Campina Grande comemora seu sesquicentenário e exibe sua maturidade ao abrigar importantes instituições de formação profissional, de pesquisa e de inovação tecnológica.

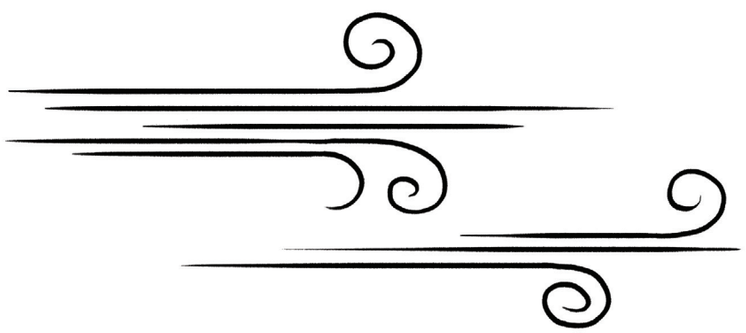
Entre essas instituições, a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG pontifica como vanguarda e como parceira no campo da pesquisa em energias renováveis, a cargo de professores e pesquisadores que atuam no Centro de Ciência e Tecnologia – CCT, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN e sobretudo, no que diz respeito à participação no presente trabalho, no Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI.

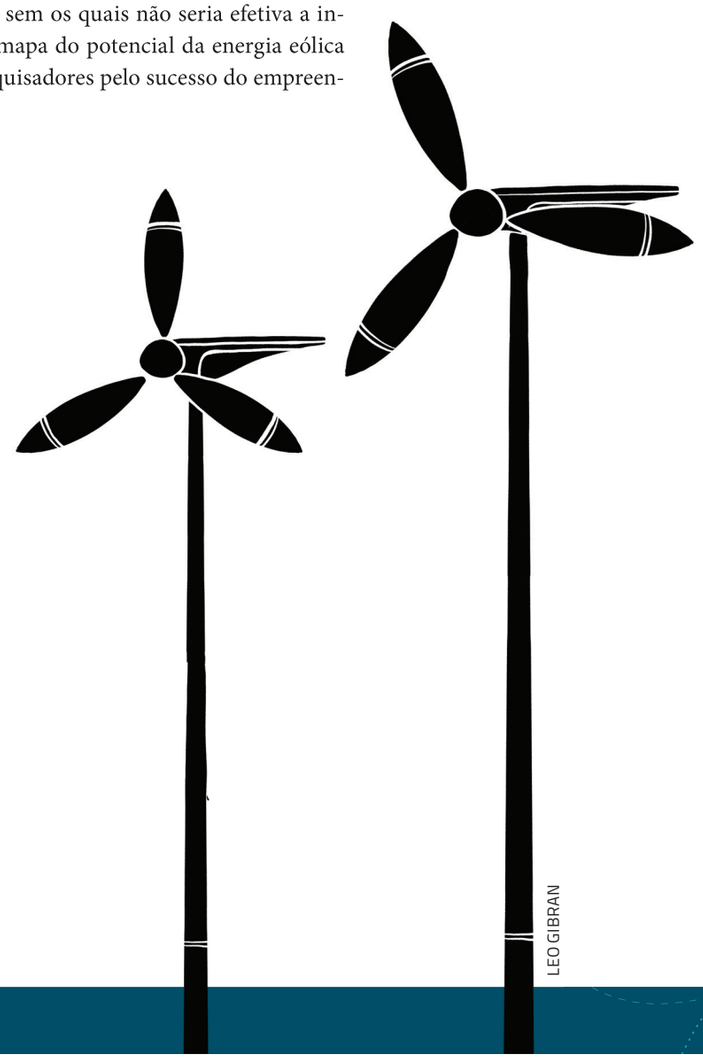
Um trabalho da dimensão deste, que ora divulgamos, somente demonstra o quanto é produtiva a parceria entre entes públicos voltados para a busca do conhecimento e de seu aproveitamento socioeconômico mais relevante e abrangente, notadamente no campo do setor elétrico nacional.

Ressaltamos, mais uma vez, a oportunidade desta publicação: as populações clamam por qualidade ambiental, e essa somente será garantida com o conhecimento e o uso de energias limpas e de fontes renováveis. É tudo que a parceria aqui destacada oferece como significativa contribuição à sociedade brasileira, aos gestores das políticas públicas energéticas e ao desenvolvimento sustentável.

Com sua iniciativa de destaque, a UFCG cumpre seu papel social como instituição de formação, de pesquisa, de desenvolvimento, de inovação tecnológica e de interação social e científica qualificada. Aos que fazem a administração central da UFCG restam dois gestos: agradecer aos parceiros deste projeto exitoso, sem os quais não seria efetiva a integração do Estado da Paraíba no mapa do potencial da energia eólica nacional, e parabenizar nossos pesquisadores pelo sucesso do empreendimento.

Vicemário Simões
Reitor da UFCG





LEO GIBRAN

atlas-PBindb 3
25/11/2017 09:04:58

Apresentação



A oferta de energia elétrica atrai indústria e empregos e promove o desenvolvimento, propiciando à população melhores condições para que se fixe às suas origens. Por outro lado, crises de escassez de energia podem trazer desequilíbrios, que se refletirão ao longo de anos na economia de um país. Esta lição recorrente, que afeta também a vida dos brasileiros, evidencia a necessidade contínua de expansão da capacidade de geração de energia elétrica.

A indústria da geração de energia elétrica a partir da força dos ventos é a que mais tem se expandido nas últimas décadas, entre aquelas aptas à escala de gigawatts. Muitos países vêm investindo intensamente nesta opção, num esforço conjunto da comunidade global rumo ao crescimento sustentável: o aproveitamento da energia dos ventos não emite poluentes e tem baixo nível de ruído, além de coexistir com áreas agrícolas, gerando empregos qualificados na fabricação, instalação e operação dos aerogeradores e adensando o conteúdo tecnológico da economia.

A energia eólica, por não ser vinculada a combustíveis fósseis, é invulnerável a flutuações de preços de commodities, o que a torna um recurso agregador de segurança energética. Importante notar ainda que o Brasil, cujo potencial de expansão hidráulica caminha para o esgotamento, necessita diversificar sua matriz energética, preferencialmente com outras fontes renováveis de energia.

Neste contexto, a energia eólica tem se apresentado nos últimos anos como a mais promissora e consistente fonte energética a agregar capacidade instalada ao Sistema Interligado Nacional.

A Paraíba, que é uma Unidade da Federação de dimensões relativamente pequenas, importa em torno de 60% da energia que consome, além de ter aproximadamente 90% de sua capacidade de geração atrelada à fontes térmicas, distanciando enormemente o Estado do restante do Brasil.

O Atlas Eólico do Estado da Paraíba apresenta-se como um importante instrumento para a definição de políticas públicas de estímulo ao investimento em energia eólica, incentivando e alavancando o setor, ao apresentar detalhadamente os regimes de vento e os respectivos potenciais de geração de energia a partir dessa fonte, pontos de partida para seu efetivo aproveitamento.

A Paraíba apresenta excelentes condições geográficas para a instalação de parques eólicos. Além das condições de vento favoráveis, apresentadas neste trabalho, o Estado detém vastas áreas com relevo adequado à implantação de aproveitamentos eólicos. As atividades econômicas praticadas nessas terras podem coexistir com o desenvolvimento da energia eólica sem prejuízos significativos à produção, mas com benefícios compensatórios: melhoria na infraestrutura, pagamento de arrendamento pelo uso das terras, geração de empregos e contrapartidas sociais.

Esta publicação registra de maneira detalhada e precisa as estatísticas da circulação dos ventos sobre a Paraíba, complementado por informações estruturais e demográficas atualizadas. O mapeamento do potencial paraibano foi obtido a partir da aplicação da mais rigorosa



atlas-PBindb 4 25/11/2017 09:04:54

metodologia, usando técnicas modernas e tendo como base medições de alta qualidade realizadas em pontos relevantes do Estado pela ATECEL em parceria com a CHESF, fundamentais para a aferição e ajuste do modelamento da dinâmica atmosférica paraibana.

Essas informações permitem identificar os locais com potencial para aproveitamento dos ventos, tornando possível o desenvolvimento de estudos de viabilidade dos projetos de parques eólicos. Uma série de fotografias representativas das diversas regiões promissoras é apresentada ao longo da publicação, obtidas durante a campanha de reconhecimento aéreo que percorreu as áreas de maior relevância para o estudo.

São também apresentadas informações complementares relevantes sobre a Paraíba, de interesse ao planejamento e projetos para a fonte eólica, abrangendo a caracterização geográfica estadual, sua demografia, infraestrutura básica, geração e consumo de eletricidade, climatologia, unidades de conservação, terras indígenas, quilombos, áreas destinadas à reforma agrária e centros consumidores.

Além disso, a publicação aborda as principais questões que envolvem a tecnologia empregada na geração eólica, bem como a metodologia utilizada para a elaboração deste estudo, buscando fornecer um diagnóstico completo sobre o assunto e se configurar como a referência mais atualizada para avaliações complementares, planejamento e implantação de parques de aproveitamento eólico no Estado da Paraíba.

O potencial eólico estadual estimado neste trabalho foi calculado considerando-se torres de 100 metros de altura, revelando capacidade de fornecimento energético superior a nove vezes a demanda atual da Paraíba. O regime de ventos e suas características são apresentados em quatro alturas: 70, 100, 120 e 150 metros. As três primeiras são compatíveis com o atual estágio tecnológico dos aerogeradores disponíveis no mercado, e a última visa ao futuro do desenvolvimento tecnológico, quando se acredita que máquinas e torres ainda maiores passarão a ser utilizadas.

O lançamento do Atlas ocorre em um momento em que a geração eólica cresce em larga escala no país, com a existência de um número sem precedentes de projetos em estudo, implantação e em operação. Na Paraíba, comparativamente a outros estados do Nordeste, a energia eólica encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento, com crescimento da capacidade instalada, motivado especialmente pela perspectiva de contínua contratação de energia no âmbito da atual política de leilões de comercialização de energia, com gigantesco potencial a ser explorado.

Este Atlas é, portanto, uma ferramenta atualizada, que se agrega ao rol de condições favoráveis ao desenvolvimento da energia eólica no Estado da Paraíba, e será utilizado no planejamento e expansão do setor, seja nas políticas públicas, ou nas estratégias de expansão de negócio de empreendedores e investidores.

LEO GIBRAN

atlas-PBindb 5 25/11/2017 09:04:55

Sumário



1 O ESTADO DA PARAÍBA

1.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA 11
1.1.1 Demografia e Consumo de Energia Elétrica 12
1.2 INFRAESTRUTURA 15
1.2.1 Transporte Rodoviário 15
1.2.2 Modais Ferroviário e Aquaviário 15
1.2.3 Sistema Elétrico 16



FOTOS: ZIG KOCH

2 CLIMATOLOGIA

2.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA 21
2.2 REGIMES DE VENTO 22
2.2.1 Regimes Horários 23
2.2.2 Regimes Mensais e Sazonais 23
2.2.3 Regimes Interanuais 24
2.3 CHUVAS 24
2.4 TEMPERATURAS 24



3 ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE

3.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL 29
3.2 ÁREAS DE PROTEÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA 30
3.2.1 Unidades de Conservação 30
3.2.2 Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Agrícolas 32



4 TECNOLOGIA

4.1 HISTÓRICO 37
4.1.1 Energia Eólica no Brasil na Década de 2000 39
4.1.2 Expectativas Futuras 39
4.2 O AEROGERADOR 40
4.3 TECNOLOGIAS DE PROSPECÇÃO DO RECURSO EÓLICO 42
4.3.1 Instrumentos de Medição em Campanhas Eólicas 42
4.3.2 Instrumentos de Medição Remota 43



5 METODOLOGIA

5.1 O SISTEMA *MESOMAP* 45
5.1.1 Áreas de Mapeamento e Casos Característicos 46
5.2 MODELOS DE TERRENO 46
5.2.1 Modelo Digital de Relevo 46
5.2.2 Modelo de Rugosidade 47
5.2.3 Metodologia para Elaboração do Modelo de Rugosidade 47
5.3 MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS 49
5.3.1 Metodologia de Processamento 49

00-introducao.indd 6 25/11/2017 09:11:55



6

MAPAS EÓLICO

6.1 ROSAS DOS VENTOS ANUAIS **FREQUÊNCIAS X DIREÇÕES** 56

6.2 ROSAS DOS VENTOS ANUAIS **VELOCIDADES NORMALIZADAS X DIREÇÕES** 57

6.3 POTENCIAL EÓLICO **SAZONAL A 70 METROS** DE ALTURA 58

6.4 POTENCIAL EÓLICO **ANUAL A 70 METROS** DE ALTURA 59

6.5 POTENCIAL EÓLICO **SAZONAL A 100 METROS** DE ALTURA 60

6.6 POTENCIAL EÓLICO **SAZONAL A 100 METROS** DE ALTURA 61

6.7 POTENCIAL EÓLICO **SAZONAL A 120 METROS** DE ALTURA 62

6.8 POTENCIAL EÓLICO **ANUAL A 120 METROS** DE ALTURA 63

6.9 POTENCIAL EÓLICO **SAZONAL A 150 METROS** DE ALTURA 64

6.10 POTENCIAL EÓLICO **ANUAL A 150 METROS** DE ALTURA 65

6.11 DENSIDADE MÉDIA ANUAL DO AR 66

6.12 FATOR DE FORMA DE WEIBULL ANUAL 67

FOTOS: ZIG KOCH



7

ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

7.1 O POTENCIAL EÓLICO DA PARAÍBA 69

7.2 ÁREAS PROMISSORAS 71

7.2.1 Área 1: Mataraca 73

7.2.2 Área 2: Curimataú 74

7.2.3 Área 3: Serra da Borborema 76

7.2.4 Área 4: Seridó Oriental 78

7.2.5 Área 5: Seridó Ocidental 80

7.2.6 Área 6: Serra do Teixeira 82

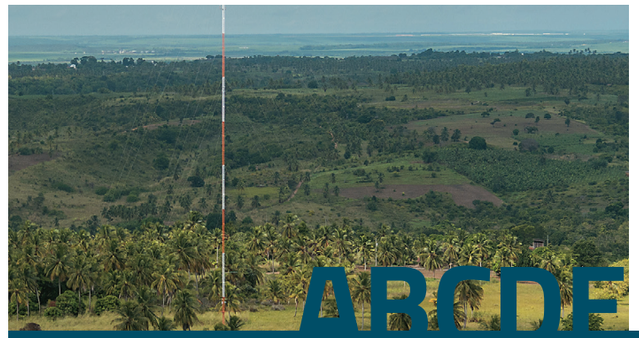
7.2.7 Área 7: São João do Tigre e Camalaú 84



8

REFERÊNCIAS

86



ABCDE

APÊNDICES

A CAMPANHA DE MEDIÇÃO ANEMOMÉTRICA 90

A.1 Torre Campina Grande 92

A.2 Torre Damião 93

A.3 Torre Juazeirinho 94

A.4 Torre Mataraca 95

A.5 Torre Pitimbu 96

A.6 Torre Teixeira 97

B GLOSSÁRIO 98

C O SISTEMA *MESOMAP* 100

C.1 O Módulo *Mass* 100

C.2 O Módulo *Windmap* 100

D FÓRMULAS ÚTEIS 101

D.1 Distribuição de Weibull 101

D.2 Lei Logarítmica e Rugosidade 102

D.3 Densidade do Ar 103

D.4 Esteira Aerodinâmica 103

D.5 Produção Anual de Energia (PAE) e Fator de Capacidade 103

D.6 Custo de Geração 103

E DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 104

00-introducao.indd 7 25/11/2017 09:15:01

Lista de Figuras e Tabelas

Figura 1.1	Jangada com as cores do Estado da Paraíba é propelida pela força do vento, em Cabedelo	**10**
Figura 1.2	Mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+[66] sobreposto ao modelo digital de elevação SRTM[25]	**11**
Figura 1.3	Eletrificação rural, em Teixeira	**12**
Figura 1.4	Oferta de energia elétrica por fontes e importação líquida no Estado da Paraíba	**12**
Figura 1.5	Consumo de energia elétrica por classes no Estado da Paraíba	**12**
Figura 1.6	Cabedelo e João Pessoa	**13**
Figura 1.7	Campina Grande, no Agreste Paraibano	**13**
Figura 1.8	Patos, no Sertão Paraibano	**13**
Figura 1.9	Araruna, no Agreste Paraibano	**13**
Figura 1.10	Teixeira, no Sertão Paraibano	**13**
Figura 1.11	Pitimbu, no Litoral Sul	**13**
Figura 1.13	Porto de Cabedelo	**15**
Figura 1.12	Rodovia PB-228, em Passagem	**15**
Figura 1.14	Estrada de ferro, em Campina Grande	**15**
Figura 1.16	Termoelétrica Campina Grande, em Campina Grande	**16**
Figura 1.15	Linhas de Transmissão em 138 e 230 kV (CHESF), em Cuité	**16**
Figura 1.17	Parque Eólico Alhandra, em Alhandra	**17**
	Parque Eólico Millennium e Complexo Eólico Vale dos Ventos (ao fundo), em Mataraca	**18**

Figura 2.1	Chuva, em Mãe d'Água	**20**
Figura 2.2	Diagrama de Van Der Hoven, escalas temporais de variabilidade do vento	**21**
Figura 2.3	Elementos da camada-limite terrestre	**21**
Figura 2.4	Fatores de Capacidade - FC estimados para projetos no entorno das torres anemométricas consideradas para a elaboração do Atlas Eólico do Estado da Paraíba. A metodologia para estimativa dos fatores de capacidade é apresentada no Capítulo 7, Item 7.1.	**22**
Figura 2.5	Circulação atmosférica	**22**
Figura 2.6	Acima: gráfico de barras com os regimes interanuais normalizados de várias regiões do Estado; abaixo: comparação entre as amplitudes de variação mensal da velocidade do vento entre as regiões de Campina Grande e Pitimbu.	**23**
Figura 2.7	Precipitação (ao fundo) sobre o município de Araruna	**24**

Figura 3.1	Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE Manguezais da Foz do Rio Mamanguape	**28**
Figura 3.2	Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, em Rio Tinto	**30**
Figura 3.3	Reserva Ecológica Mata do de Rio Vermelho, em Rio Tinto	**30**
Figura 3.4	Parque Estadual Pedra da Boca, em Araruna	**31**
Figura 3.5	Parque Estadual do Pico do Jabre, em Maturéia	**31**
Figura 3.6	Área de Proteção Ambiental das Onças, em São João do Tigre	**31**
Figura 3.7	Terra Indígena Potiguara, em Baía da Traição	**32**
Figura 3.8	Região do Quilombo Matão, em Gurinhém	**33**
Figura 3.9	Assentamento da Reforma Agrária, em Campina Grande	**33**

Figura 4.1	Aerogerador, em Mataraca	**36**
Figura 4.2	Modelo de moinho persa (Deutsches Museum, Munique, Alemanha)	**37**
Figura 4.3	Moinhos de vento, em Greetsiel, Alemanha	**37**
Figura 4.4	Bombeamento de água por moinho de múltiplas pás, EUA	**38**
Figura 4.5	Medição anemométrica realizada na altura de nacele	**39**
Figura 4.6	Dimensões típicas de turbinas disponíveis no mercado, comparadas às da aeronave Airbus A380	**40**
Figura 4.7	Transporte das pás de um aerogerador	**40**
Figura 4.8	Evolução mundial da capacidade instalada de geração a partir da fonte eólica	**40**
Figura 4.9	Evolução nacional da capacidade instalada de geração a partir da fonte eólica	**40**
Figura 4.10	Junção da pá à nacele de um aerogerador	**41**
Figura 4.11	Abertura de acessos, área de montagem e construção da base da torre	**41**
Figura 4.12	Torre metálica e nacele aguardando montagem	**41**
Figura 4.13	Montagem de uma torre de concreto modular	**41**
Figura 4.14	Parque em operação e torre de medição anemométrica	**41**
Figura 4.15	Anemômetro de copo e *Windvane*	**42**
Figura 4.16	LIDAR e torre de medição anemométrica (ao fundo)	**43**

Figura 5.1	Torre de medição anemométrica e aerogeradores, em Mataraca	**44**
Figura 5.2	Representação esquemático do processo *MesoMap*	**45**
Figura 5.3	Perfil da elevação na direção leste para oeste, extraído do modelo de relevo SRTM	**46**
Figura 5.4	Exemplos de classes de rugosidade de acordo com o uso e cobertura do solo:	**48**
Figura 5.5	Torre de medição anemométrica considerada no mapeamento do Atlas Eólico do Estado da Paraíba, em Campina Grande	**49**

atlas-PB.indb 8 25/11/2017 09:05:19

Figura 5.6	Aerogeradores em Mataraca.	50
Figura 6.1	Torre de medição anemométrica, em Araruna	55
Figura 7.1	Parque Eólico Millennium, em Mataraca	68
Figura 7.2	Curvas de potência consideradas no cálculo de integração, representativa das máquinas comercializadas no Brasil	71
Figura 7.3	Aproveitamento do potencial eólico do litoral norte da Paraíba	71
Figura 7.4	Torre de medição anemométrica, em Araruna	74
Figura 7.5	Município de Damião	74
Figura 7.6	Rodovia PB-133, em Cacimba de Dentro	74
Figura 7.7	Área ao norte do município de Dona Inês	76
Figura 7.8	Área no município de Dona Inês	76
Figura 7.9	Área ao norte do município de Dona Inês	76
Figura 7.10	Torre de medição anemométrica do projeto de aproveitamento eólico Picuí, cadastrado na ANEEL	78
Figura 7.11	Área de futuro aproveitamento eólico em Picuí, cadastrado na ANEEL	78
Figura 7.12	Área dedicada à agricultura, em Picuí	79
Figura 7.13	Relevo acidentado, em Passagem	81
Figura 7.14	Torre de medição anemométrica, em Santa Luzia	81
Figura 7.15	Torre de medição anemométrica do projeto de aproveitamento eólico Ventura, cadastrado na ANEEL. Rodovia PB-306, em Teixeira	82
Figura 7.16	Região de chapada, em Cacimbas	83
Figura 7.17	Rodovia PB-240, em São João do Tigre	85
Figura 7.18	Caatinga, em São João do Tigre	85
Figura 8.1	Torre de medição anemométrica, em Santa Luzia	86
Figura A.1	Fluxograma resumo das atividades de análise dos dados anemométricos	91
Figura A.2	Torre de medição anemométrica em Campina Grande	92
Figura A.3	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Campina Grande	92
Figura A.4	Torre de medição anemométrica em Damião	93
Figura A.5	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Damião	93
Figura A.6	Torre de medição anemométrica em Juazeirinho	94
Figura A.7	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre	94
Figura A.8	Torre de medição anemométrica em Mataraca	95
Figura A.9	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Mataraca	95
Figura A.10	Torre de medição anemométrica em Pitimbu	96
Figura A.11	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Pitimbu	96
Figura A.12	Torre de medição anemométrica em Teixeira	97
Figura A.13	Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Teixeira	97
Figura C.1	Domínio tridimensional de cálculo do *WindMap*: a malha concentra mais elementos na região próxima à superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos	100
Figura D.1	Distribuições de Weibull e Rayleigh	102
Figura D.2	Fluxo de potência disponível no vento livre de obstáculos (W/m²) em função de sua velocidade média e do fator de forma de Weibull	102

Tabela 1.1	Maiores municípios do Estado da Paraíba, por população	13
Tabela 1.2	Maiores municípios do Estado da Paraíba, por economia	13
Tabela 1.3	Usinas hidrelétricas em operação no Estado da Paraíba	16
Tabela 1.4	Usinas termelétricas em operação no Estado da Paraíba	16
Tabela 1.5	Usinas eólicas em operação no Estado da Paraíba	17
Tabela 3.1	Siglas utilizadas para as diversas áreas especiais e unidades de conservação	34
Tabela 3.2	Unidades de conservação de proteção integral do Estado da Paraíba	34
Tabela 3.3	Unidades de conservação de uso sustentável do Estado da Paraíba	34
Tabela 3.4	Quilombos do Estado da Paraíba	34
Tabela 3.5	Terras indígenas do Estado da Paraíba	34
Tabela 5.1	Faixas de Rugosidade por classes de uso/cobertura do solo	47
Tabela A.1	Características geométricas das torres de medição empregadas na campanha anemométrica do Atlas	90
Tabela A.2	Integração do potencial energético da fonte eólica no Estado da Paraíba	91
Tabela A.3	Características gerais da torre Campina Grande	92
Tabela A.4	Sumário das medições na torre Campina Grande, ajustadas para o longo prazo	92
Tabela A.5	Características gerais da torre Damião	93
Tabela A.6	Sumário das medições na torre Damião, ajustadas para o longo prazo	93
Tabela A.7	Características gerais da torre Juazeirinho	94
Tabela A.8	Sumário das medições na torre Juazeirinho, ajustadas para o longo prazo	94
Tabela A.9	Características gerais da torre Mataraca	95
Tabela A.10	Sumário das medições na torre Mataraca, ajustadas para o longo prazo	95
Tabela A.11	Características gerais da torre Pitimbu	96
Tabela A.12	Sumário das medições na torre Pitimbu, ajustadas para o longo prazo	96
Tabela A.13	Características gerais da torre Teixeira	97
Tabela A.14	Sumário das medições na torre Teixeira, ajustadas para o longo prazo	97
Tabela D.1	Função Gama para diferentes valores de k	102

1 O Estado da Paraíba



ZIG KOCH

Figura 1.1 Jangada com as cores do Estado da Paraíba é propelida pela força do vento, em Cabedelo

adas-PBAnd6 10 25/11/2017 09:05:22

1.1 Caracterização Geográfica

Localizado na região Nordeste, entre os paralelos 6º1'33"S e 7º9'18"S e meridianos 34º47'34"O e 38º45'56"O, o Estado da Paraíba é formado por 223 municípios, ocupando área total de 56.469,8 km² (0,66% da área nacional)[45]. Seus limites são formados pelo Oceano Atlântico ao leste, o Estado de Pernambuco ao sul, Ceará ao oeste e Rio Grande do Norte ao norte.

O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. Cerca de 90% do território situa-se abaixo dos 600 m de altitude, com as maiores elevações na região central do Estado, ao longo do Planalto da Borborema. Na faixa litorânea (117 km de comprimento), com clima tropical úmido, predominam as falésias, com altitudes não maiores que 60 m, abrigando diversas áreas de proteção integral e uso sustentável com remanescentes de Mata Atlântica. A Depressão Sertaneja domina o relevo no oeste do Estado, caracterizado pela caatinga e o clima semiárido, com elevações variando principalmente entre as cotas 100 e 400 metros.

Em função da baixa pluviosidade característica do Estado, predominam, na hidrografia, os rios intermitentes. Entre os rios perenes, destacam-se os rios Piancó e Piranhas, no semiárido, e os rios Paraíba e Mamanguape, que correm do Planalto da Borborema para o litoral do Estado. De forma a mitigar os efeitos das estações de seca, muitos açudes e barragens foram construídos ao longo do território, sendo o Açude Coremas, na cidade homônima, o principal.

A Figura 1.2 apresenta uma síntese das características geográficas do Estado da Paraíba, por meio do mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+ sobreposto ao modelo digital de elevação.

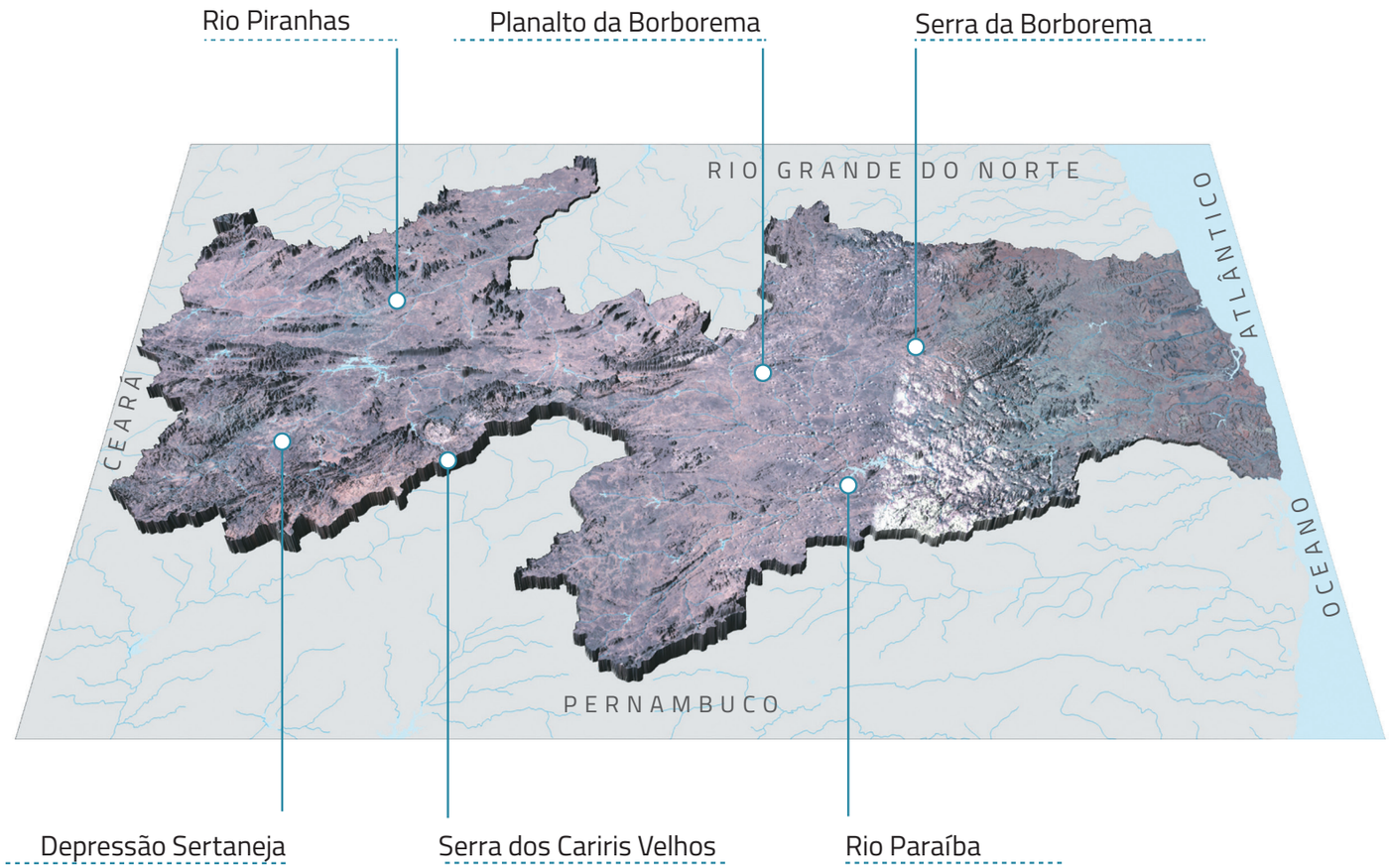


Figura 1.2 Mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+[66] sobreposto ao modelo digital de elevação SRTM[25]

atlas-PB.indb 11 25/11/2017 09:05:25

1.1.1 Demografia e Consumo de Energia Elétrica

Segundo dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população do Estado da Paraíba era de 3.766.528 habitantes em 2010, registrando nessa década taxa de crescimento de 0,89% a.a., abaixo da média brasileira verificada no mesmo período, que foi de aproximadamente 1,17% a.a. Para 2016, a estimativa da população residente no Estado foi de 3.999.415 habitantes[49], equivalente a 1,94% da população nacional. O consumo de energia elétrica na Paraíba foi de 4,29 TWh durante o ano de 2016. Desse montante, 80,1% foi destinado aos setores residencial, comercial e público, resultando em um consumo médio de 860,3 kWh/ano por habitante*. No que se refere à taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica, foi registrado no período 2003-2013 o valor de 5,0% a.a. e retração de 2,72% a.a. entre 2013 e 2016.

Com tendência similar à observada na maioria dos estados brasileiros, a população da Paraíba está fortemente concentrada em áreas urbanas: 46,1% residem em um dos 10 municípios com mais de 50.000 habitantes (7,2% do território paraibano), ou seja, em um ambiente de densidade populacional equivalente a 444,2 hab/km², ao passo que a distribuição verificada nos demais 213 municípios (53,9% da população estadual) é de 40,3 hab/km². Os dados demonstram a disparidade entre o povoamento do interior paraibano e os principais centros urbanos[48].

O consumo médio *per capita* de energia elétrica (residencial, comercial e público somados) nesses 10 grandes centros também é aproximadamente o dobro do verificado nos demais centros: 1.186,7 kWh/ano, contra 576,7 kWh/ano por residente dos demais municípios[33]. Nota-se ainda a retração de um terço do consumo industrial no Estado nos últimos três anos (2014-2016) e a estagnação do consumo rural nos últimos cinco anos, que encerrou o período anterior de rápido crescimento (9,6% a.a.) registrado nos oito anos entre 2003 e 2012.

O Produto Interno Bruto – PIB do Estado, avaliado em R$ 35,44 bilhões em 2011 (0,9% do PIB brasileiro), cresceu a um ritmo de 12,3% a.a. no período 2002-2011, superior ao índice nacional, de 3,88% a.a., verificado no mesmo período[46]. Os 10 municípios paraibanos com maior PIB em 2011, todos com mais de 400 milhões de reais, concentram cerca de dois terços (65,8%) da produção de riquezas. Nesses municípios, a renda média anual *per capita* é de R$ 13.809,02, contra a média de R$ 5.836,56 nos demais 213 municípios[48]. As principais contribuições à economia paraibana provêm do Comércio e Serviços (74,9%, sendo 27,5% devido à Administração Pública), Indústria (20,1%) e Agropecuária (5,0%)[48]. A evolução do consumo de energia elétrica[33] e dos dados econômicos[52], apurados no período 2003-2011, denota um incremento marginal médio de R$ 15,4 bilhões ao PIB paraibano a cada terawatt-hora consumido.



Figura 1.3 Eletrificação rural, em Teixeira

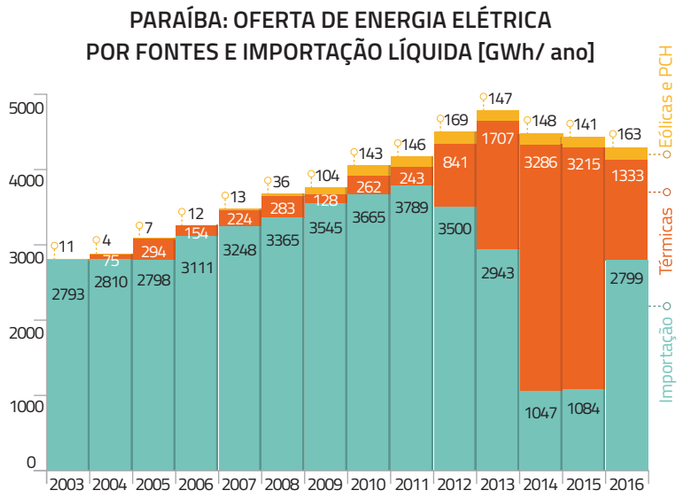


Figura 1.4 Oferta de energia elétrica por fontes e importação líquida no Estado da Paraíba

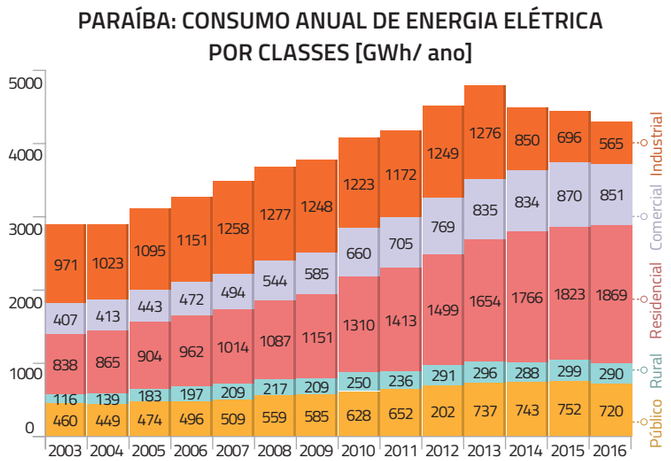


Figura 1.5 Consumo de energia elétrica por classes no Estado da Paraíba

FONTE: ANEEL[2], CCEE[19], EPE[30], ENERGISA[33]

01-estado.indd 12 28/11/2017 10:09:59

FOTOS: ZIG KOCH



Figura 1.6 Cabedelo e João Pessoa



Figura 1.7 Campina Grande, no Agreste Paraibano



Figura 1.8 Patos, no Sertão Paraibano



Figura 1.9 Araruna, no Agreste Paraibano



Figura 1.10 Teixeira, no Sertão Paraibano



Figura 1.11 Pitimbu, no Litoral Sul

Tabela 1.1 Maiores municípios do Estado da Paraíba, por população

	MUNICÍPIOS	MESORREGIÃO	POPULAÇÃO 2013	ÁREA [km²]	CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA 2013 [GWh]
1	João Pessoa	Mata Paraibana	723 515	211	1 649
2	Campina Grande	Agreste Paraibano	385 213	594	399
3	Santa Rita	Mata Paraibana	120 310	727	196
4	Patos	Sertão Paraibano	100 674	473	120
5	Bayeux	Mata Paraibana	99 716	32	75
6	Sousa	Sertão Paraibano	65 803	739	91
7	Cajazeiras	Sertão Paraibano	58 446	566	77
8	Cabedelo	Mata Paraibana	57 944	32	129
9	Guarabira	Agreste Paraibano	55 326	166	86
10	Sapé	Mata Paraibana	50 143	316	38
		TOTAL 10 MAIORES	1 717 090	3 855	2 861
		PARAÍBA	3 914 421	56 470	4 605
		BRASIL	201 032 714	8 515 767	516 418

FONTE: AESA[1], ANEEL[2], EPE[30], IBGE[47][48], IDEME[52]

Tabela 1.2 Maiores municípios do Estado da Paraíba, por economia

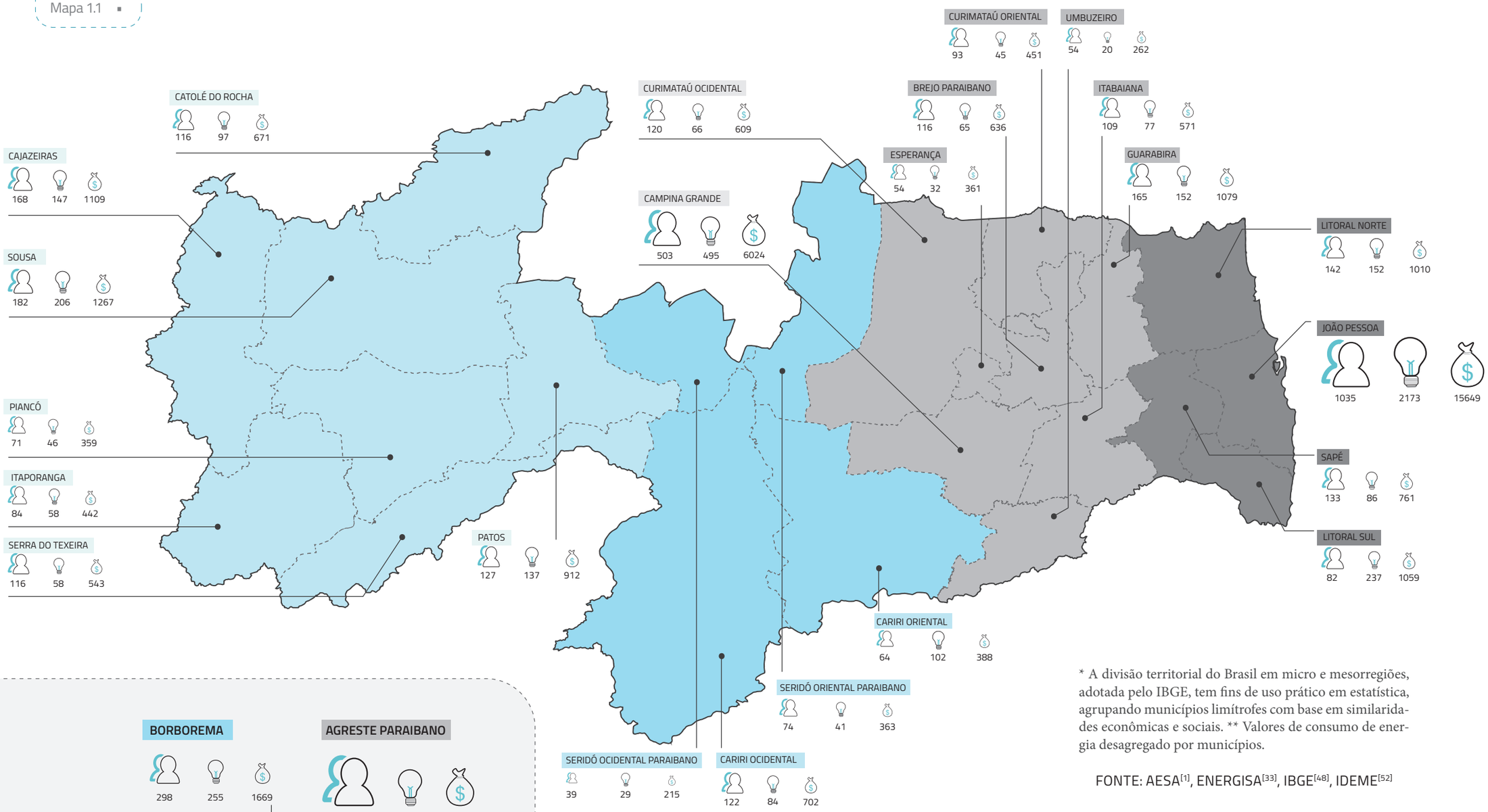
	Municípios	Mesorregião	PIB 2011 [R$ 1000]	População 2013	Consumo Energia Elétrica 2013 [GWh]
1	João Pessoa	Mata Paraibana	10 107 596	723 515	1 649
2	Campina Grande	Agreste Paraibano	5 339 761	385 213	399
3	Cabedelo	Mata Paraibana	2 801 675	57 944	129
4	Santa Rita	Mata Paraibana	1 402 812	120 310	196
5	Bayeux	Mata Paraibana	836 191	99 716	75
6	Patos	Sertão Paraibano	768 110	100 674	120
7	Sousa	Sertão Paraibano	629 597	65 803	91
8	Cajazeiras	Sertão Paraibano	531 715	58 446	77
9	Guarabira	Agreste Paraibano	490 084	55 326	86
10	Conde	Mata Paraibana	406 872	21 400	103
		TOTAL 10 MAIORES	23 314 413	1 688 347	2 926
		PARAÍBA	35 443 832	3 914 421	4 605
		BRASIL	4 143 000 000	201 032 714	516 418

FONTE: AESA[1], ANEEL[2], EPE[30], IBGE[47][48], IDEME[52]

atlas-PB.indb 13 25/11/2017 09:05:29

Paraíba: População, consumo de energia e geração de riqueza por micro e mesorregiões* do IBGE

Mapa 1.1 ▪



* A divisão territorial do Brasil em micro e mesorregiões, adotada pelo IBGE, tem fins de uso prático em estatística, agrupando municípios limítrofes com base em similaridades econômicas e sociais. ** Valores de consumo de energia desagregado por municípios.

FONTE: AESA[1], ENERGISA[33], IBGE[48], IDEME[52]

POPULAÇÃO (milhares de habitantes)

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM 2013 (GWh)**

PRODUTO INTERNO BRUTO - PIB EM 2011 (R$ milhões)

atlas-PB.indb 14 25/11/2017 09:05:30

1.2 Infraestrutura

1.2.1 Transporte Rodoviário

O Estado da Paraíba possui mais de 1.300 km de rodovias sob jurisdição exclusivamente federal, 5.000 km de rodovias pertencentes à malha estadual e aproximadamente 29.000 km de vias sob jurisdição municipal[27][28]. Há ainda mais de 400 km de estradas planejadas a serem implantadas por todas as esferas governamentais. Considerando-se os mapas de vento produzidos neste estudo (Capítulo 6), verificou-se que mais de 90% das áreas com vento médio anual superior a 7,0 m/s (até 150 metros de altura) é atendida por estradas a distâncias* menores que 5 km.

FOTOS: ZIG KOCH



Figura 1.12 Rodovia PB-228, em Passagem

1.2.2 Modais Ferroviário e Aquaviário

A Transnordestina Logística - TLSA é responsável pela concessão das linhas ferroviárias que atendem a Paraíba. O Estado conta com dois ramais principais em bitola métrica: um no sentido norte-sul, pela região da Zona da Mata (litoral) e outro interligando o território de leste a oeste. As linhas conectam-se aos principais portos do Nordeste, inclusive ao Porto de Cabedelo, este último por meio da malha da TLSA. As principais cargas transportadas por estes modais pertencem ao agronegócio e à indústria mineral.

* Cálculo utilizando distância euclidiana.



Figura 1.13 Porto de Cabedelo



Figura 1.14 Estrada de ferro, em Campina Grande

atlas-PBindb 15 25/11/2017 09:05:51

1.2.3 Sistema Elétrico

A Paraíba conta com 640,1 MW de potência instalada em seu parque de geração elétrica, majoritariamente térmico (88,5%). As usinas eólicas representam outros 69 MW (10,8%)[2], quase todos pertencentes ao complexo instalado no município de Mataraca, no Litoral Norte. As listagens das usinas de geração elétrica instaladas no Estado são apresentadas nas Tabelas 1.3 a 1.5.

O sistema de transmissão do Estado, operado pela CHESF, é interligado em 230 kV ao Sistema Interligado Nacional – SIN, por meio de subestações nas cidades de João Pessoa, Campina Grande e Coremas. O sistema é distribuído primariamente em 69 kV para os demais centros de carga[3][33], exceto por uma interligação em 138 kV com o Rio Grande do Norte operada pela CHESF[73]. Os mapas de distribuição dos ventos apresentados nos próximos capítulos deste Atlas indicam que mais de 90% das áreas do Estado, que dispõe de ventos com velocidade média anual superior a 7,0 m/s, a até 150 metros de altura, encontram-se a uma distância* inferior a 40 km de uma das 79 subestações existentes*.

Os municípios paraibanos estão divididos em duas áreas de concessão distintas e atualmente operadas pelas empresas Energisa Paraíba e Energisa Borborema. As respectivas áreas de concessão são representadas no mapa de infraestrutura do Estado (Mapa 1.2).

* Distância euclidiana normal, não geodésica.

FOTOS: ZIG KOCH



Figura 1.15 Linhas de Transmissão em 138 e 230 kV (CHESF), em Cuité

Tabela 1.3 Usinas hidrelétricas em operação no Estado da Paraíba

USINAS HIDRELÉTRICAS EM OPERAÇÃO		
USINA	RIO	MW
Coremas	Piancó	3,52
Boqueirão	Paraíba	1,00
	TOTAL	4,52

FONTE: ANEEL[2]

Figura 1.16 Termoelétrica Campina Grande, em Campina Grande



Tabela 1.4 Usinas termelétricas em operação no Estado da Paraíba

USINAS TERMELÉTRICAS EM OPERAÇÃO		
USINA	COMBUSTÍVEL	MW
Aeroporto Int. Pres. Castro Pinto	Óleo Diesel	0,6
Campina Grande	Óleo Combustível	169,1
Giasa II	Bagaço de Cana de Açúcar	30
Japungu	Bagaço de Cana de Açúcar	16,8
Tabu	Bagaço de Cana de Açúcar	8,4
Termonordeste	Óleo Combustível	170,8
Termoparaíba	Óleo Combustível	170,8
	TOTAL	566,5

FONTE: ANEEL[2]

atlas-PBinfo 16
25/11/2017 09:05:32

Tabela 1.5 Usinas eólicas em operação no Estado da Paraíba

USINAS EÓLICAS EM OPERAÇÃO					
USINA	MUNICÍPIO	MW	USINA	MUNICÍPIO	MW
Albatroz	Mataraca	4,8	Coelhos III	Mataraca	4,8
Alhandra	Alhandra	6,3	Coelhos IV	Mataraca	4,8
Atlântica	Mataraca	4,8	Mataraca	Mataraca	4,8
Camurim	Mataraca	4,8	Millennium	Mataraca	10,2
Caravela	Mataraca	4,8	Presidente	Mataraca	4,8
Coelhos I	Mataraca	4,8	Vitória	Mataraca	4,5
Coelhos II	Mataraca	4,8			
				TOTAL	69,0

FONTE: ANEEL[2]

Figura 1.17 Parque Eólico Alhandra, em Alhandra

ZIG KOCH



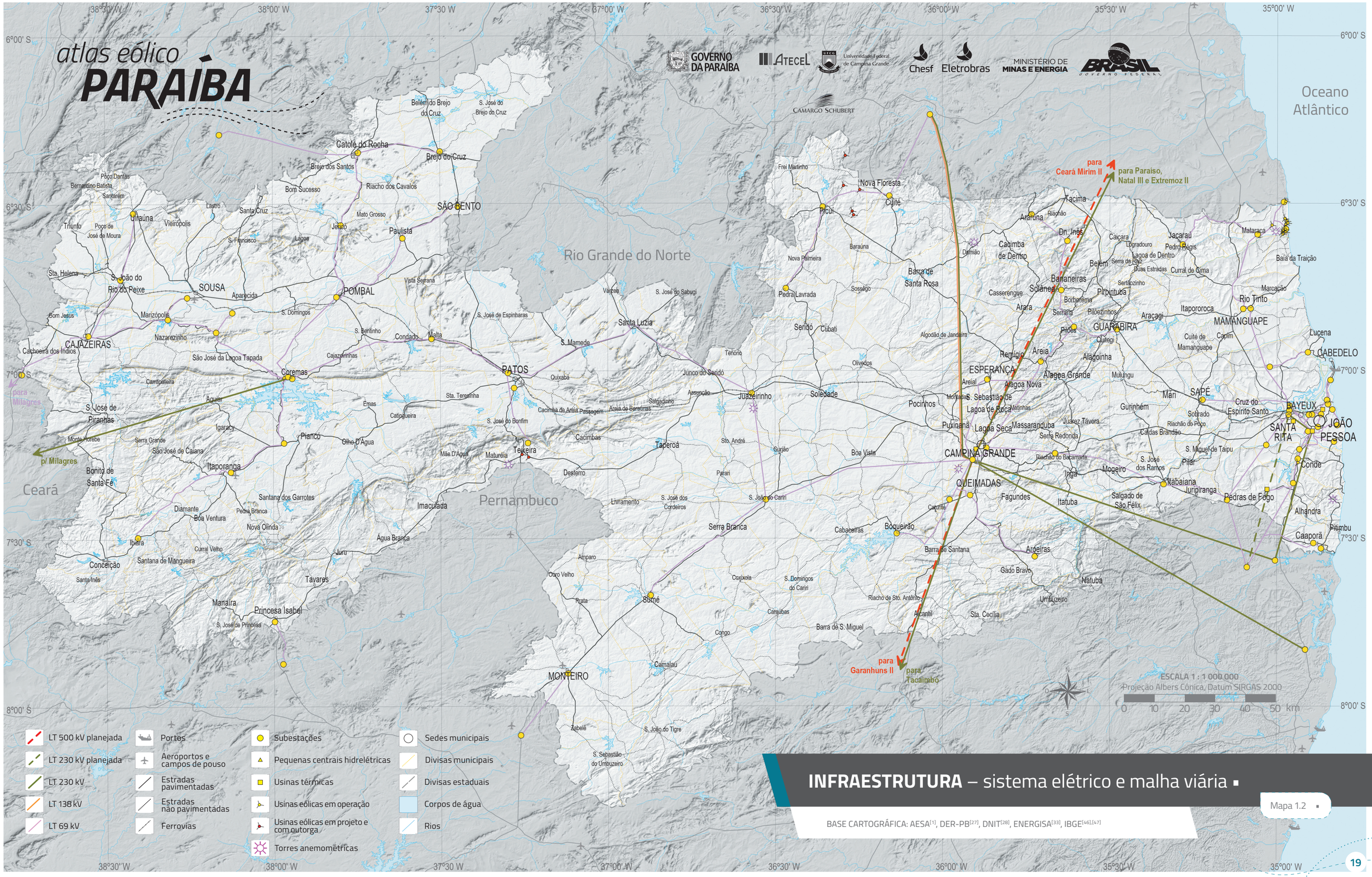
adm-PB.indb 17 25/11/2017 09:05:31



Figura 1.18 Parque Eólico Millennium e Complexo Eólico Vale dos Ventos (ao fundo), em Mataraca

ZIG KOCH

atlas-PB.indb 18 25/11/2017 09:05:44



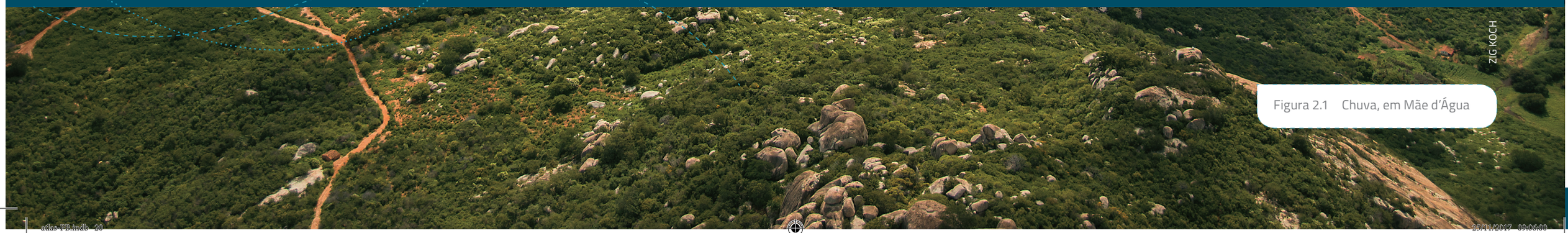
INFRAESTRUTURA – sistema elétrico e malha viária ▪

Mapa 1.2 ▪

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], IBGE[46],[47]

01-estado.indd 19 25/11/2017 09:17:19

2 Climatologia



ZIG KOCH

Figura 2.1 Chuva, em Mãe d'Água

2.1 Circulação Atmosférica

A circulação atmosférica global é resultado do ciclo diurno e sazonal do aquecimento desigual da superfície da Terra, devido à distribuição irregular das massas de terra, água e gelo.

O vento apresenta estruturas com aspecto de macroescala (escala global e continental), mesoescala (escala regional) e microescala (escala de proporções locais, com poucos quilômetros de extensão). O comportamento do vento na macroescala é influenciado pelo gradiente de insolação entre os polos e equador, e pelo efeito de rotação da Terra (Efeito Coriolis). A interação desses dois fenômenos resulta no vento geostrófico. Na mesoescala, o comportamento é modulado pela topografia e pela interação terra-mar. A topografia e a consequente variabilidade da temperatura geram os ventos catabáticos. Da interação terra-mar, decorre a brisa marítima. Na microescala, os fatores mais importantes são a variabilidade da cobertura vegetal, que influencia na velocidade do vento próxima à superfície, e a topografia local, que pode canalizar ou desviar o escoamento do vento.

Para o aproveitamento do recurso eólico, é necessário um estudo aprofundado do vento no local desejado. Além do comportamento horizontal, o vento também apresenta perfil de escoamento que varia com a altitude e o tempo. O conhecimento do perfil vertical do vento é muito importante para o desenvolvimento do projeto eólico, como pode ser visto na Figura 2.3. A camada do vento mais próxima à superfície apresenta velocidades mais baixas e turbulência mais alta, por estar em contato direto com os diferentes tipos de solo, topografia e obstruções (construções, vegetação alta, etc.). Com o aumento da altura, o atrito causado por esses elementos diminui e a velocidade do vento aumenta gradativamente. Esse aumento da velocidade com a altura caracteriza o conceito do "perfil de camada-limite", função regida pela rugosidade local do terreno e pela estabilidade térmica vertical da atmosfera. Acima da camada limite, a circulação atmosférica é modulada por efeitos de meso e macroescala.

O comportamento do vento na escala temporal é caracterizado por variabilidades observadas em diferentes intervalos ou janelas de tempo, desde períodos inferiores a um minuto até períodos de muitos anos. O espectro de variação da energia do vento é mostrado na Figura 2.2, que apresenta o Diagrama de Van Der Hoven. No lado direito do gráfico, nota-se um pico referente à grande variabilidade no curto período de tempo (de segundos a poucos minutos), associado à alta intensidade de turbulência; movendo-se para a esquerda, existe uma faixa de baixa intensidade de variação no espectro que vai de alguns minutos a aproximadamente 5 horas; na sequência, observa-se o pico diurno de insolação no espectro de 12 horas e, por fim, outro pico de vários dias, associado a fenômenos de escala sinótica. A janela espectral de 10 minutos a algumas horas, por apresentar baixa variação na energia, é o melhor intervalo de tempo para se medir o vento para fins de avaliação do potencial eólico.

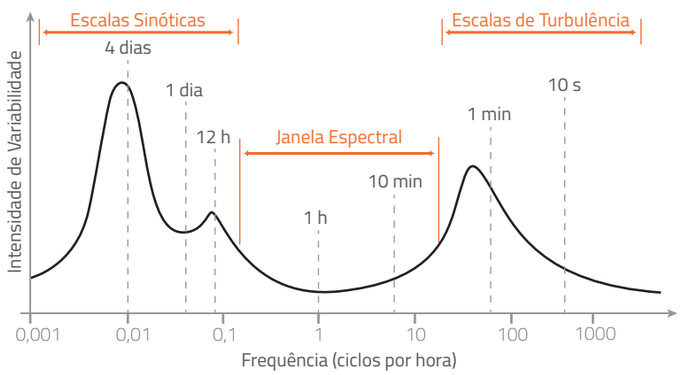


Figura 2.2 Diagrama de Van Der Hoven, escalas temporais de variabilidade do vento

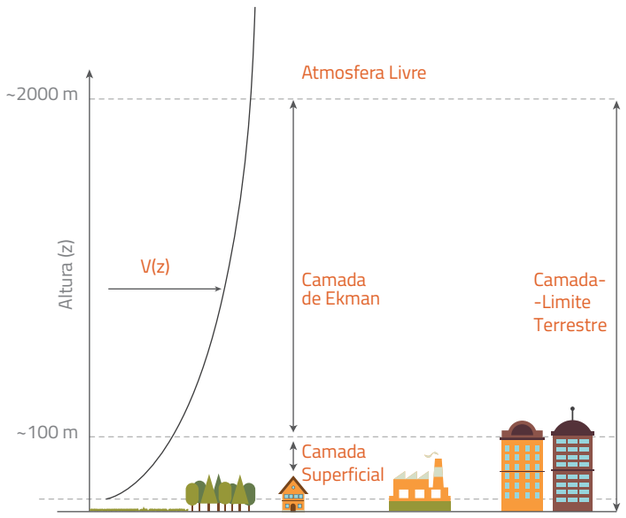


Figura 2.3 Elementos da camada-limite terrestre

2.2 Regimes de Vento

O comportamento sazonal e interanual do vento é o resultado da interação de todos os fenômenos da circulação atmosférica global, em todos os níveis de grandeza, juntamente com outros processos físicos, químicos e biológicos. No Estado da Paraíba o comportamento do vento se define primariamente pelos ventos alísios e pelo anticiclone subtropical do Atlântico Sul, fenômenos que modulam a direção do vento predominante, e pelos efeitos de brisa terrestre e marinha, que afetam as regiões próximas ao litoral.

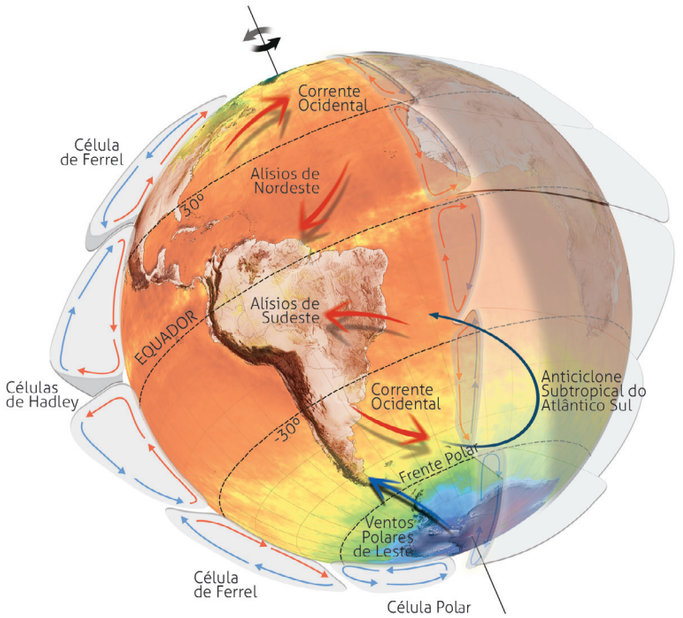
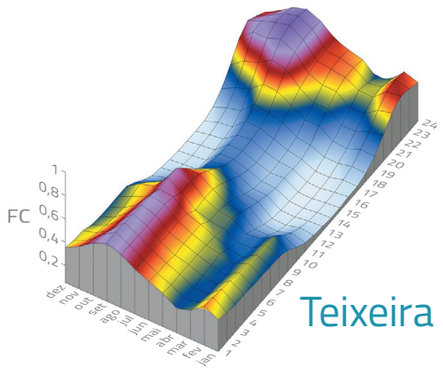
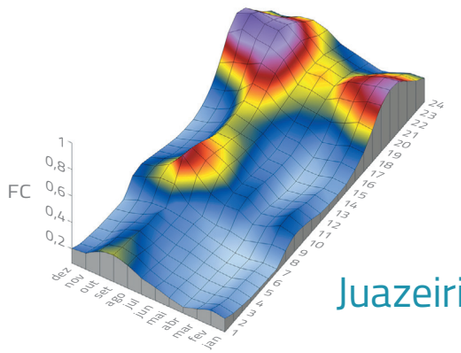
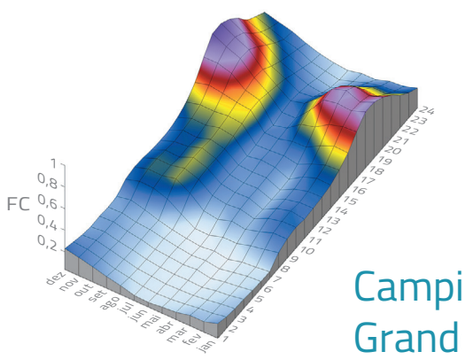
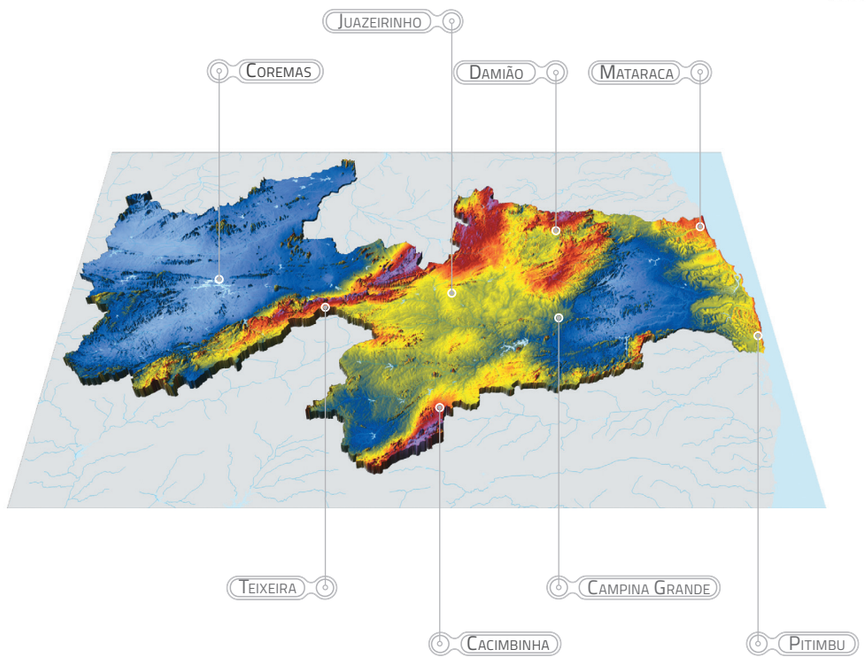


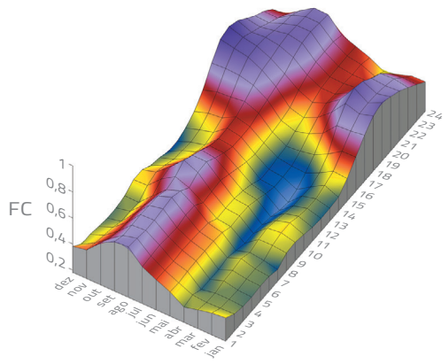
Figura 2.4 Circulação atmosférica

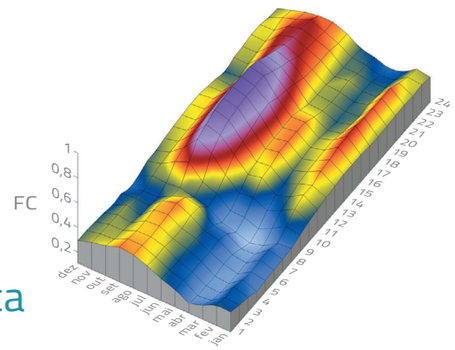












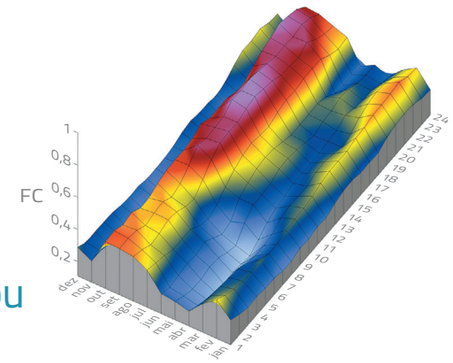


Figura 2.5 Fatores de Capacidade - FC estimados para projetos no entorno das torres anemométricas consideradas para a elaboração do Atlas Eólico do Estado da Paraíba. A metodologia para estimativa dos fatores de capacidade é apresentada no Capítulo 7, Item 7.1

atlas-PB.indb 22 25/11/2017 09:06:07

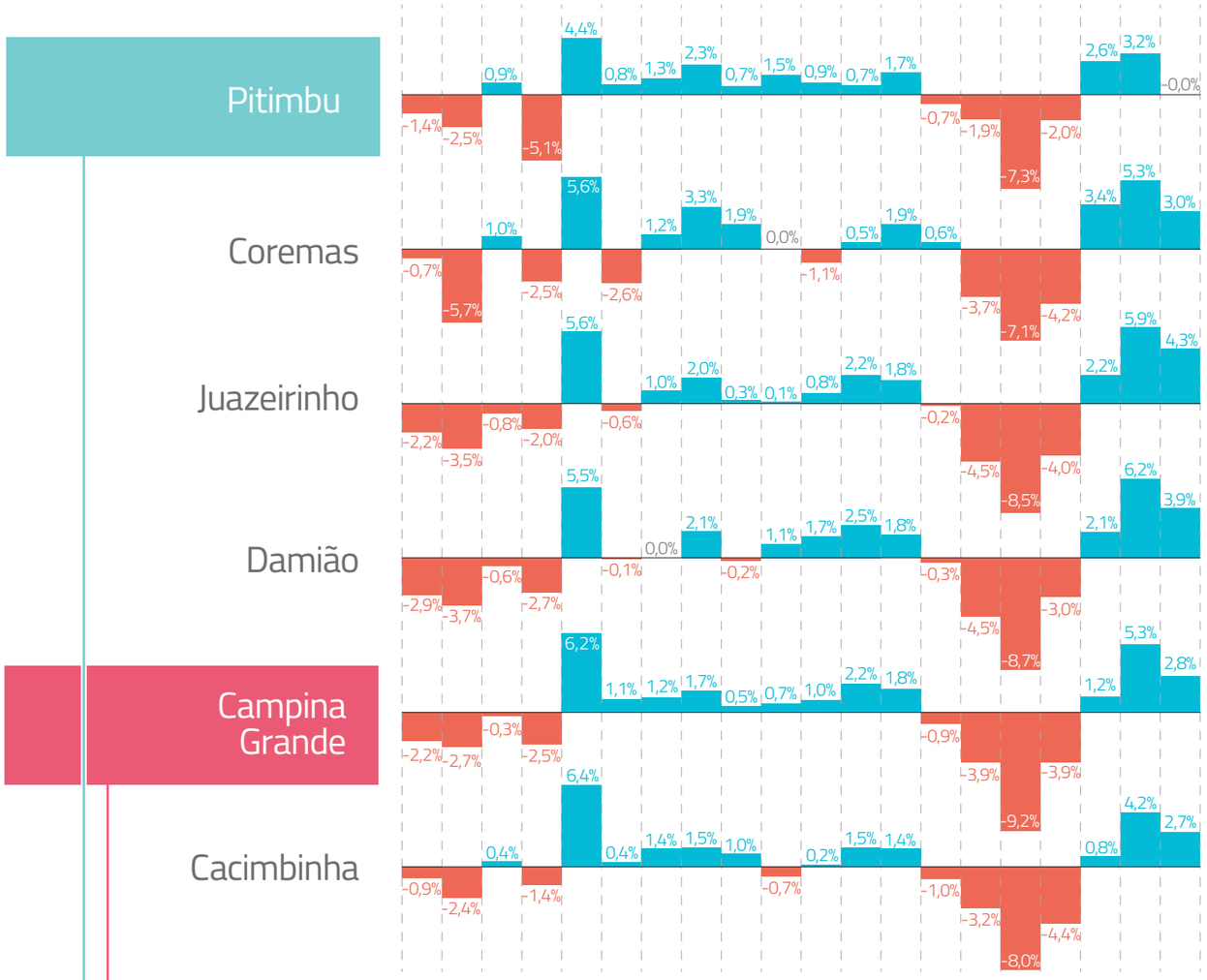
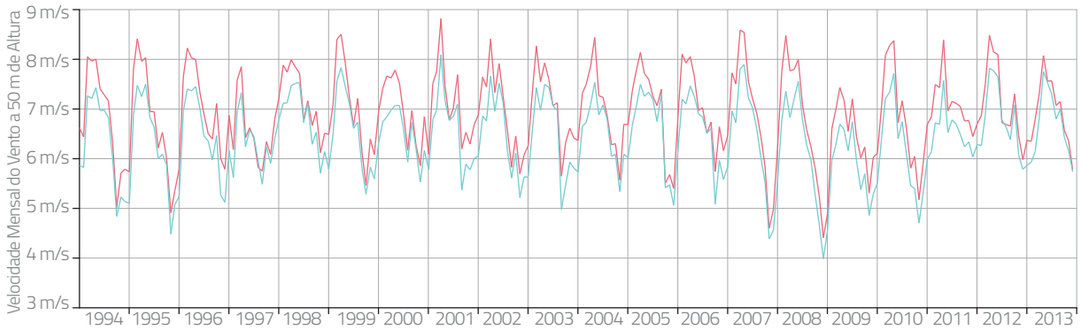


Figura 2.6 Acima: gráfico de barras com os regimes interanuais normalizados de várias regiões do Estado; abaixo: comparação entre as amplitudes de variação mensal da velocidade do vento entre as regiões de Campina Grande e Pitimbu



2.2.1 Regimes Horários

A variabilidade diurna do vento no estado da Paraíba caracteriza-se por duas naturezas distintas. A primeira deve-se à forte influência das brisas marinhas e terrestres, que se intensificam no final da tarde e ocorrem próximo ao litoral. A segunda, deve-se à aceleração nas chapadas e montanhas, causada pela estratificação térmica da atmosfera estável e dissipação da turbulência algumas horas após o pôr do sol.

A Figura 2.5 representa graficamente a variabilidade do vento das 6 torres anemométricas que compuseram a rede de medições utilizadas para validar este Atlas Eólico, em termos do fator de capacidade de geração eólica, estimado a partir de curvas de potência representativas de aerogeradores disponíveis no mercado nacional. Mais informações sobre as características das torres são apresentadas no Capítulo 5, Item 5.3.

Conforme visto na figura, as torres anemométricas de Mataraca e Pitimbu, na Mata Paraibana, apresentam regime diurno bem definido, com forte aceleração do vento no final da tarde e início da noite em decorrência das brisas marinhas. Na torre anemométrica de Damião, que se encontra em uma região com aproximadamente 600 metros de altitude no Agreste Paraibano, observa-se forte aceleração do vento após o pôr do sol, estendendo-se até o nascer do dia seguinte. Na torre Teixeira, instalada no extremo oeste da Serra da Borborema, a 788 metros de altitude, observou-se regime noturno semelhante, mas com reduzido potencial eólico durante o dia. A torre de Campina Grande, também no Agreste Paraibano, mostra velocidade elevada do vento nas primeiras horas após o pôr do sol, seguida por desaceleração abrupta durante a madrugada e manhã. Em Juazeirinho, na região leste da Borborema, observa-se, novamente, rápida aceleração da velocidade do vento no final da tarde até o início da madrugada, quando há rápida desaceleração.

2.2.2 Regimes Mensais e Sazonais

O Estado da Paraíba apresenta uma sazonalidade bem definida, com ventos máximos na primavera e verão.

As torres anemométricas de Mataraca e Pitimbu apresentam forte aceleração durante o período mais frio e durante a transição para o período mais seco do ano, começando no inverno e se intensificando na primavera. Nas torres de Damião e Campina Grande, o potencial se intensifica de maio a novembro, na época mais fria e seca. Juazeirinho indica ventos mais fracos durante o outono, e a torre de Teixeira também apresenta maior potencial de maio a novembro.

Conforme discutido na introdução deste capítulo e verificado no Mapa 6.1, no Capítulo 6, a direção predominante do vento no Estado é

atlas-PBindb 23 25/11/2017 09:06:07

leste*. Também no Capítulo 6 são apresentados os mapas de velocidades médias anuais a 70, 100, 120 e 150 metros, e os mapas de velocidades médias sazonais nas quatro alturas.

Ainda que as medições apresentadas sejam representativas de suas regiões, é importante ressaltar que suas variabilidades horizontal, vertical e temporal são particulares dos pontos de instalação das torres, por conta da topografia local, obstruções a barlavento e vegetação, elementos que podem causar impacto significativo no escoamento do vento.

2.2.3 Regimes Interanuais

A climatologia envolvida em um período de análise interanual de longo prazo, da ordem de décadas, está sujeita a fenômenos sinóticos cíclicos que ocorrem na Terra, como é o caso dos renomados *El Niño* e *La Niña*, relacionados a eventos de grande variação de temperatura do Oceano Pacífico e a impactos globais com alterações na circulação atmosférica. Esses fenômenos são precursores de grandes mudanças nos campos de temperatura, pressão e umidade relativa, que afetam diretamente o comportamento do vento no Nordeste Brasileiro.[79]

A Figura 2.6 ilustra a variabilidade dos regimes interanuais para um período de 20 anos utilizando a base de dados do modelo de reanálise atmosférica global MERRA (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications*), desenvolvido pela NASA, para os pontos mais próximos das 6 torres anemométricas. Esse período foi escolhido por ser representativo do prazo de operação de usinas eólicas. A variabilidade se mostra pequena, ao redor de 5%, para praticamente todo o período analisado, com exceção de duas ocorrências. O ano de 1988 apresentou recuperação acentuada quando comparado aos anos anteriores, enquanto o ano de 2009 ficou marcado como um dos períodos históricos de maior déficit do recurso eólico em grande parte do Nordeste Brasileiro.

* Por convenção, define-se a direção do vento em relação ao norte geográfico, de onde o vento sopra.

2.3 Chuvas

O regime sazonal de precipitação apresenta variabilidade espacial relevante, como pode ser visto no Mapa 2.1, devido à geografia e localização do Estado. No litoral, o clima é tropical bem definido, com chuvas abundantes durante o outono e inverno e seca no verão, resultando em média anual acima de 1800 mm. A região central do Estado, próxima ao planalto da Borborema, apresenta clima semiárido, com os índices anuais de precipitação mais baixos do Estado, em torno de 700 mm. No extremo oeste, na área que abrange o Pediplano Sertanejo, o clima volta a ser tropical por conta da pluviosidade mais elevada, decorrente de massas quentes e úmidas provenientes da Amazônia, que trazem chuvas de verão, contribuindo para a média anual acima de 1000 mm, mas com distribuição de chuvas muito irregular.

2.4 Temperaturas

A sazonalidade afeta muito pouco a amplitude térmica anual no Estado da Paraíba, variando de 20 °C na região central durante o inverno a 27 °C na região litorânea durante o verão. A região da baixada da Borborema ao litoral apresenta média anual de 24 a 26 °C, com variabilidade sazonal de 4 °C, enquanto a região no topo do planalto apresenta variabilidade de apenas 2 °C. O oeste do Estado apresenta maior amplitude, influenciada pela irregularidade das massas provenientes da Amazônia, variando de 23 °C no inverno a 28 °C no verão. Os Mapas 2.2 e 2.3 apresentam a distribuição das temperaturas sazonais e anuais calculadas para o Estado da Paraíba.



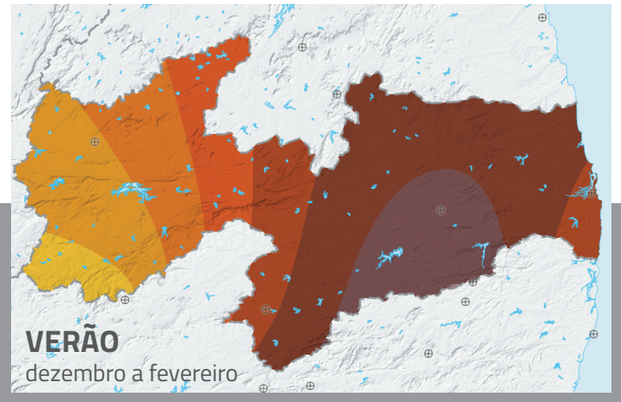
ZIG KOCH

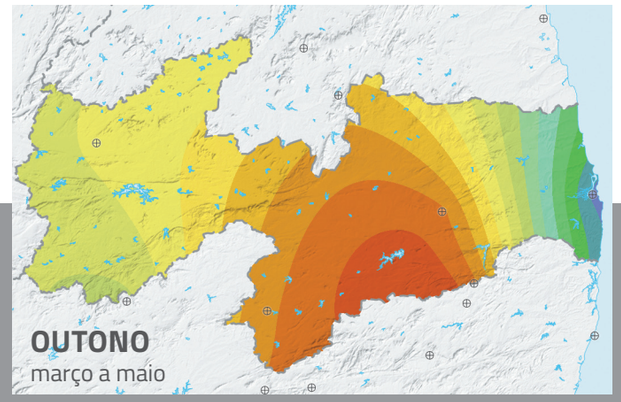
Figura 2.7 Precipitação (ao fundo) sobre o município de Araruna

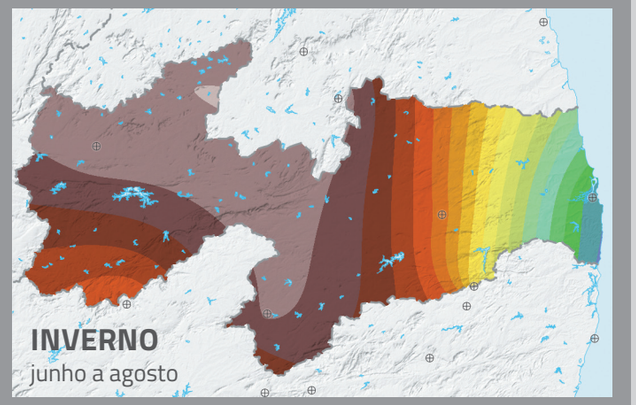
atlas-PBindb 24 25/11/2017 09:06:08

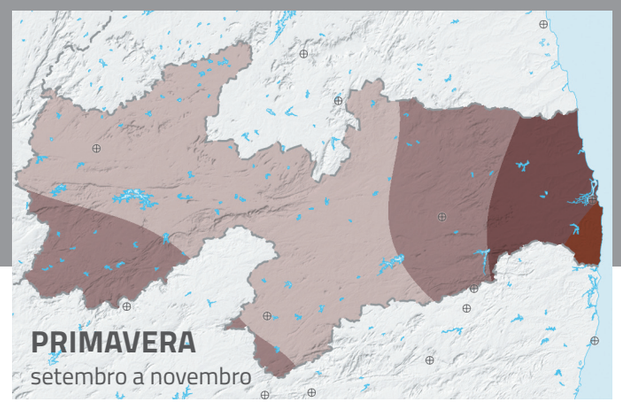
PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL E SAZONAL NA PARAÍBA ▪

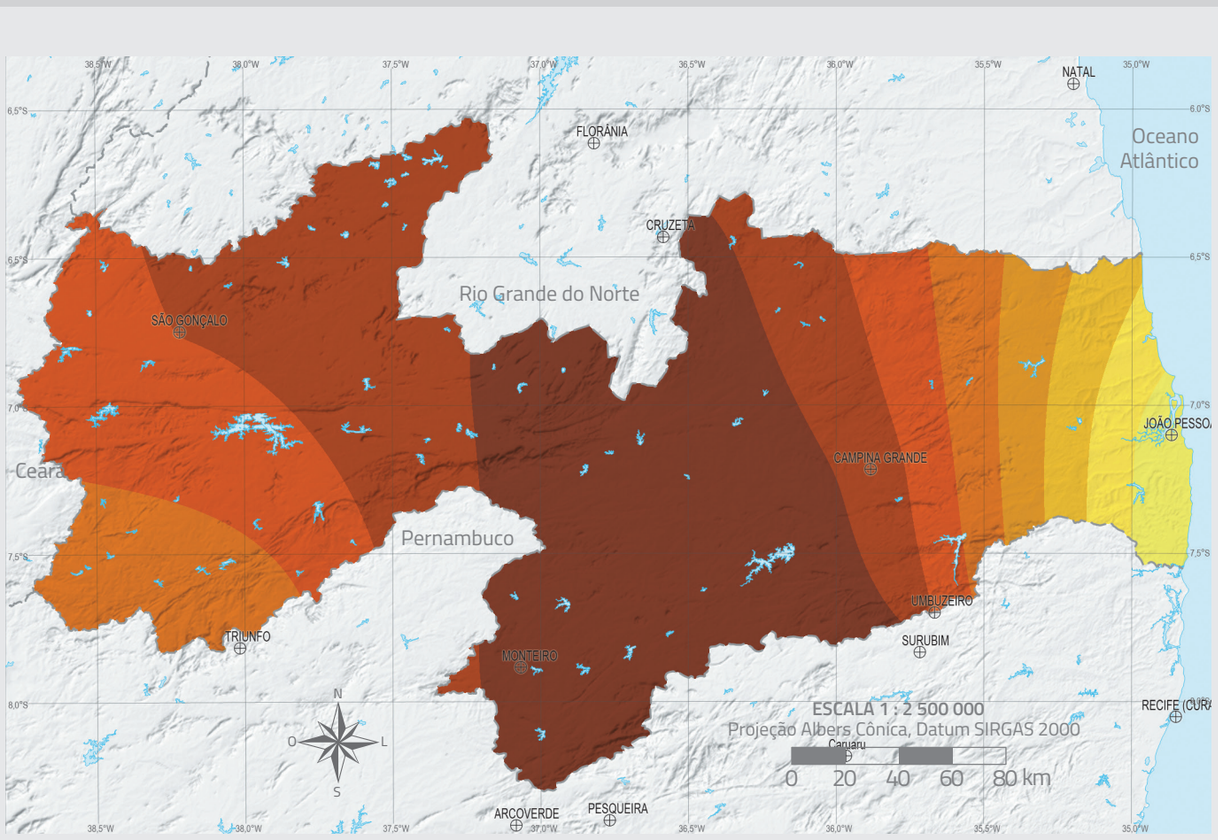
Mapa 2.1 ▪











MAPAS DESENVOLVIDOS A PARTIR DE DADOS CLIMATOLÓGICOS COLETADOS EM 15 ESTAÇÕES DO INMET NO PERÍODO DE 1961 A 1990[42].

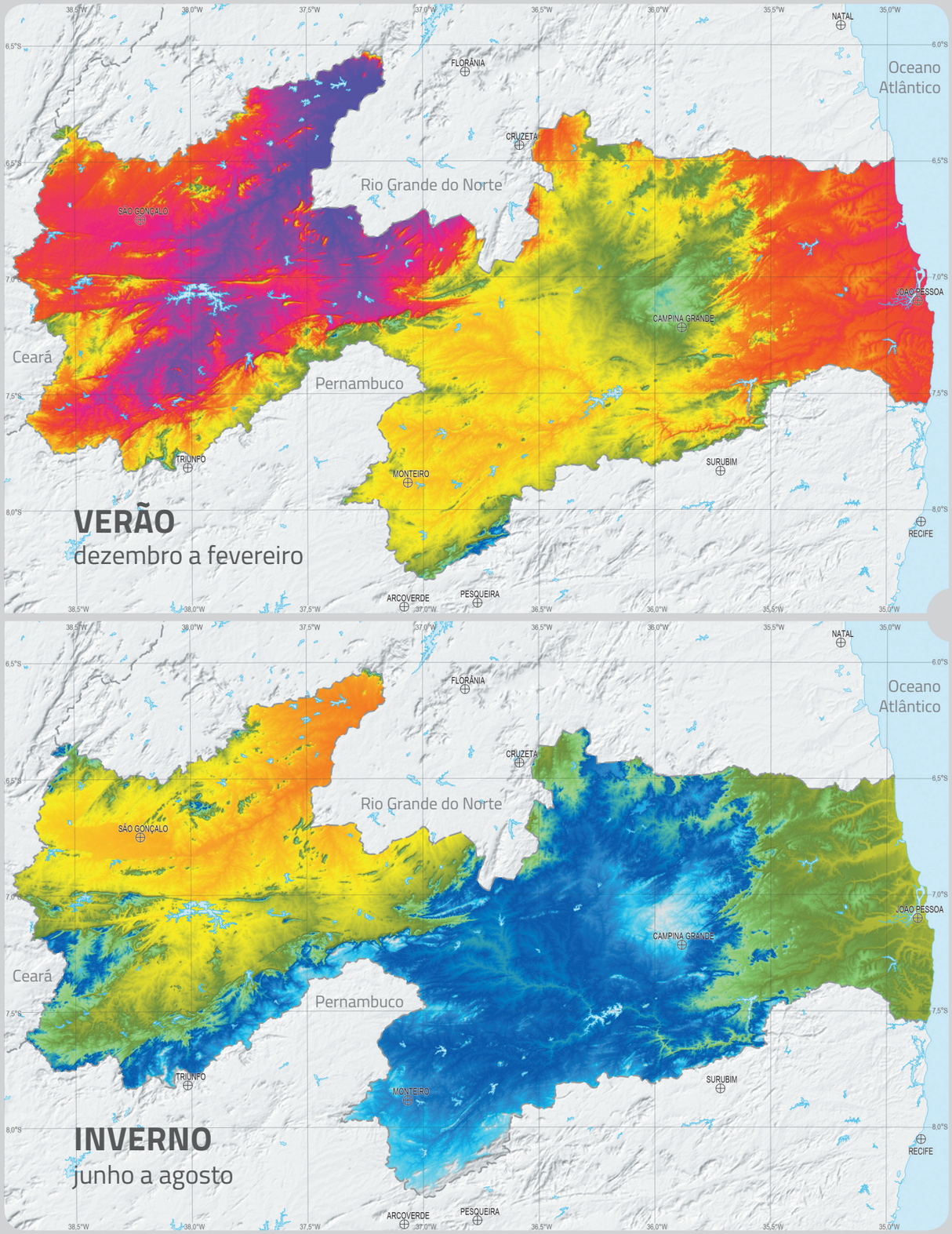
precipitação média (mm)

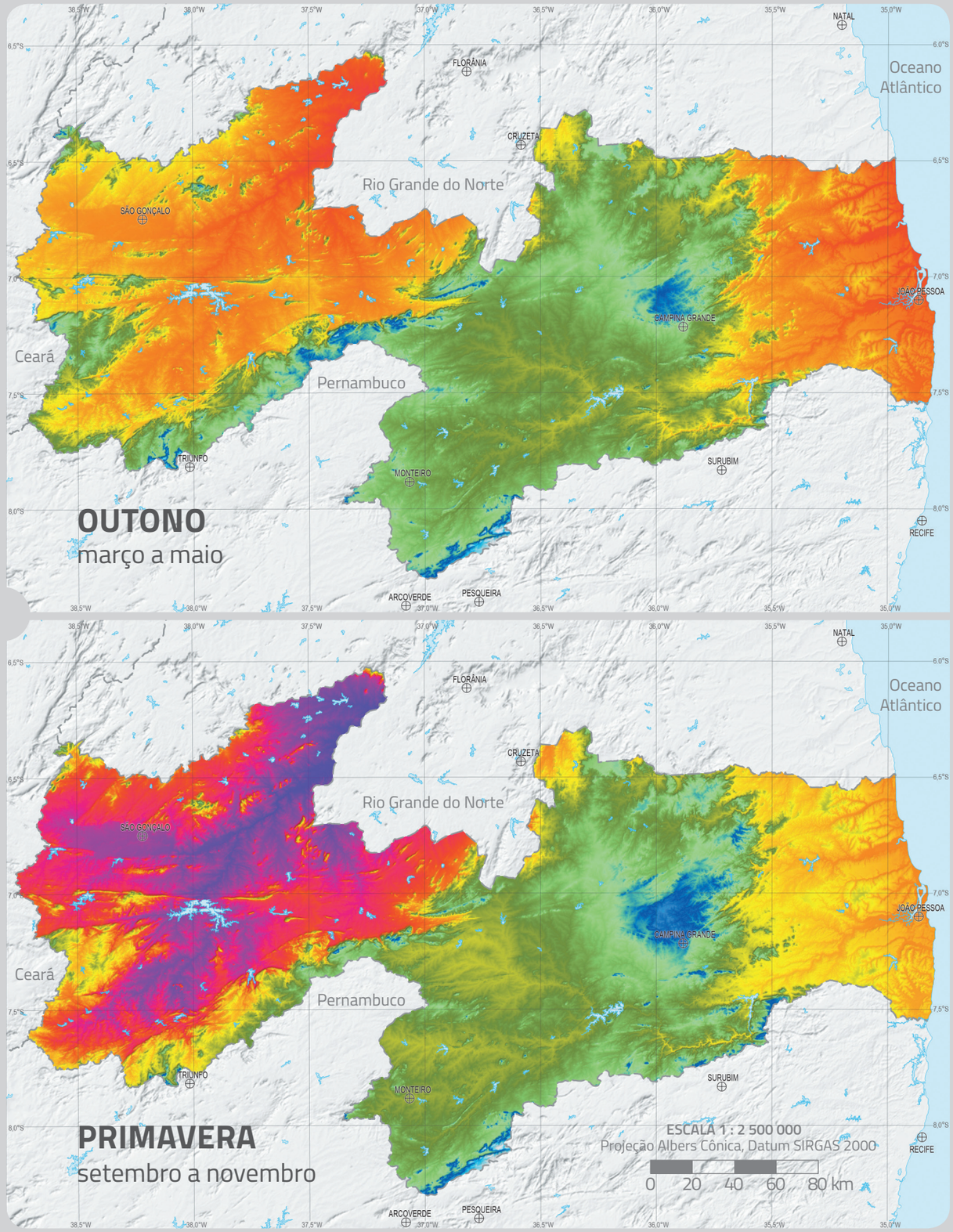
0 400 800 1200 1600 2000 2400 2800 3200 3600 4000

adm_PB.indb 25 25/11/2017 09:06:09

TEMPERATURAS MÉDIAS SAZONAIS ▪

Mapa 2.2 ▪





atlas-PB.indb 26 25/11/2017 09:06:18

atlas eólico
PARAÍBA

TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS ▪

Mapa 2.3 ▪

Mapas criados a partir de dados climatológicos coletados em 14 estações do INMET entre 1961 e 1990[42] ajustados para altitude conforme equações da atmosfera padrão ISA[68].

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], IBGE[46][47]

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

38,5°W 38,0°W 37,5°W 37,0°W 36,5°W 36,0°W 35,5°W 35,0°W

5,5°S 6,0°S 6,5°S 7,0°S 7,5°S 8,0°S 8,5°S

CEARÁ MIRIM · NATAL · FLORÂNIA · CRUZETA · SÃO GONÇALO · JOÃO PESSOA · CAMPINA GRANDE · TRIUNFO · MONTEIRO · SURUBIM · RECIFE · ARCOVERDE · PESQUEIRA

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

N O L S

ESCALA 1: 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 20 40 60 km

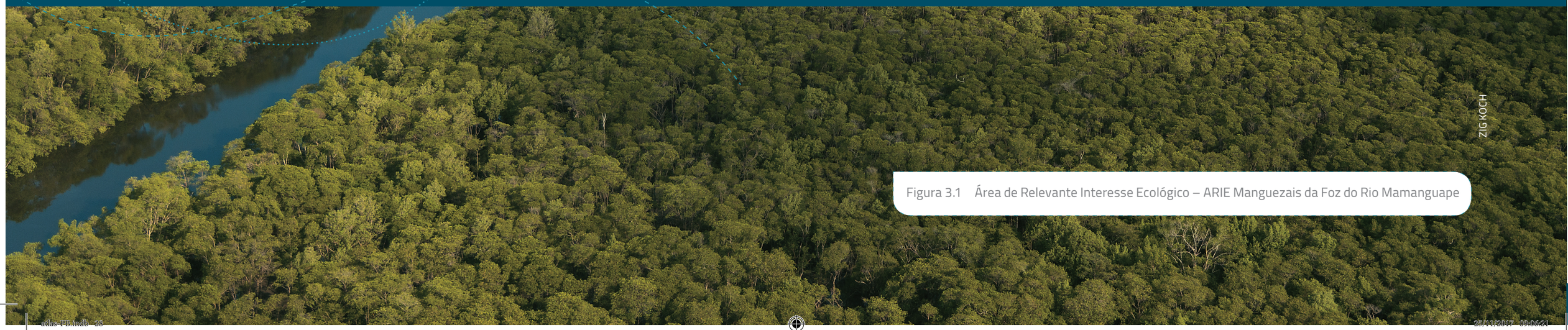
temperatura média (°C)

20 21 22 23 24 25 26 27 28

- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Estações meteorológicas do INMET
- Sedes municipais
- Corpos de água
- Rios

atlas-PB.indb 27 25/11/2017 09:06:17

3 Energia Eólica e Meio Ambiente



ZIG KOCH

Figura 3.1 Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE Manguezais da Foz do Rio Mamanguape

3.1 Licenciamento Ambiental

O estudo da legislação ambiental e o acompanhamento da sua dinâmica por parte dos empreendedores é de fundamental importância para o sucesso da implementação de um parque eólico.

A despeito da complexidade das atividades que se desempenham em atenção ao meio ambiente e às regulações relacionadas a esse assunto, a geração de energia elétrica a partir do potencial eólico tem avançado significativamente nos últimos anos. A fonte eólica, que em 2012 representava pouco mais de 2% da capacidade instalada de geração elétrica nacional, foi responsável por mais de 27% da capacidade adicionada ao Sistema durante o mesmo ano. Grande parte desse crescimento deve-se a uma legislação ambiental favorável e aos esforços simultâneos de empreendedores, órgãos legisladores da política ambiental nacional, órgãos reguladores e órgãos de controle e fiscalização.

Os órgãos governamentais que gerenciam os processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos eólicos no Estado da Paraíba são, na esfera federal, o Ministério de Meio Ambiente por meio do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA e, na esfera estadual, a Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia, tendo como órgão executor a Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA.

A base da legislação ambiental vigente inclui o novo Código Florestal Brasileiro[8], as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA[23] e a Política de Meio Ambiente do Estado da Paraíba, entre outros. No Estado da Paraíba, a emissão das licenças é realizada pela SUDEMA, com o apoio do Conselho de Proteção Ambiental - COPAM, que atua na aprovação de normas, deliberações, diretrizes e regulamentos, os quais estabelecem critérios e procedimentos para subsidiar o licenciamento ambiental.

Desde 2001, o Licenciamento Ambiental de empreendimentos para geração de energia elétrica por fonte eólica, caracterizados como de baixo potencial de impacto ambiental, é regulado pela Resolução CONAMA 279, recentemente atualizada pela Resolução CONAMA 462, de julho de 2014[24].

Essa última estabelece os critérios para que o órgão licenciador faça o enquadramento dos projetos eólicos quanto ao impacto ambiental dos empreendimentos, considerando o porte, a localização e o potencial poluidor da atividade, utilizando como referência o Zoneamento Ambiental e outros estudos que caracterizem a bacia hidrográfica e os biomas na área de influência do empreendimento.

Empreendimentos considerados de significativo potencial de impacto ambiental exigem a realização dos EIA/RIMA e audiências públicas. Estão sujeitos a esse enquadramento os empreendimentos que necessitem para sua implementação: i) remover populações ou gerar impacto sociocultural que inviabilize a permanência de comunidades em sua área de influência; ii) intervir em Unidades de Conservação de Proteção Integral ou em suas respectivas Zonas de Amortecimento, que se estendem até 3 km ao redor dos limites dessas unidades; iii) alterar ou perturbar rotas de pouso, descanso, alimentação ou reprodução de aves migratórias; iv) ameaçar a preservação de espécies de flora e fauna endêmicas e/ou ameaçadas de extinção; v) promover alterações significativas em Zonas Costeiras ou em áreas com presença de dunas, manguezais, planícies fluviais, Mata Atlântica, cavernas, sítios arqueológicos, históricos e/ou culturais[24].

Os empreendimentos eólicos enquadrados como de baixo impacto ambiental poderão ser licenciados mediante procedimento simplificado por meio de Relatório Ambiental Simplificado – RAS[24], com prazo máximo de sessenta dias para a tramitação, tendo como objetivo acelerar o processo inicial de licenciamento e a respectiva habilitação destes projetos para participação em leilões de energia promovidos pelo Governo Federal.

Os estudos de impacto ambiental exigem, portanto, a identificação da existência de comunidades tradicionais, indígenas e/ou quilombolas e a verificação da distância destes povoados à área de influência direta do empreendimento eólico. Devem conter informações sobre localização, atividades econômicas, fontes de renda, características culturais e expectativas da população em relação ao empreendimento. A caracterização dos índices de ruído na área de influência direta do projeto também é solicitada para os empreendimentos localizados a menos de 400 metros de distância de residências e/ou comunidades.

Esses estudos devem utilizar informações levantadas acerca dos fatores físicos (geomorfológicos), ambientais e socioeconômicos existentes nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento. Devem ser levantadas e avaliadas alternativas construtivas, tecnológicas e de localização do empreendimento em função das características ambientais e dos impactos previstos nas diferentes etapas do projeto (planejamento, implantação e operação), sendo necessária a indicação de propostas para mitigação, monitoramento e controle dos impactos negativos decorrentes.

Apesar dos potenciais impactos, a geração de energia eólica ainda é reconhecidamente a fonte que menos agride o meio ambiente dentre todas as formas de geração atuais, principalmente em função de ser praticamente livre de emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE durante sua operação. Dentre os principais impactos normalmente identificados no planejamento de parques eólicos estão: alterações de paisagem; deslocamentos de terra; desmatamentos e alterações na drenagem do terreno decorrente da abertura e/ou melhoria de acessos; efeitos socioeconômicos em escala micro e macroeconômica; geração de ruído e efeito *shadow flicker* (cintilação) nas proximidades dos parques e afugentamento (temporário ou permanente) da fauna.

Esses impactos estão limitados, sobretudo, à fase de instalação dos parques, sendo em parte recuperados durante a subsequente fase de operação. Habitualmente, os projetos são elaborados visando contratos de 20 anos de venda de energia, período dentro do qual o patrimônio existente em sua área de implantação será necessariamente documentado, sinalizado e conservado, em função do próprio processo de licenciamento ambiental.

No âmbito socioeconômico, as contrapartidas da instalação de um complexo eólico incluem programas de educação e profissionalização de comunidades locais e pagamentos de arrendamentos diretamente aos proprietários das áreas onde os parques de geração são instalados – casos em que as terras não pertencem ao empreendimento. As medidas compensatórias ambientais são estabelecidas no decorrer do processo de licenciamento.

De um modo geral, os empreendimentos eólicos não modificam o tipo de uso do solo, fato este que permite a convivência harmônica da produção de energia com outras atividades econômicas, como pecuária e agricultura. É importante também listar outros impactos sociais: (a) a geração de empregos em todo o ciclo produtivo, decorrente do aumento do consumo de materiais processados e de matéria-prima, por sua vez associado ao crescimento do próprio mercado; (b) a distribuição de renda, devido a i. impactos diretos e indiretos na economia local e regional, principalmente durante a fase de implantação dos projetos, ii. arrendamento das áreas onde estão instalados os parques eólicos; (c) o aumento nos repasses de recursos estaduais e federais aos municípios que recebem projetos de geração elétrica, contribuindo para a redução de desigualdades.

atlas-PB.indb 29 25/11/2017 09:06:24

3.2 Áreas de Proteção no Estado da Paraíba



Figura 3.2 Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, em Rio Tinto

Figura 3.3 Reserva Ecológica Mata do Rio Vermelho, em Rio Tinto (abaixo)

3.2.1 Unidades de Conservação

O Estado da Paraíba é formado por uma combinação de diferentes biomas que variam entre o litoral e o interior do continente e estão associados ao relevo, tipo de solo, temperatura e pluviometria. As regiões mais úmidas apresentam cobertura vegetal típica de manguezal, restinga, mata atlântica, cerrado e mata serrana, enquanto as regiões semiáridas são cobertas predominantemente pela Caatinga[81][5][63].

O bioma Caatinga ocupa cerca de 2/3 do Estado da Paraíba e oferece grande diversidade paisagística, variando de formações de porte arbóreo denso e fechado a formações arbustivas abertas e fechadas. No extrato arbóreo, são observadas espécies de 8 a 12 metros de altura, enquanto no extrato arbustivo a vegetação varia de 2 a 5 metros de altura, sendo inferior a 2 metros no extrato herbáceo[81][63][70].

De acordo com dados provenientes do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE-PB, publicado em 2011[63], a pressão antrópica é acentuada e atinge cerca de 63% da área ocupada pela Caatinga, tendo como principais fontes de degradação a exploração predatória de madeira e lenha, o uso e manejo incorreto do solo por atividades de agricultura e pecuária, as queimadas e os incêndios.

Esses fatores levam à degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e, consequentemente, da biodiversidade, ocasionando o fenômeno da desertificação. A desertificação é o resultado da ocorrência simultânea de múltiplos fatores de origem antrópica e climática, que levam à erosão dos solos pelo vento ou pela água, à deterioração das propriedades físicas, químicas, biológicas e econômicas dos solos e à perda da vegetação por períodos prolongados[63][81].

Estimativas indicam que 90% do Estado da Paraíba apresentam áreas suscetíveis à desertificação, o que reforça a importância da criação e manutenção de áreas de conservação ambiental, sejam essas de proteção integral ou de uso sustentável, bem como a importância da manutenção do patrimônio genético pela reposição da fauna e da flora local e da preservação dos recursos hídricos e geomorfológicos[63].

Essa importância torna-se mais notória pelo fato de a Caatinga ser um bioma exclusivamente brasileiro[81], dotado de espécies de flora e fauna endêmicas[53][70]. Outro fato que aumenta a importância da preservação do semiárido paraibano é o de ser detentor da maior concentração de pinturas rupestres e pegadas de dinossauros fossilizadas do mundo, de significativa importância arqueológica[87].

Com o objetivo de preservar esse patrimônio natural e cultural, o Estado da Paraíba criou 13 Unidades de Conservação – UCs Estaduais administradas pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente –SUDEMA, sendo nove de Proteção Integral – PI e quatro de Uso Sustentável – US[86]. As UCs Federais administradas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA



atlas-PBAnd6 30
25/11/2017 09:06:28

somam seis unidades, sendo uma de PI e cinco de US. As Tabelas 3.2 e 3.3 listam as principais unidades de conservação federais e estaduais da Paraíba e o Mapa 3.1 disponibiliza suas localizações.

Apesar da predominância da Caatinga no semiárido, com árvores de pequeno porte e cactáceas adaptadas aos longos períodos de estiagem, é possível encontrar em pleno sertão nordestino – "ilhas verdes", concentradas nas regiões mais elevadas, tais como serras, montanhas e chapadas, que oferecem clima mais ameno e permitem a manutenção da folhada mesmo nos períodos de seca[74]. O Parque Estadual do Pico do Jabre, criado em 2002 pelo Decreto 23.060, é um exemplo desse tipo de ilha verde, e é a maior PI do Estado da Paraíba, inserida no bioma da Caatinga. O parque está localizado na Serra do Teixeira e registra a maior altitude do Estado, 1.197 metros. Caracteriza-se pela presença de afloramentos rochosos e da vegetação conhecida como "mata serrana", que integra elementos florísticos característicos da Mata Atlântica e da Caatinga. O Parque Estadual do Pico do Jabre está em processo de recuperação, atividade necessária, devido à intensa antropização prévia à criação da UC[74].

Na região oeste do Estado, município de Sousa, localiza-se o Monumento Natural do Vale dos Dinossauros, criado em 2002 pelo Decreto Estadual 23.832. Essa UC constitui um dos mais importantes sítios paleontológicos existentes, por ser responsável pela preservação da maior incidência de pegadas de dinossauros do mundo, observadas ao longo de trilhas fossilizadas. O Monumento registra mais de 80 espécies de dinossauros, encontradas em cerca de 20 níveis estratigráficos. A UC abrange aproximadamente 30 localidades no alto sertão da Paraíba, estando os registros mais importantes no município de Sousa[87].

Outra importante UC na Paraíba é a Área de Proteção Ambiental – APA das Onças, criada em 2002 pelo Decreto Estadual 22.880, no município de São João do Tigre. Esta APA, juntamente com a APA do Vale dos Dinossauros, possui grande valor paleontológico por abrigar extraordinária riqueza de inscrições rupestres, além de cobertura vegetal típica do bioma da caatinga. Assim como no Pico do Jabre, nas áreas de serra, onde as altitudes chegam a mais de 1.000 metros, a vegetação apresenta espécies de Mata Atlântica coexistindo com espécies de Caatinga, evidenciando a característica de área de transição entre biomas[40].



Figura 3.5
Parque Estadual do Pico do Jabre, em Maturéia



Figura 3.6
Área de Proteção Ambiental das Onças, em São João do Tigre



Figura 3.4 Parque Estadual Pedra da Boca, em Araruna



FOTOS: ZIG KOCH

rdus-PB.indb 31 25/11/2017 09:06:32

3.2.2 Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Agrícolas

O Estado da Paraíba possui três Terras Indígenas – TI com fronteiras contíguas denominadas: Potiguara, Potiguara de Monte-Mor e Jacaré de São Domingos. Estas reservas indígenas abrigam a etnia potiguara, povo indígena oficialmente reconhecido no Estado da Paraíba[20].

As três áreas são a TI Potiguara, com área de 212,38 km², a TI Potiguar de Monte-Mor, com 74,90 km² e a TI Jacaré de São Domingos, com 50,30 km². Dessas, estão regularizadas as TI Potiguara e Jacaré de São Domingos. A TI Potiguar de Monte-Mor está declarada e ainda se encontra em processo de homologação[37].

A implementação de projetos eólicos em terras indígenas depende do decreto do Presidente da República a título de realização de obra pública de interesse para o desenvolvimento nacional[12], sendo atribuição da União a competência de "demarcar, proteger e fazer respeitar todos os bens e direitos dos povos indígenas[9]" em relação ao uso e ocupação do solo, conforme Constituição Federal de 1988.

Com relação à presença de populações remanescentes de quilombos no Estado da Paraíba, no ano 2011 estavam identificadas 37 comunidades, que abrigam mais de 12.000 pessoas[6][75].

As restrições a empreendimentos eólicos que possam causar impactos socioculturais também se aplicam aos territórios quilombolas, cuja titularidade fundiária está em nome da associação de moradores e é coletiva e inalienável[9]. Além disso, os territórios quilombolas são tombados[10] para preservação das reminiscências históricas e culturais.

Para o desenvolvimento do potencial eólico em assentamentos agrícolas, é preciso observar o prazo de 10 anos, contados a partir da concessão de uso da terra aos beneficiários, para que se possa proceder à cessão do uso do solo a terceiros por aquisição ou arrendamento[13].

A localização destas áreas especiais no Estado da Paraíba é indicada no Mapa 3.1. Os municípios onde as terras indígenas estão localizadas aparecem listados na Tabela 3.5 e a lista dos quatro quilombos com titulação do Estado da Paraíba está disponibilizada na Tabela 3.4.



Figura 3.7 Terra Indígena Potiguara, em Baía da Traição

atlas-PBandb 32 25/11/2017 09:06:34





Figura 3.8 Região do Quilombo Matão, em Gurinhém



Figura 3.9 Assentamento da Reforma Agrária, em Campina Grande

atlas-PB.indb 33 25/11/2017 09:06:32

Tabela 3.1 Siglas utilizadas para as diversas áreas especiais e unidades de conservação

SIGLAS UTILIZADAS	
APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
ESEC	Estação Ecológica
FLONA	Floresta Nacional
MONA	Monumento Natural
PAE	Projeto de Assentamento Agroextrativista
PAREST	Parque Estadual
PARNA	Parque Nacional
REBIO	Reserva Biológica
RESEX	Reserva Extrativista
REVIS	Refúgio da Vida Silvestre
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural

Tabela 3.2 Unidades de conservação de proteção integral do Estado da Paraíba

			UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	DIPLOMA LEGAL
PROTEÇÃO INTEGRAL	ESTADUAL	A	PAREST de Jacarapé	D. E. no 23.836 de 27/12/2002
		B	PAREST Pedra da Boca	D. E. no 20.889 de 7/2/2000
		C	ESEC Pau-Brasil	D. E. no 22.881 de 25/3/2002
		D	RESEC Mata do Pau-Ferro	D. E. no 14.832 de 19/10/1992
		E	PAREST do Aratu	D. E. no 23.838 de 27/12/2002
		F	MN Vale dos Dinossauros	D. E. no 23.832 de 27/12/2002
		G	PAREST Pico do Jabre	D. E. no 23.060 de 19/6/2002
		H	RESEC Mata do Rio Vermelho	D. E. no 14.835 de 19/10/1992
		I	PAREST Mata do Xem-Xem	D. E. no 21.252 de 28/8/2000
	FEDERAL	J	REBIO Guaribas	Decreto 98.884 de 25/01/1990

Tabela 3.3 Unidades de conservação de uso sustentável do Estado da Paraíba

USO SUSTENTÁVEL	ESTADUAL	1	APA de Cariri	D. E. no 25.083 de 8/6/2004
		2	APA das Onças	D. E. no 22.880 de 25/3/2002
		3	APA do Estuário dos Rios Goiana e Megão	Lei 9931 de 11/12/1986
		4	APA de Tambaba	D. E. no 22.882 de 26/3/2002
	FEDERAL	5	Flona da Restinga de Cabedelo	Decreto SN de 02/06/2004
		6	APA da Barra do Rio Mamanguape	Decreto 924 de 10/09/1993
		7	Arie Manguesais da Foz do Rio Mamanguape	Decreto 91.890 de 05/11/1985
		8	Arie Vale dos Dinossauros	Resolução 17 de 18/12/1984
		9	Resex Acaú Goiana	Decreto SN de 26/09/2007

Tabela 3.4 Quilombos do Estado da Paraíba

	QUILOMBO	MUNICÍPIO
Q1	Serra do Talhado	Santa Luzia
Q2	Engenho do Bonfim	Areia
Q3	Pedra d'Água	Ingá
Q4	Matão	Mogeiro

Tabela 3.5 Terras indígenas do Estado da Paraíba

	TERRA INDÍGENA	MUNICÍPIO
T1	Potiguara de Monte-Mor	Marcação, Rio Tinto
T2	Jacaré de São Domingos	Marcação, Rio Tinto
T3	Potiguara	Baía da Traição, Marcação, Rio Tinto

adm PB.indb 34 25/11/2017 09:06:41

atlas eólico
PARAÍBA

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, TERRAS INDÍGENAS, ASSENTAMENTOS E QUILOMBOS ▪

Mapa 3.1 ▪

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], FUNAI[38], IBGE[46], [47], ICMBIO[50], INCRA[51], MMA[60], [61]

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

38,5°W 38,0°W 37,5°W 37,0°W 36,5°W 36,0°W 35,5°W 35,0°W

5,5°S 6,0°S 6,5°S 7,0°S 7,5°S 8,0°S 8,5°S

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

Catolé do Rocha · SÃO BENTO · POMBAL · SOUSA · CAJAZEIRAS · PATOS · Itaporanga · Princesa Isabel · MONTEIRO

Bananeiras · Solânea · GUARABIRA · Rio Tinto · MAMANGUAPE · CABEDELO · Areia · ESPERANÇA · Alagoa Grande · Mari · SAPÉ · BAYEUX · JOÃO PESSOA · SANTA RITA · Lagoa Seca · CAMPINA GRANDE · QUEIMADAS · Itabaiana · Conde · Pedras de Fogo · Caaporã

B C D E F G H I A T1 T2 T3 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Unidades de Proteção Integral federais
Unidades de Proteção Integral estaduais
Unidades de Uso Sustentável federais
Unidades de Uso Sustentável estaduais
Terras Indígenas
Comunidades Quilombolas Identificadas [6]
Assentamentos agrícolas
Cavernas
Corpos de água
Rios
Divisas estaduais
Sedes municipais

BIOMAS
Caatinga
Mata Atlântica

N O L

ESCALA 1 : 1.250.000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 km

atlas-PB.indb 35 25/11/2017 09:06:44

4 Tecnologia



ZIG KOCH

Figura 4.1 Aerogerador, em Mataraca

4.1 Histórico

Os primeiros registros históricos confirmados do aproveitamento da força do vento em máquinas motoras remontam ao século X e vêm da Pérsia, na região de Sistão, hoje fronteira entre o sudeste do Irã e o sudoeste do Afeganistão[83].

Máquinas de eixo vertical eram usadas para a moagem de grãos, utilizando a força de arrasto para mover velas, parcialmente protegidas por paredes. Um modelo de moinho persa é exemplificado na Figura 4.2. O vento dessa região, famoso pela intensidade (podia chegar a 45 m/s) e constância (soprava por quatro meses entre a primavera e o verão), fornecia condições naturais para o aproveitamento da energia eólica pelos povos antigos[83].

Alega-se que o modelo persa possa ter inspirado os futuros modelos europeus; já que é documentada ampla troca de informações entre os continentes pelo caminho para as índias, que passava logo ao norte dessa região[54]. Outros registros de moinhos de vento similares criados no Oriente vêm da China, por volta do início do século XIII.

Não há, no entanto, explicação sobre o porquê de esse tipo de moinho (com eixo vertical e propulsionado por arrasto) não ter se espalhado pela Europa Ocidental durante a Idade Média. Os moinhos desenvolvidos no noroeste do continente europeu (Alemanha, França, Inglaterra e Países Baixos) possuíam eixo horizontal e eram mais complexos e eficientes[83], utilizando a força de sustentação, várias ordens de grandeza mais eficaz que a força de arrasto para a produção de trabalho. Os primeiros moinhos de eixo horizontal foram os pivotados (*post mills*), montados sobre postes ou tripés, permitindo o alinhamento com o vento predominante.

Figura 4.2 Modelo de moinho persa (Deutsches Museum, Munique, Alemanha)



SAUPREISS, CC-BY-AS-2.0



CARSCHTEN, CC-BY-AS-2.0

Figura 4.3 Moinhos de vento, em Greetsiel, Alemanha

Os próximos avanços da tecnologia dos moinhos de vento na Europa ocorreram entre os séculos XIII e XIX, especialmente na Inglaterra e nos Países Baixos, com considerável evolução nos sistemas mecânicos e de controle, assim como na tecnologia das pás. As pás evoluíram estruturalmente e, principalmente, quanto ao desempenho, graças ao emprego da torção, ou seja, a variação do ângulo entre a raiz e a ponta. Mecanismos foram criados para verter ventos excessivos, controlando a rotação e tornando as máquinas mais seguras. Paralelamente, foram desenvolvidos mecanismos de controle automático, como, por exemplo, o *fantail* (patente de Edmund Lee, 1745), um rotor menor e secundário posicionado perpendicularmente ao rotor principal. Ao receber rajadas de vento desalinhadas com o rotor principal, o rotor secundário produzia trabalho e, por meio de um mecanismo de engrenagens, girava a máquina em direção ao vento. Além deste, mecanismos para frenagem aerodinâmica e outras automatizações mecânicas foram paulatinamente agregando-se à funcionalidade das máquinas. Todos esses desenvolvimentos permitiram a construção de moinhos cada vez maiores, mais seguros e produtivos (Figura 4.3).

Entre meados e final do século XIX, nos Estados Unidos, foram projetados moinhos de múltiplas pás para o bombeamento de água. Estas invenções foram de grande importância para o povoamento do oeste americano, facilitando o acesso à água e a fixação em extensas áreas áridas ou semiáridas (Figura 4.4). Ainda no final do século XIX, as máquinas eólicas também começaram a ser usadas para a produção de energia elétrica. A primeira delas foi nos Estados Unidos, em Cleveland, Ohio, onde Charles F. Brush construiu uma turbina de 12 kW. Paralelamente, em Askov, Dinamarca, Poul la Cour adaptou moinhos de 4 pás para geração de corrente contínua[83].

A partir da década de 1930, nos Estados Unidos, iniciou-se ampla utilização de pequenos aerogeradores para carregamento de baterias, trazendo ao meio rural norte-americano o acesso à energia elétrica. Entre 1930 e 1960, dezenas de milhares desses aerogeradores foram produzidos e instalados nesse país, e exportados para diversos outros. A produção dessas máquinas foi desativada gradualmente nas décadas de 1950-1960, à medida que as redes elétricas passaram a dominar o atendimento rural.

Os primeiros aproveitamentos eolioelétricos com geração de eletricidade em grande escala, alimentando de forma suplementar o sistema elétrico por meio do emprego de turbinas eólicas de grande porte, foram realizados durante as décadas de 1940-1950, também nos Estados Unidos e Dinamarca. Pode-se dizer que o precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha, com Ulrich Hütter em 1955[26]. A máquina de Hutter já utilizava pás fabricadas com materiais compostos, torre tubular esbelta e sistema de controle de passo.

Desde a década de 1970 até meados da década de 1980, após a primeira grande crise de preços do petróleo, diversos países, incluindo o Brasil, despenderam esforços na pesquisa da energia eólica para a geração elétrica. É dessa época a turbina DEBRA 100 kW (Deutsche -Brasileira), desenvolvida em conjunto pelos Centro Técnico Aeroespacial Brasileiro - CTA (hoje, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial - DCTA) e *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt* - DLR.

Experiências de estímulo ao mercado realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), permitiram que o aproveitamento eolioelétrico atingisse escala de contribuição mais significativa em termos de geração e economicidade. O desenvolvimento tecnológico passou a ser conduzido pelas nascentes indústrias do setor em regime de competição, alimentado por mecanismos institucionais de incentivo, especialmente via remuneração por energia produzida. Características também marcantes desse processo de evolução foram: **(a)** modularidade, que tornou acessível o investimento em geração elétrica a uma ampla gama de investidores; **(b)** produção industrial em escala crescente, acarretando em redução do custo de geração; **(c)** baixo impacto ambiental[21], que favoreceu a geração eólica no âmbito legal, uma vez que os processos de licenciamento são mais simplificados e rápidos que os requeridos por fontes tradicionais de geração elétrica. Menciona-se que um dos principais problemas ambientais que eram associados à geração eólica – a colisão de pássaros nas pás – praticamente desapareceu com as turbinas de grande porte, graças às menores velocidades angulares dos rotores.



PATRICK BOLDUAN, CC-BY-AS-2.0

Figura 4.4 Bombeamento de água por moinho de múltiplas pás, EUA

atlas-PBAindb 38 25/11/2017 09:06:58

4.1.1 Energia Eólica no Brasil na Década de 2000

Na década de 2000, o primeiro grande impulso ao crescimento da energia eólica no Brasil deu-se por meio do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas – PROINFA, instituído em 2004[11], com o objetivo de aumentar a participação no sistema de energia produzida por empreendimentos da fonte eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas[59]. O programa resultou na contratação de 1.422,94 MW para a fonte eólica, dos quais 69 MW foram instalados em território paraibano e são responsáveis pela geração de 3,1% da energia elétrica consumida no Estado[19][30].

Um segundo impulso foi dado no ano de 2009, quando o Segundo Leilão de Energia de Reserva, promovido pelo Ministério das Minas e Energia – MME foi aberto exclusivamente à participação da fonte eólica, resultando em contratação de 1.805 MW em todo o país[31]. A partir desse evento, a energia eólica firmou-se como uma das principais fontes de energia a adicionar capacidade ao Sistema Interligado Nacional, o que é observado nos resultados de destaque obtidos na maioria dos certames realizados desde então. A energia eólica deixou para trás, portanto, o seu *status* coadjuvante de fonte alternativa ao passar a contribuir efetivamente com a matriz energética nacional e fazer parte de seu planejamento de expansão[32].

O grande fomento à fonte eólica resultou no aumento da competitividade do mercado, com progressiva redução do custo no Brasil, favorecendo a instalação de diversos fabricantes no país e a implantação de uma ampla e sólida cadeia industrial para fabricação de equipamentos.

É notável, no desenvolvimento da energia eólica no Brasil durante essa década, a dinâmica do foco de interesse geográfico dos investidores. Fixado, no início da década, quase que exclusivamente no litoral (como se observa nos projetos contratados pelo PROINFA), o foco migrou, ao longo dos anos, também para as áreas do interior, como se vê nos projetos vencedores dos leilões de energia a partir de 2009. Vale lembrar que diversas pesquisas de prospecção promovidas por órgãos governamentais ou instituições privadas, materializadas em mapeamentos nacionais e regionais similares à presente publicação (e.g. Atlas Eólico Brasileiro[4]), foram fundamentais para orientar os investidores, contribuindo para esse crescimento.

4.1.2 Expectativas Futuras

O acentuado crescimento do mercado mundial de geração eólica de energia elétrica, ilustrado nas Figura 4.8 e 4.9, deve-se, em grande parte, ao ciclo de sua efetivação, que envolve escala industrial em todas as principais etapas de fabricação dos equipamentos e posterior montagem. Outro aspecto associado a esse crescimento é o franco desenvolvimento da tecnologia dos geradores eólicos, que se dá em busca de mais eficiência e menores custos. Observa-se o aumento progressivo nas dimensões e capacidades das turbinas que, atualmente, estão tecnologicamente consolidadas no patamar de 3.000 kW de potência, fato verificado pela quantidade de máquinas em operação ao redor do mundo. Na Figura 4.6, são ilustradas as dimensões de turbinas disponíveis atualmente no mercado mundial, comparando-as com as de um Airbus A380 – maior avião de passageiros do mundo na atualidade.

As relações entre potência, diâmetro e altura do rotor podem variar consideravelmente entre os diferentes tipos de turbinas. Análises recentes[64] indicam uma tendência ao aumento da área de rotor (comprimento das pás) em relação à potência, com resultados favoráveis na viabilização econômica de projetos.

Figura 4.5 Medição anemométrica realizada na altura de nacele


ZIG KOCH

atlas-PB.indb 32 25/11/2017 09:06:51

4.2 O Aerogerador

Um aerogerador moderno de grande porte é constituído, basicamente, por um rotor de três pás esbeltas conectadas por um eixo a um sistema de geração alojado em uma nacele. A localização e características dos principais componentes e sistemas encontrados na nacele podem variar significativamente entre os diversos modelos de turbinas. A nacele conecta-se à torre de sustentação por um sistema de controle de azimute (*yaw*); a torre, geralmente em formato tubular, apoia-se em fundações projetadas especificamente em função da geologia e das condições locais de vento.

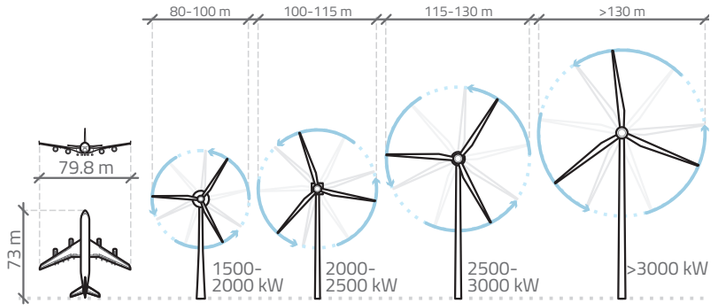


Figura 4.6 Dimensões típicas de turbinas disponíveis no mercado, comparadas às da aeronave Airbus A380

A sequência de execução da obra de um parque eólico é ilustrada pelas Figuras 4.10 a 4.14. Após a execução e aprovação do *layout* definitivo, são realizadas a terraplanagem para as vias de acesso e serviço e as demais obras do parque. A essa etapa segue-se a escavação das valas para colocação de cabeamento, a pavimentação das vias e a construção das fundações. Seguido à construção das fundações, é instalado o sistema de aterramento e, por fim, são montadas as máquinas. As peças componentes dos aerogeradores vêm desmontadas de fábrica e são transportadas em caminhões até o local da usina. O comprimento dos caminhões pode ultrapassar os 50 metros (Figura 4.7). A implantação da torre e do maquinário em seu topo é feita com o auxílio de uma grua de alta capacidade de carregamento, estacionada sobre uma plataforma edificada para essa função, que eleva as peças da torre e da turbina propriamente dita.

Figura 4.7 Transporte das pás de um aerogerador



ZIG KOCH

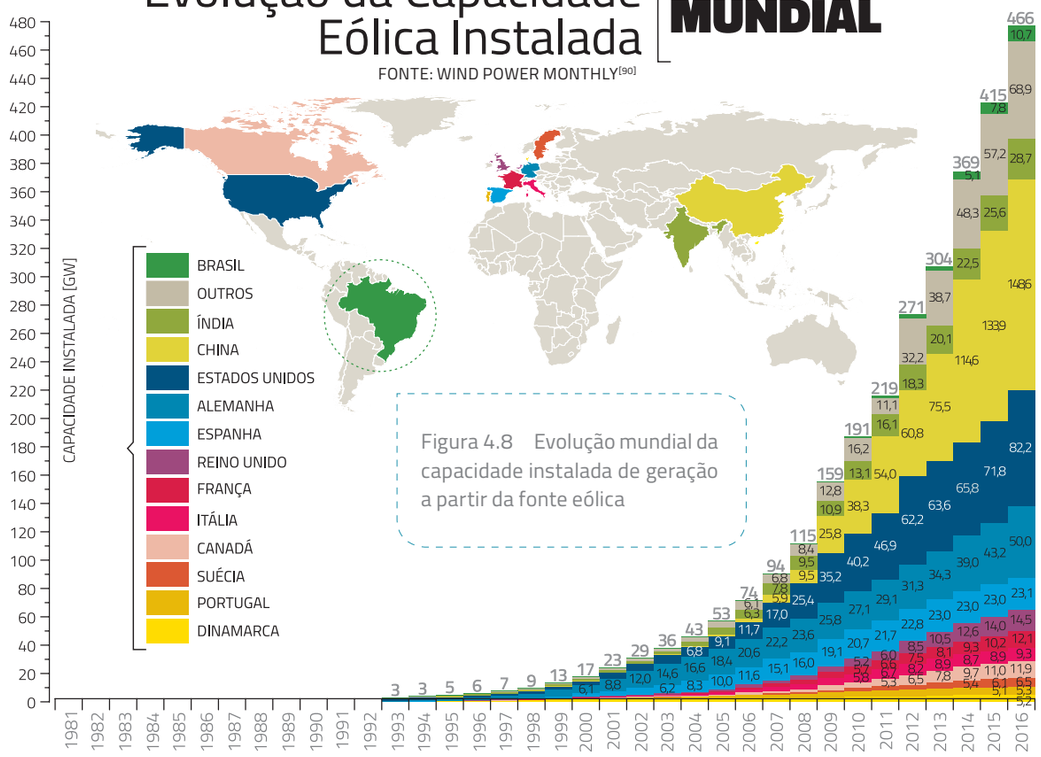


Figura 4.8 Evolução mundial da capacidade instalada de geração a partir da fonte eólica

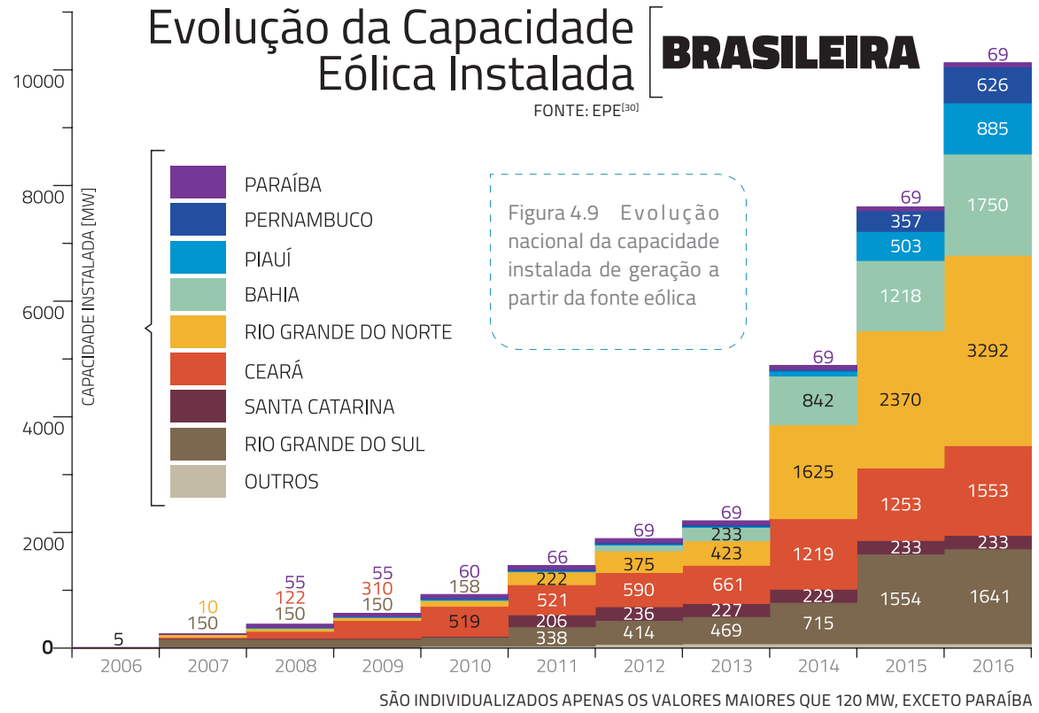


Figura 4.9 Evolução nacional da capacidade instalada de geração a partir da fonte eólica

atlas-EB.indb 40 25/11/2017 09:06:53

Sequência de montagem de um aerogerador

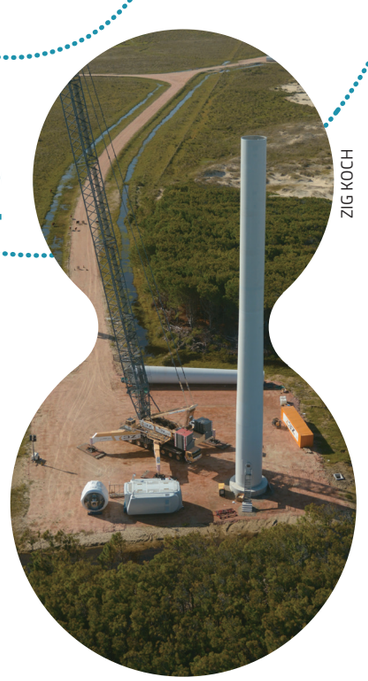
1



ZIG KOCH

Figura 4.10 Abertura de acessos, área de montagem e construção da base da torre

2



ZIG KOCH

Figura 4.11 Torre metálica e nacele aguardando montagem

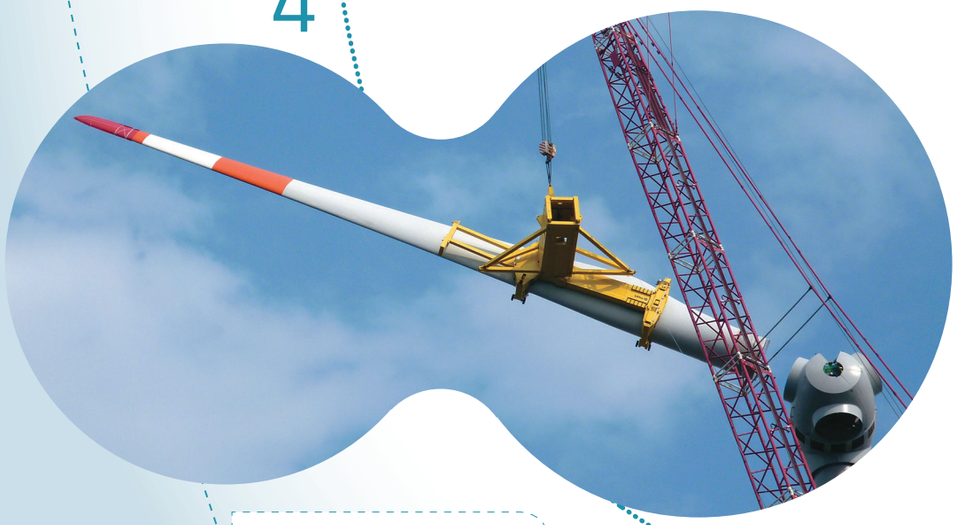
3



LEILA PAUL, CC-BY-AS-3.0

Figura 4.12 Montagem de uma torre de concreto modular

4



LIFTRA, CC-BY-AS-3.0

Figura 4.13 Junção da pá à nacele de um aerogerador

5



ZIG KOCH

Figura 4.14 Parque em operação e torre de medição anemométrica

atlas-PEBrasb 41 25/11/2017 09:07:04

4.3 Tecnologias de Prospecção do Recurso Eólico

Antes da efetiva execução de projetos de parques eólicos, é necessário conhecer com o maior detalhamento possível as características locais do vento, e determinar não apenas seus parâmetros mais elementares, como a velocidade média anual e a forma da sua distribuição estatística, mas também sua variabilidade no decorrer do dia e do ano, a caracterização da camada-limite e a influência do relevo sobre o escoamento em regiões de topografia complexa.

Para a obtenção dessas informações, são realizadas campanhas de medição com duração de vários anos, com o uso de instrumentos calibrados em instituições de excelência reconhecida, buscando-se rastreabilidade e acurácia. A tecnologia ligada à concepção dos instrumentos de medição das condições atmosféricas constitui, portanto, parte fundamental da indústria eólica.

4.3.1 Instrumentos de Medição em Campanhas Eólicas

As condições meteorológicas normalmente medidas durante as campanhas de prospecção são a velocidade e a direção do vento, a pressão, a temperatura e a umidade relativa do ar. Cada uma dessas grandezas pode ser medida em uma ou diversas alturas.

Os instrumentos que medem a velocidade do vento são chamados anemômetros. O anemômetro de copo (Figura 4.15), por razões técnicas, ainda é considerado o mais adequado para campanhas de medição eólica com vistas à produção de energia[76]. Recentemente, diversas outras tecnologias para medição da velocidade do vento vêm sendo testadas e colocadas em prática. Dentre esses novos avanços, destaca-se o emprego dos anemômetros sônicos e dos sensores de medição remota do vento: os *SOund Detection And Ranging* – SODARs e os *LIght Detection And Ranging* – LIDARs. Os anemômetros sônicos, agrupando no mesmo aparelho emissores e receptores de pulsos sonoros na faixa ultrassônica, funcionam deduzindo a velocidade do vento a partir das diferenças de tempo gasto para os pulsos saírem de uma extremidade do instrumento e chegarem à outra. O funcionamento dos equipamentos de medição remota do vento SODARs e LIDARs é descrito na Seção 4.3.2.

Outros instrumentos utilizados em campanhas de medição do recurso eólico são as *windvanes*, indicadores de direção do vento, os termômetros, os higrômetros e os barômetros, componentes clássicos de uma estação meteorológica para a medição de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. Com estas últimas medidas, é possível calcular a densidade do ar no local das medições e consequentemente estimar com precisão o conteúdo energético do vento.

As grandezas citadas acima são gravadas em registradores de dados digitais conhecidos como *dataloggers*. Esses registradores, além de suportar a leitura simultânea de diversos instrumentos de medição, são capazes de realizar cálculos simples com as séries medidas, tais como médias, desvios padrões, registros de máximos e mínimos etc., agrupando os dados em intervalos de tempo predefinidos, tipicamente de dez minutos. Para a transmissão dos pacotes de dados, esses equipamentos conectam-se periodicamente a redes de comunicação remota (e.g. GSM, telefonia por satélite).



CAMARGO & SCHUBERT

Figura 4.15 Anemômetro de copo e *Windvane*

atlas-PEBinds 42 25/11/2017 09:07:04

4.3.2 Instrumentos de Medição Remota

SODARs e LIDARs são equipamentos capazes de realizar medições em pontos consideravelmente distantes do local onde se encontram – tipicamente de algumas dezenas de metros a alguns quilômetros – por meio da emissão e posterior detecção de pulsos de ondas sonoras, no caso dos SODARs, ou eletromagnéticas, no caso dos LIDARs.

O princípio consiste em enviar pulsos de onda a determinadas direções do espaço e medir o retorno devido ao retroespalhamento (*backscattering*) na atmosfera. As ondas emitidas têm a frequência precisamente calibrada, permitindo identificar o movimento relativo entre o meio (o ar atmosférico) e o instrumento a partir de qualquer desvio no sinal de retorno. A velocidade do vento é deduzida, na direção dos pulsos, a partir dessas diminutas flutuações de frequências. É necessária, portanto, a emissão de pulsos em diversas direções (no mínimo três) para se obter uma estimativa da velocidade e da direção do vento em uma região do espaço.

A interpretação das medidas brutas efetuadas por esses aparelhos exige um processamento computacional razoavelmente complexo – razão pela qual grande parte desses instrumentos comercialmente disponíveis efetua um pré-tratamento nos dados. Em algumas situações, há grande complexidade na compilação dos dados, razão pela qual alguns fornecedores centralizam o tratamento de dados em suas dependências, fornecendo os relatórios já com os dados processados.

Essas tecnologias possuem considerável potencial para aplicações, pois permitem a medição do vento em alturas superiores às de torres anemométricas ou em locais onde a instalação de torres de medição é inviável. A relativa mobilidade permite pré-investigações antes de se deslocar esforços e investimentos com torres anemométricas.

Alguns equipamentos, como os chamados LIDARs 3D (Figura 4.16), *all-sky* ou de segunda-geração, permitem apontar o raio de medição para qualquer direção no céu, possibilitando assim o mapeamento da velocidade do vento em amplas áreas. É o início de uma fase de desenvolvimento eólico em que os técnicos e especialistas serão capazes de "ver o vento".

O emprego de instrumentos de medição remota ainda é visto, entretanto, como experimental – em maior ou menor grau, dependendo do nível da tecnologia. Os resultados, embora promissores e adequados para auxiliar em tomadas de decisões, ainda não são certificáveis frente aos organismos reguladores. Não obstante, para o caso do LIDAR, há estudos para a inserção destes equipamentos nas campanhas de medição sendo levados a cabo pela própria IEA Wind (International Energy Agency), dentro do anexo 32 de sua agenda de tarefas[55].



ZIG KOCH

Figura 4.16 LIDAR e torre de medição anemométrica (ao fundo)

atlas-PEBA.indb 43 25/11/2017 09:07:05

5 Metodologia



ZIG KOCH

Figura 5.1 Torre de medição anemométrica e aerogeradores, em Mataraca

O mapeamento do potencial eólico do Estado da Paraíba foi realizado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (AWS *Truepower* LLC), balizado por medições anemométricas registradas em 6 torres instaladas para a realização deste projeto no território do Estado. As simulações de mesoescala foram executadas primeiramente na resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, com posterior interpolação para a resolução final de 100 m x 100 m. Na interpolação final, utilizou-se o modelo de relevo da base topográfica *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (NASA/CGIAR[25]) e os modelos de rugosidade elaborados por meio de metodologia desenvolvida pela Camargo-Schubert, que considera a influência da variação fenológica da vegetação.

5.1 O Sistema *MesoMap*

O *MesoMap* é um conjunto integrado de modelos de simulação atmosférica, bases de dados meteorológicos e geográficos, redes de computadores e sistemas de armazenamento. O sistema foi desenvolvido nos Estados Unidos pela *TrueWind Solutions* (hoje, AWS *Truepower* LLC) com suporte do *New York State Energy Research and Development Authority* – NYSERDA e *US Department of Energy* – DoE. O *MesoMap* foi empregado no projeto inicial de mapeamento eólico do Estado de Nova Iorque e posteriormente para projetos similares na Europa, Ásia, Américas do Norte, Central e Sul, incluindo o do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro[4].

Atualmente, é o mais avançado, testado e validado sistema de mapeamento em uso, possuindo diversas vantagens sobre métodos tradicionais de avaliação de recursos eólicos. Uma delas é a capacidade de simular áreas continentais sem a necessidade inicial de dados anemométricos de superfície efetivamente medidos – fator importante para regiões onde medições consistentes e confiáveis são raras. No seu lugar, o *MesoMap* utiliza-se inicialmente da base climatológica e dados de reanálise processada pela AWS *Truepower*, simulando os regimes de vento já considerados para o longo prazo. Outra vantagem do *MesoMap* é a capacidade de modelar importantes fenômenos meteorológicos não considerados em modelos mais simplificados de escoamento de ventos (e.g., *WAsP* - Jackson-Hunt[65], ou *WindMap* - NOABL)[7][78] como, por exemplo, ondas orográficas, ventos convectivos, brisas marinhas e lacustres e ventos térmicos descendentes de montanhas, entre outros.

Para caracterizar o recurso eólico de uma região, o *MesoMap* recria as condições reais climáticas de 366 dias escolhidos aleatoriamente dentre registros históricos de 15 anos. O sistema envolve um amplo conjunto de dados geográficos e meteorológicos de entrada. Os principais dados geográficos de entrada são a topografia, o uso do solo (modelo de rugosidade) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN. Os principais dados meteorológicos de entrada são os provenientes de reanálises, radiossondagens e temperatura sobre a terra e oceanos. Atribui-se grande relevância aos provenientes das reanálises, com representação geográfica global, que



Figura 5.2 Representação esquemática do processo *MesoMap*

são utilizados em conjunto com dados existentes de radiossondagens e temperaturas da superfície terrestre para estabelecer as condições iniciais e de contorno para a progressão das simulações. A partir dessas condições iniciais, o modelo determina a evolução das condições meteorológicas dentro da região em estudo, com base nas interações entre os distintos elementos da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície terrestre.

O sistema *MesoMap* possui, na configuração empregada no presente trabalho, dois módulos principais: o *Mesoscale Atmospheric Simulation System* – MASS[15], que é um modelo numérico de mesoescala similar aos modelos de previsão do tempo ETA e MM5, e o *WindMap*, um modelo de simulação de camada-limite atmosférica de microescala, fundamentado na equação da continuidade (conservação de massa ou escoamento não divergente). A descrição dos módulos computacionais e informações adicionais sobre o sistema *MesoMap* são apresentadas no Apêndice C.

A Figura 5.2 é uma representação sucinta do processo completo.

Na próxima seção, resume-se a metodologia adotada para obtenção dos modelos de terreno usados nas simulações *WindMap* deste trabalho. A metodologia de processamento das medições anemométricas utilizadas para o balizamento e ajuste dos mapas eólicos produzidos pelo sistema *MesoMap* é apresentada no Item 5.3.1.

5.1.1 Áreas de Mapeamento e Casos Característicos

As simulações de mesoescala (*MASS*) para o Atlas Eólico da Paraíba foram realizadas nas instalações da AWS *Truepower*, nos Estados Unidos, enquanto os ajustes no modelo de mesoescala e o mapeamento na resolução final, com o módulo *WindMap*, foram realizados pela Camargo-Schubert.

Para as simulações do *MASS*, em resolução de 2,5 km x 2,5 km, o Estado da Paraíba foi subdivido em duas grandes áreas, enquanto para as simulações *WindMap*, em resolução de 100 m x 100 m, foram necessárias 10 subdivisões.

Considerando todas as 10 subdivisões, foram necessárias aproximadamente 160 horas de processamento apenas para as simulações *WindMap*. O trabalho também se utilizou de ferramentas próprias para otimização do processo, como para manipulação de mapas com grande volume de informações nas etapas intermediárias, compilação final dos dados e controle remoto dos *softwares*.

No Capítulo 6 são apresentados os mapas eólicos já ajustados pelas medições anemométricas. Esses mapas foram posteriormente utilizados nos cálculos de integração do potencial eólico do Estado (Capítulo 7).

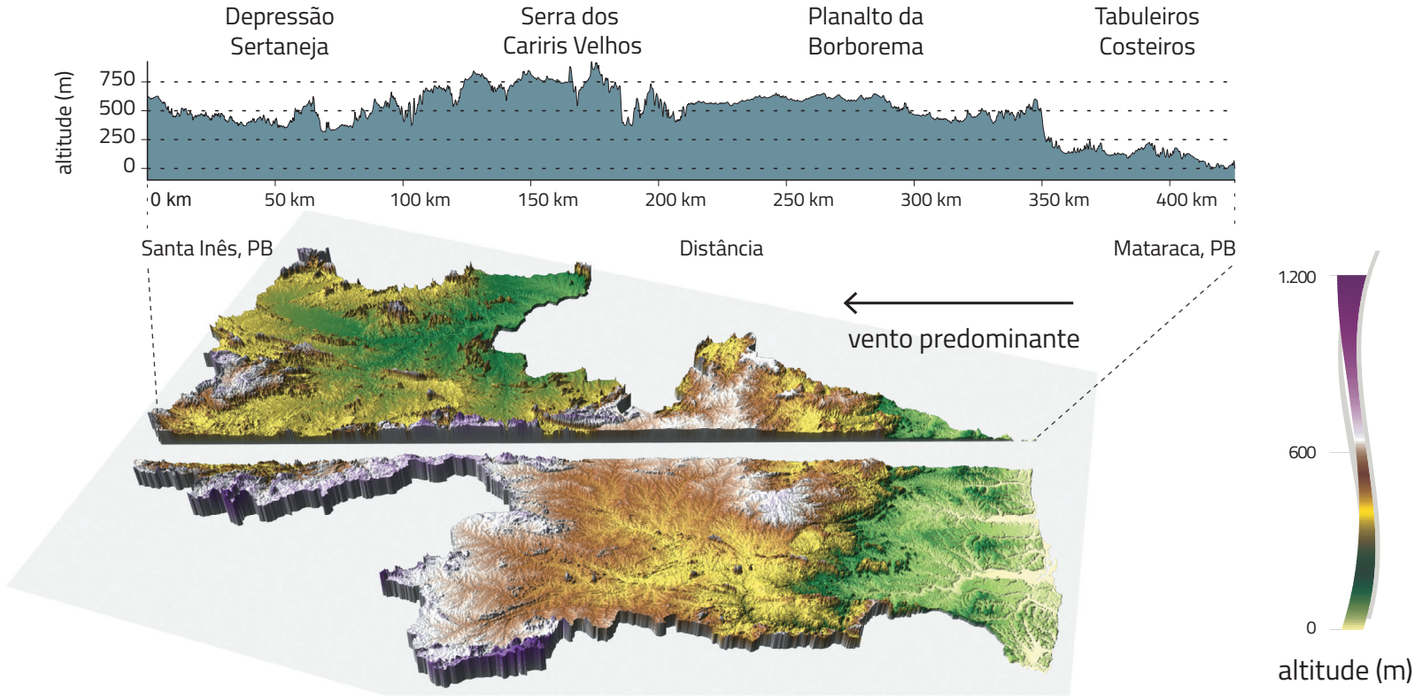


Figura 5.3 Perfil da elevação na direção leste para oeste, extraído do modelo de relevo SRTM

5.2 Modelos de Terreno

5.2.1 Modelo Digital de Relevo

O modelo digital de relevo do Estado da Paraíba foi elaborado a partir de dados coletados pela missão SRTM. Essa missão, executada em fevereiro de 2000 pela *National Aeronautics and Space Administration* - NASA em cooperação com o departamento de defesa dos Estados Unidos e agências espaciais da Alemanha e Itália, mapeou a topografia de todos os continentes com a técnica de interferometria, empregando um radar de abertura sintética a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. O posterior processamento dos dados coletados nas bandas X e C[25] desse radar proporcionou um modelo digital de elevação na resolução espacial de 90 m x 90 m para todo o planeta, o qual ainda permanece, para várias regiões, a base de dados topográficos digitais mais confiáveis disponível publicamente. A resolução da base SRTM é compatível com a escala de mapeamento regional, como é o caso deste trabalho e, em geral, permite a identificação satisfatória das principais formas de relevo e características geomorfológicas.

As características topográficas do terreno são de fundamental importância para várias etapas no processo de levantamento do potencial eólico. Dentre as atividades que dependem do modelo digital de relevo, podemos citar as simulações computacionais de camada-limite atmosférica em alta resolução, o cálculo da densidade do ar e a avaliação da adequabilidade dos sítios eólicos quanto à complexidade do relevo. No presente processo, o modelo de elevação também foi utilizado como dado complementar para a elaboração do modelo de rugosidade, auxiliando na interpretação de imagens óticas dos sensores orbitais.

O gráfico da Figura 5.3 ilustra um corte transversal da elevação, de oeste para leste, ao longo de todo Estado da Paraíba na direção do vento predominante, permitindo a visualização dos principais elementos do relevo. O modelo digital de relevo do Estado da Paraíba é apresentado no Mapa 5.1.

atlas-PB.indb 46 25/11/2017 09:07:34

5.2.2 Modelo de Rugosidade

A rugosidade aerodinâmica, ou comprimento de rugosidade aerodinâmico z_0, é a parametrização das características do uso e cobertura da terra para a modelagem do vento próximo à superfície. A estimativa da rugosidade aerodinâmica ainda é um problema aberto na literatura especializada, em que vários métodos para o cálculo da rugosidade estão disponíveis, em sua grande maioria na escala micrometeorológica[57]. A estimativa correta dos valores de rugosidade aerodinâmica é importante nos projetos de engenharia eólica, pois esses projetos fundamentam-se em modelagens do escoamento atmosférico em alturas de até 150 m, em que há grande influência desse parâmetro. Além da engenharia eólica, os métodos para o cálculo dos valores de z_0 podem interessar à química da baixa atmosfera, na área de dispersão de poluentes, à agrometeorologia ou a qualquer outro segmento da micrometeorologia.

De um modo simplificado, pode-se entender que o valor z_0 representa a distância vertical sobre a superfície a partir da qual se pode considerar um perfil de velocidade vertical. Nesse sentido, quanto maior a rugosidade, mais energia está sendo retirada do vento próximo à superfície. Isso implica que a velocidade do vento ao longo do perfil vertical se altera com o tipo de cobertura da terra. Quando não há cobertura vegetal e a superfície é plana, a velocidade torna-se assintótica a poucos metros acima do terreno, diferentemente de quando há uma floresta ou vegetação densa e a velocidade aumenta gradativamente com a altura. O perfil da elevação é, portanto, influenciado pela altura da cobertura vegetal e pela sua distribuição espacial, caracterizando-se, assim, um parâmetro de relevância para a viabilidade dos empreendimentos.

A parametrização do valor de rugosidade engloba um conjunto de condições de contorno e de considerações termodinâmicas da atmosfera sobre sua interação com a superfície. A rugosidade do terreno é determinada pela altura, espaçamento e característica dos elementos distribuídos sobre a superfície do terreno. O Apêndice D.2 apresenta algumas fórmulas comumente utilizadas para descrever o perfil vertical da velocidade do vento. A Tabela 5.1 apresenta valores típicos de rugosidade associados a diversos tipos de cobertura e uso da terra.

Na prática, em escalas regionais, a determinação da rugosidade aerodinâmica é realizada a partir da interpretação e classificação digital de imagens de sensores orbitais (imagens de satélite) que representem o atual uso e cobertura. Os exemplos de fotografias a seguir ilustram diversos tipos de coberturas encontradas dentro dos limites do Estado da Paraíba. Para a interpretação do mapa de vegetação e das imagens, bem como para sua associação correta aos diversos tipos de rugosidade, os registros fotográficos por amostragem foram de fundamental importância.

Tipo de Cobertura e/ou uso da terra	Faixa de Rugosidade Z_0 [m]
Áreas urbanas	0,4 – 3
Florestas	0,4 – 0,8
Caatinga	0,1 – 0,4
Culturas agrícolas	0,02 – 0,1
Pastagens	0,02 – 0,05
Solo exposto	0,001 – 0,01
Corpos de água [lagos, oceano] *sem vento de superfície*	0,0002 – 0,001

Tabela 5.1 Faixas de Rugosidade por classes de uso/cobertura do solo

5.2.3 Metodologia para Elaboração do Modelo de Rugosidade

A metodologia para geração do modelo de rugosidade aerodinâmica adotada neste Atlas combinou técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto com o propósito de levar em consideração, durante a elaboração do modelo, a variação fenológica da vegetação, ou seja, as diferenças entre os períodos de crescimento e senescência.

O processo combinou dados multitemporais de sensoriamento remoto com mapeamentos de uso e cobertura do solo pré-existentes, e ainda com pontos de verdades terrestres obtidos a partir da campanha de registro fotográfico. O modelo digital de elevação foi utilizado complementarmente para interpretação das áreas, tendo sido relevante principalmente nas áreas de elevada declividade e drenagem complexa.

A primeira etapa consistiu na classificação multitemporal do uso e cobertura da terra a partir de imagens de índice de vegetação derivados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* – MODIS[36]. O MODIS é um tipo de sensor de observação do planeta atualmente a bordo dos satélites *Terra* (NASA EOS AM-1) e *Aqua* (NASA EOS PM-1)[67], integrando o programa de observação da Terra da NASA.

Os índices de vegetação são comumente usados para estudos da superfície terrestre por estarem diretamente relacionados à quantidade de biomassa na superfície. As variações temporais do índice *Enhanced Vegetation Index two band* – EVI2, por exemplo, ressaltam tanto o tipo de vegetação como os períodos em que a vegetação está verde, ou fotossinteticamente ativa.

Para as áreas de caatinga, há uma grande correlação entre a chuva e o crescimento da vegetação, bem como entre a falta de precipitação e a senescência. A partir dos valores de séries temporais de EVI2, foi gerada

atlas-PB.indb 47 25/11/2017 09:07:34

uma imagem sintética representando a variabilidade espacial da cobertura vegetal, mostrada no Mapa 5.2. As diferentes cores representam os diversos padrões da cobertura vegetal do Estado. A partir do mapa de tipo de vegetação disponibilizado pelo PROBio[62], amostras de campo de fotografias aéreas e terrestres e associação de valores com base na tabela de referência, elaborou-se o mapa de rugosidade anual (Mapa 5.3).

FOTOS: ZIG KOCH

a



b



c



d



e



Figura 5.4 Exemplos de classes de rugosidade de acordo com o uso e cobertura do solo:
a. Caatinga arbustiva, em São João do Tigre,
b. Caatinga arbórea, em Teixeira,
c. Área antropizada, em Nova Floresta,
d. Canavial, em Rio Tinto,
e. Fragmentos remanescentes de mata, em Rio Tinto

miolo-PBAmb_48
25/11/2017 09:07:56

5.3 Medições Anemométricas

O presente mapeamento contou com uma rede qualificada de seis torres anemométricas para sua validação, com período de medição variando entre dois e cinco anos.

Foram instaladas seis torres, com apoio da CHESF, em locais criteriosamente selecionados pela Universidade Federal de Campina Grande, nos munícipios de Campina Grande (3 anos), Damião (3 anos), Juazeirinho (3 anos), Mataraca (4 anos), Pitimbu (2 anos) e Teixeira (5 anos). Os locais escolhidos são representativos das principais regiões do Estado, em áreas de baixa rugosidade e devidamente afastadas de obstáculos. A distribuição espacial das torres utilizadas é indicada nos mapas de Potencial Eólico Anual (Mapas 6.4 a 6.10).

As torres, todas com características geométricas semelhantes e com altura de 100 metros, foram instrumentadas com quatro anemômetros tipo *first class*, instalados nas alturas de 102, 100, 70 e 10 metros, três sensores de direção, nas alturas de 100, 70 e 10 metros, além de um barômetro e um termo-higrômetro, ambos a aproximadamente 10 metros de altura. Todos os anemômetros foram previamente calibrados em túnel de vento, segundo os padrões europeus de certificação[58].

Informações detalhadas sobre as características das torres, os instrumentos nelas instalados, descrição da metodologia empregada para o processamento dos dados obtidos durante a campanha, bem como os sumários estatísticos das medições, podem ser encontrados no Apêndice I.

Ao final do processo de mapeamento, as médias de longo prazo previstas pelo modelo *MesoMap* foram comparadas com os resultados das análises dos dados anemométricos. Os mapas sofreram então ajustes estatísticos, de modo que os valores apresentados representam as medições realizadas em campo.

5.3.1 Metodologia de Processamento

Os dados das estações meteorológicas provêm de estações equipadas com instrumentos instalados em alturas diversas. Os dados fundamentais são a velocidade do vento, medida pelo anemômetro, e a indicação da direção, registrada pela *windvane*. Essas variáveis físicas são traduzidas por esses equipamentos em sinais elétricos posteriormente interpretados e armazenados por *dataloggers* (Seção 4.2.1). Nos *dataloggers*, as medidas, normalmente amostradas a cada segundo, são gravadas em médias resultantes de cada dez minutos e registradas em arquivos binários diários, denominados arquivos brutos (*raw data*). Os arquivos binários são posteriormente decodificados por *softwares* específicos em arquivos de séries temporais que devem ser corrigidas pelos parâmetros de calibração dos instrumentos que os geraram. Os parâmetros de calibração são valores particulares de cada sensor fabricado, e são obtidos em ensaios de túneis de ventos, geralmente em certificadoras especializadas. Os registros gravados pelas *windvanes*, por outro lado, embora não requeiram parâmetros de calibração certificados para serem interpretados, necessitam de correção de acordo com sua orientação física em relação ao norte (*offset*), valor este determinado em campo, durante sua instalação, no início da campanha de medição anemométrica.

No presente trabalho, esses parâmetros, juntamente com as séries temporais de dados e as informações físicas sobre as estações anemométricas (coordenadas geográficas, altitude, dimensões e características das torres e alturas dos instrumentos) foram compilados em um banco de dados organizado em blocos mensais. Um sumário das campanhas é apresentado no Apêndice I. Os dados foram, na sequência, inspecionados visualmente, por meio de gráficos, e analiticamente, por meio de verificações de consistência e comparações entre dados de estações próximas. Esse procedimento visou à classificação das falhas como corrigíveis ou descartáveis.

O próximo passo foi a uniformização dos dados de velocidade do vento, considerando a altura dos mapas eólicos que estavam sendo produzidos. Por meio dessa uniformização, os dados foram extrapolados para as alturas de 70, 100, 120 e 150 metros.

As medições anemométricas foram ajustadas considerando a variabilidade interanual do vento no período de 20 anos. O ajuste climatológico tem o objetivo de corrigir as variabilidades interanuais do vento na escala de longo prazo. Baseados em dados de reanálises da base MERRA[80], os valores de velocidade do vento foram correlacionados e ajustados para cada uma das torres.



ZIG KOCH

Figura 5.5 Torre de medição anemométrica considerada no mapeamento do Atlas Eólico do Estado da Paraíba, em Campina Grande

atlas-PB.indb 49 25/11/2017 09:07:37

Figura 5.6 Aerogeradores em Mataraca



ZIG KOCH

atlas-PB.indb 50 25/11/2017 09:07:47

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

MODELO DIGITAL DE RELEVO ▪

Mapa 5.1 ▪

Elaborado a partir da base topográfica SRTM *(Shuttle Radar Topography Mission)*, versão 4.1 - NASA/USGS[25]

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], IBGE[46], [47], SRTM[25]

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

Divisas estaduais
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Sedes municipais
Corpos de água
Rios

altitude (m)
0 200 400 600 800 1000 1200

ESCALA 1 : 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 km

atlas-PB.indb 51 25/11/2017 09:07:57

atlas eólico
PARAÍBA

IMAGEM SINTÉTICA MODIS ▪

Mapa 5.2 ▪

Elaborado a partir de imagens EVI2 do sensor MODIS[36] para ressaltar a variabilidade espacial do uso e cobertura do solo.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], IBGE[46], [47], MODIS[36], [67], SRTM[25]

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · UFCG Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

Rio Grande do Norte · Ceará · Pernambuco · Oceano Atlântico

Divisas estaduais
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Sedes municipais
Corpos de água
Rios

ESCALA 1 : 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 km

atlas-PB.indb 52 25/11/2017 09:08:02

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · UFCG Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

MODELO DE RUGOSIDADE ▪

Mapa 5.3 ▪

ELABORADO EM RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 100 m x 100 m, a partir de imagens MODIS EVI2, mapa de vegetação e amostragens de campo.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], IBGE[46], [47], MODIS[36], [67], SRTM[25]

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

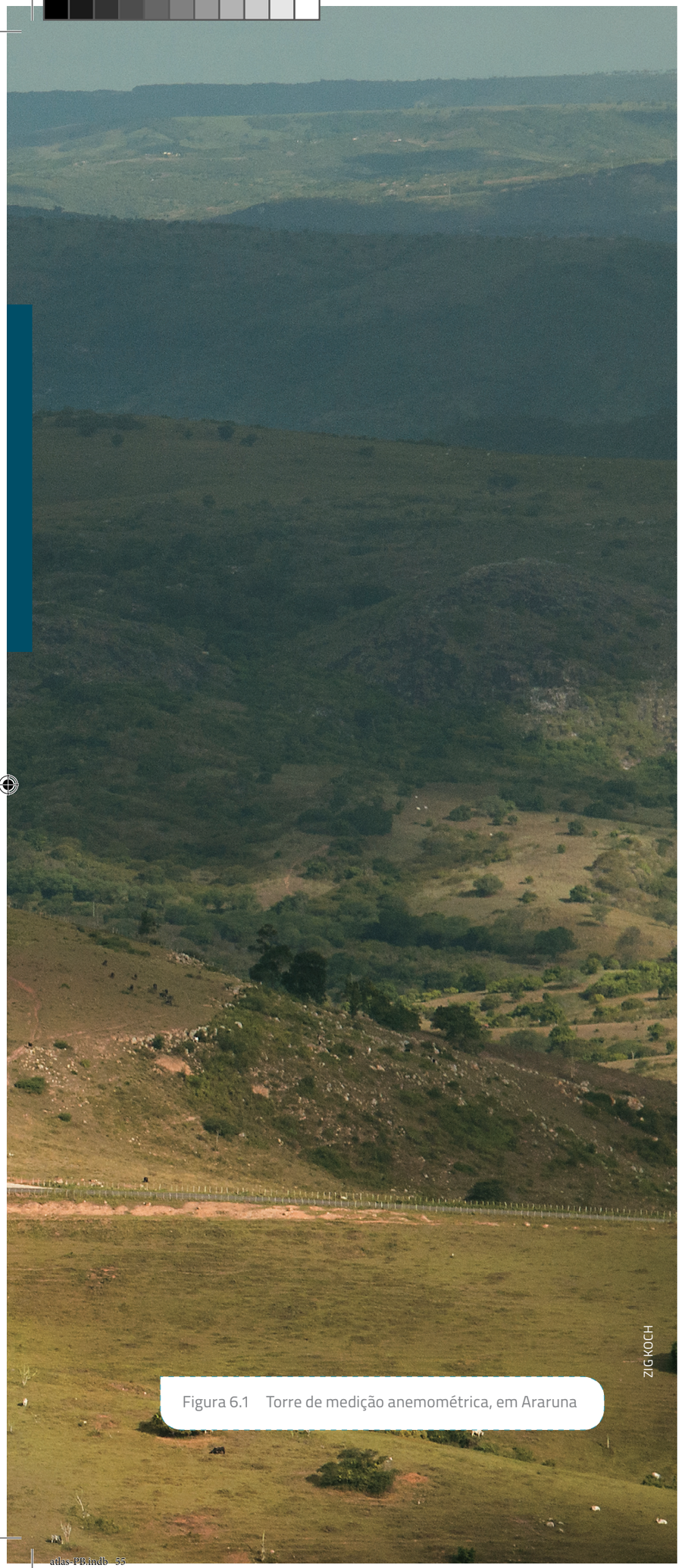
Divisas estaduais
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Sedes municipais
Corpos de água
Rios

rugosidade (m)
0,001 0,01 0,1 1

ESCALA 1 : 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 km

atlas-PB.indb 53 25/11/2017 09:08:07

6 Mapas Eólicos



ZIG KOCH

Figura 6.1 Torre de medição anemométrica, em Araruna

Mapa 6.1 **Rosas dos Ventos Anuais, frequências x direções**

Mapa 6.2 **Rosas dos Ventos Anuais, velocidades normalizadas x direções**

Mapa 6.3 **Potencial Eólico Sazonal a 70 m de altura**

Mapa 6.4 **Potencial Eólico Anual a 70 m de altura**

Mapa 6.5 **Potencial Eólico Sazonal a 100 m de altura**

Mapa 6.6 **Potencial Eólico Anual a 100 m de altura**

Mapa 6.7 **Potencial Eólico Sazonal a 120 m de altura**

Mapa 6.8 **Potencial Eólico Anual a 120 m de altura**

Mapa 6.9 **Potencial Eólico Sazonal a 150 m de altura**

Mapa 6.10 **Potencial Eólico Anual a 150 m de altura**

Mapa 6.11 **Densidade Média Anual do Ar**

Mapa 6.12 **Fator de Forma de Weibull Anual**

adas-PBandb 55

23/11/2017 09:08:26

atlas eólico

PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · AWS TRUEPOWER · CAMARGO SCHUBERT

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

38°30' W · 38°00' W · 37°30' W · 37°00' W · 36°30' W · 36°00' W · 35°30' W · 35°00' W

6°00' S · 6°30' S · 7°00' S · 7°30' S · 8°00' S

Catolé do Rocha · Brejo do Cruz · Belém do Brejo do Cruz · Brejo dos Santos · Riacho dos Cavalos · Bom Sucesso · Santa Cruz · Vieirópolis · Uiraúna · Triunfo · Lastro · Paulista · SÃO BENTO · Sta. Helena · S. João do Rio do Peixe · SOUSA · Aparecida · POMBAL · Marizópolis · Nazarezinho · Malta · Condado · Santa Luzia · S. Mamede · CAJAZEIRAS · Cachoeira dos Índios · São José da Lagoa Tapada · Coremas · RATOS · Aguiar · S. José de Piranhas · Igaracy · Piancó · Olho D'Água · São José de Caiana · Itaporanga · Bonito de Santa Fé · Diamante · Boa Ventura · Santana dos Garrotes · Nova Olinda · Ibiara · Conceição · Santana de Mangueira · Juru · Tavares · Manaíra · Princesa Isabel · Imaculada · Matureia · Teixeira · Desterro · Cacimbas · Taperoa · Livramento · Serra Branca · Sumé · Camalaú · MONTEIRO · Juazeirinho · Junco do Seridó · Soledade · Boa Vista · CAMPINA GRANDE · QUEIMADAS · Nova Floresta · Picuí · Cuité · Pedra Lavrada · Seridó · Cubati · Barra de Santa Rosa · Araruna · Cacimba de Dentro · Dona Inês · Tacima · Casserengue · Arara · Solânea · Bananeiras · Borborema · Pilões · Areia · Remígio · Esperança · Areial · Alagoa Nova · Alagoa Grande · Lagoa de Roca · Puxinanã · Lagoa Seca · Massaranduba · Serra Redonda · Juarez Tavora · Pocinhos · Caaporã · Cuité · Araçagi · Pilõezinhos · Pirpirituba · Belém · Lagoa de Dentro · Pedro Régis · Jacaraú · Mulungu · Gurinhém · Mari · Sapé · Sobrado · Caldas Brandão · S. Miguel de Taipu · Pilar · Itabaiana · Juripiranga · Mogeiro · Inga · Salgado de São Félix · Itatuba · Fagundes · Gado Bravo · Natuba · Umbuzeiro · Alagoa Nova · Serra Branca · Cabaceiras · Boqueirão · Barra de Santana · Aroeiras · Barra de São Miguel · Santa Cecília · Mataraca · Baía da Traição · Curral de Cima · Marcação · Rio Tinto · Itapororoca · MAMANGUAPE · Capim · Cruz do Espírito Santo · Lucena · CABEDELO · BAYEUX · JOÃO PESSOA · SANTA RITA · Alhandra · Pitimbu · Conde

ESCALA 1 : 1 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 10 20 30 40 50 km

Divisas estaduais · Estradas pavimentadas · Estradas não pavimentadas · Ferrovias · Sedes municipais · Corpos de água · Rios

Frequências x direções (30% · 20% · 10%)

altitude (m): 0 · 200 · 400 · 600 · 800 · 1000 · 1200

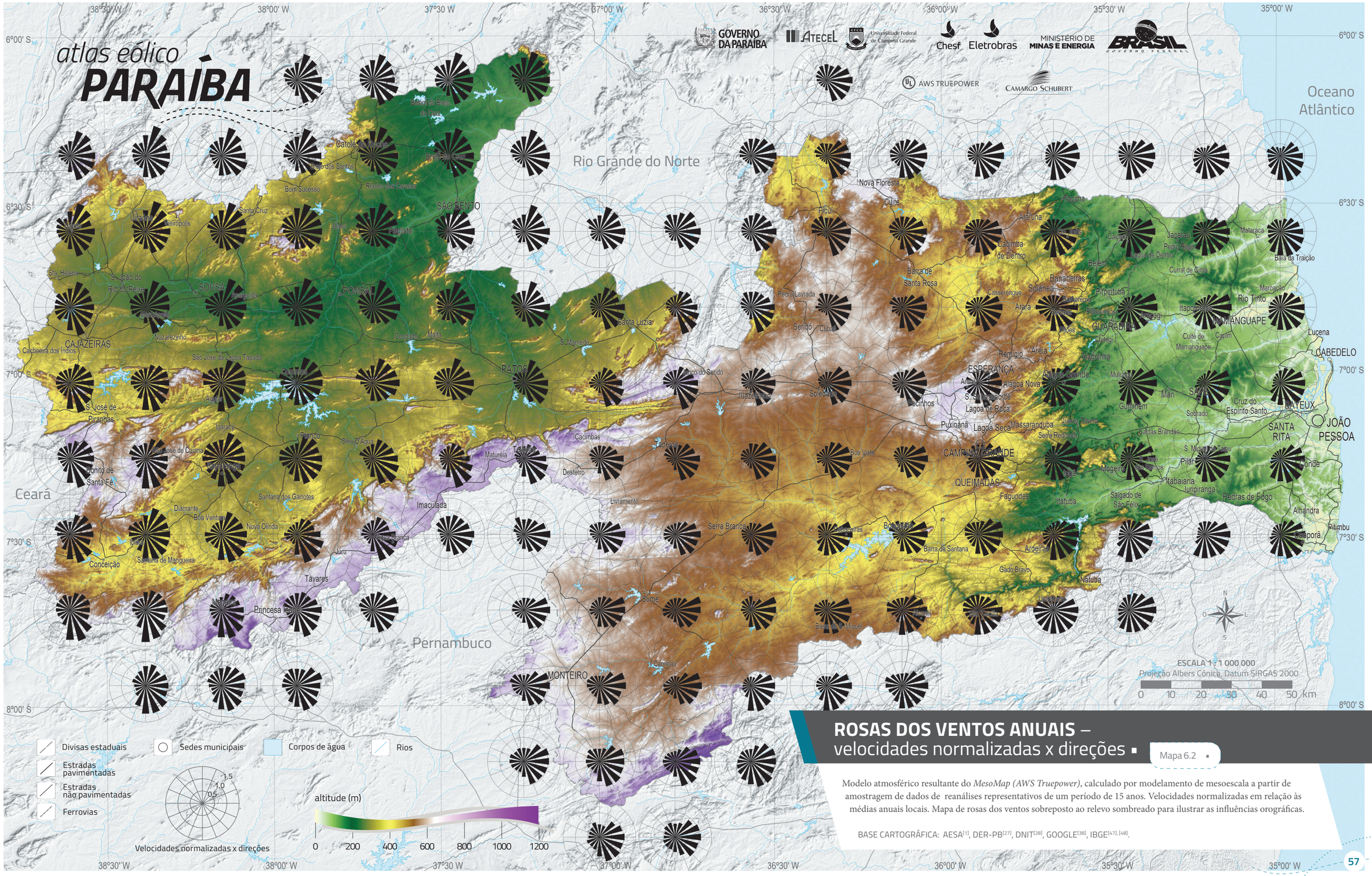
ROSAS DOS VENTOS ANUAIS – frequências x direções ▪

Mapa 6.1 ▪

Modelo atmosférico resultante do *MesoMap (AWS Truepower)*, calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises representativos de um período de 15 anos. Mapa de rosas dos ventos sobreposto ao relevo sombreado para ilustrar as influências orográficas.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], GOOGLE[38], IBGE[47], [48].

atlas-PB.indb 56 25/11/2017 09:08:34



ROSAS DOS VENTOS ANUAIS – velocidades normalizadas x direções ▪ Mapa 6.2 ▪

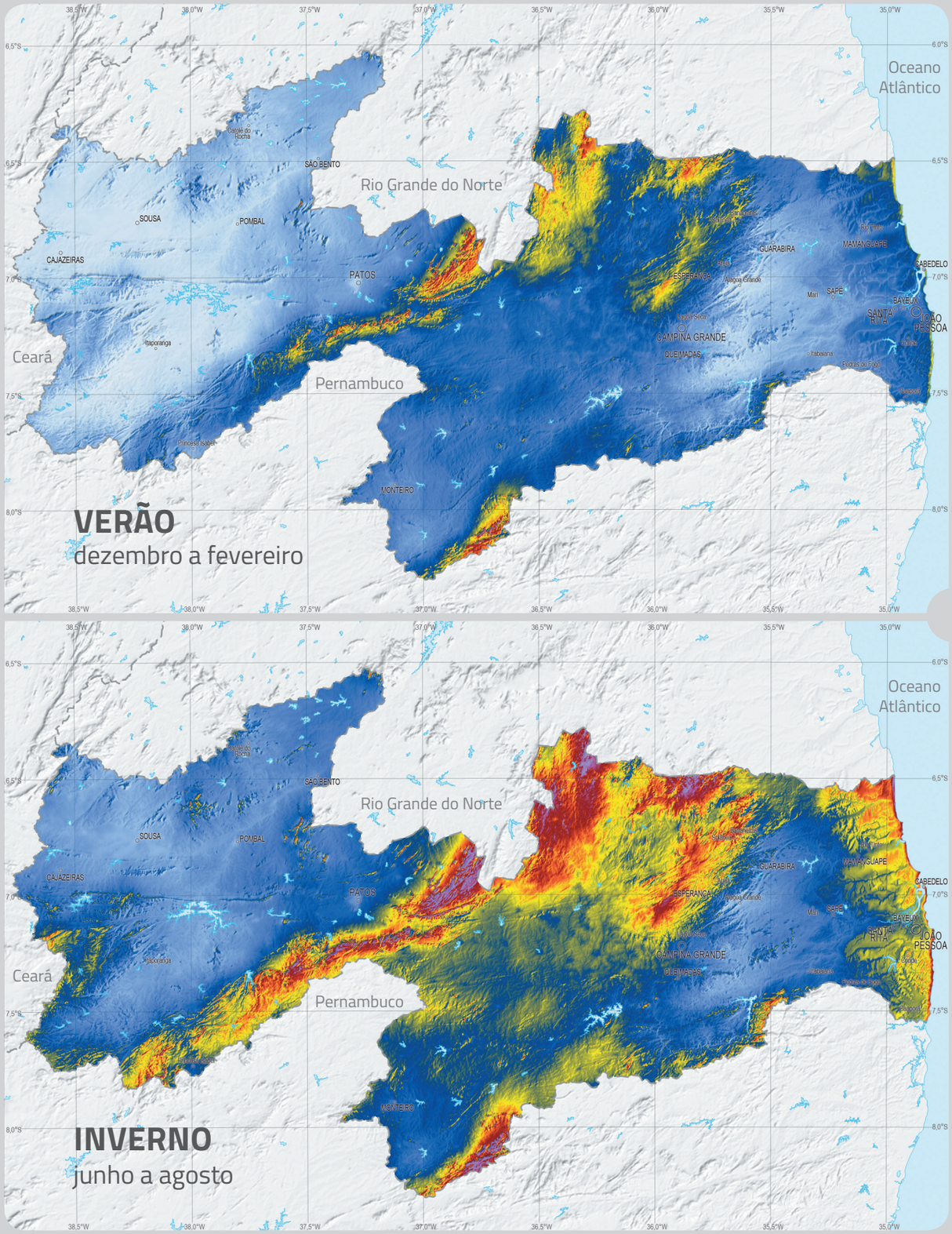
Modelo atmosférico resultante do *MesoMap (AWS Truepower)*, calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises representativos de um período de 15 anos. Velocidades normalizadas em relação às médias anuais locais. Mapa de rosas dos ventos sobreposto ao relevo sombreado para ilustrar as influências orográficas.

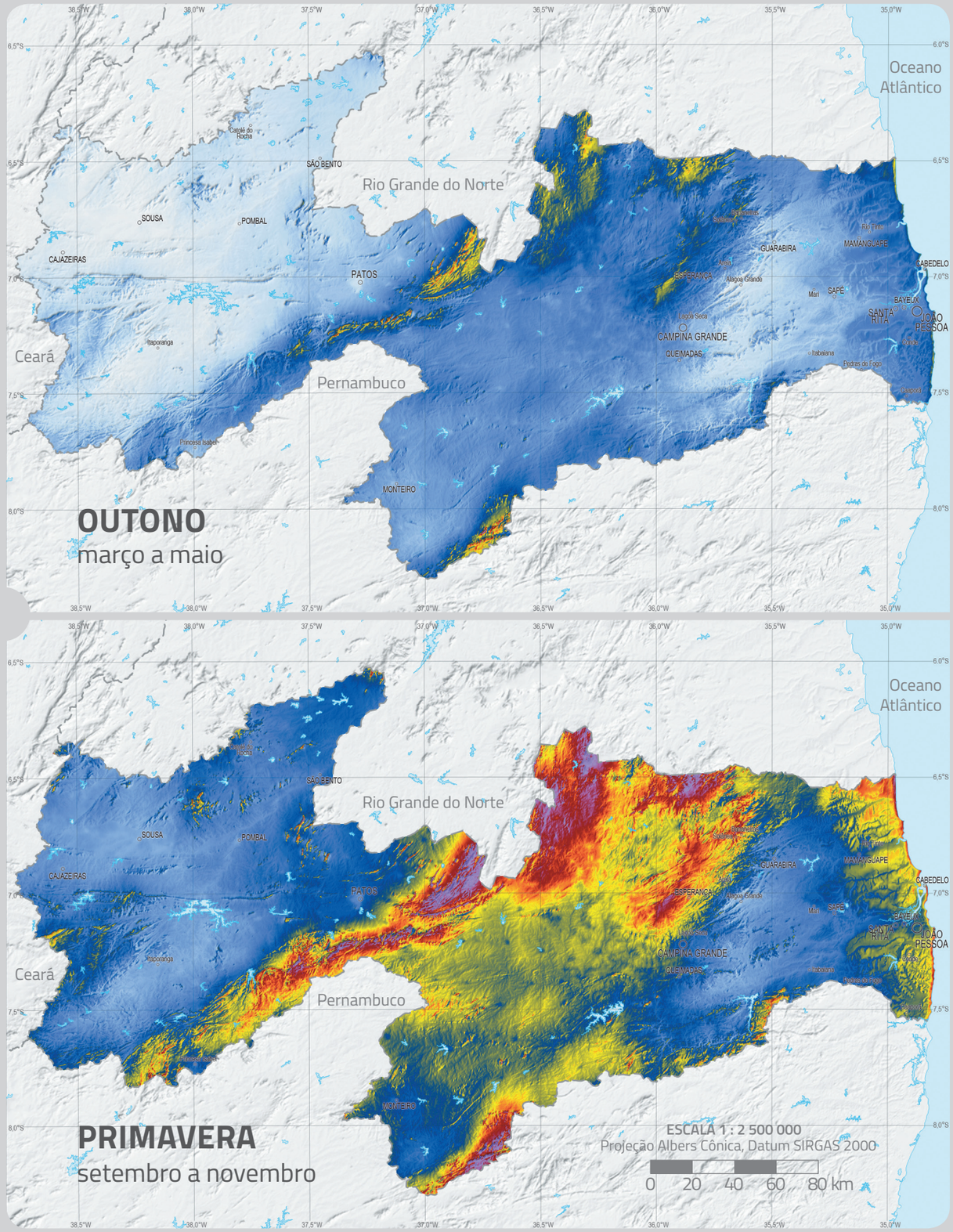
BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], GOOGLE[38], IBGE[47], [48].

atlas-PB.indb 57 25/11/2017 09:08:41

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL – a 70 metros de altura ▪

Mapa 6.3 ▪





atlas-PB.indb 58 25/11/2017 09:08:47

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · AteceL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · AWS TRUEPOWER · CAMARGO SCHUBERT

velocidade do vento (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

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

para Ceará Mirim II

para Paraiso, Natal III e Extremoz II

para Milagres

p/ Milagres

para Garanhuns II

para Tacaimbó

ESCALA 1 : 1 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 10 20 30 40 50 km

LT 500 kV planejada
LT 230 kV planejada
LT 230 kV
LT 138 kV
LT 69 kV
Portos
Aeroportos e campos de pouso
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Subestações
Pequenas centrais hidrelétricas
Usinas térmicas
Usinas eólicas em operação
Usinas eólicas em projeto e com outorga
Torres anemométricas
Área de proteção integral e terras indígenas
Sedes municipais
Divisas municipais
Divisas estaduais
Corpos de água
Rios

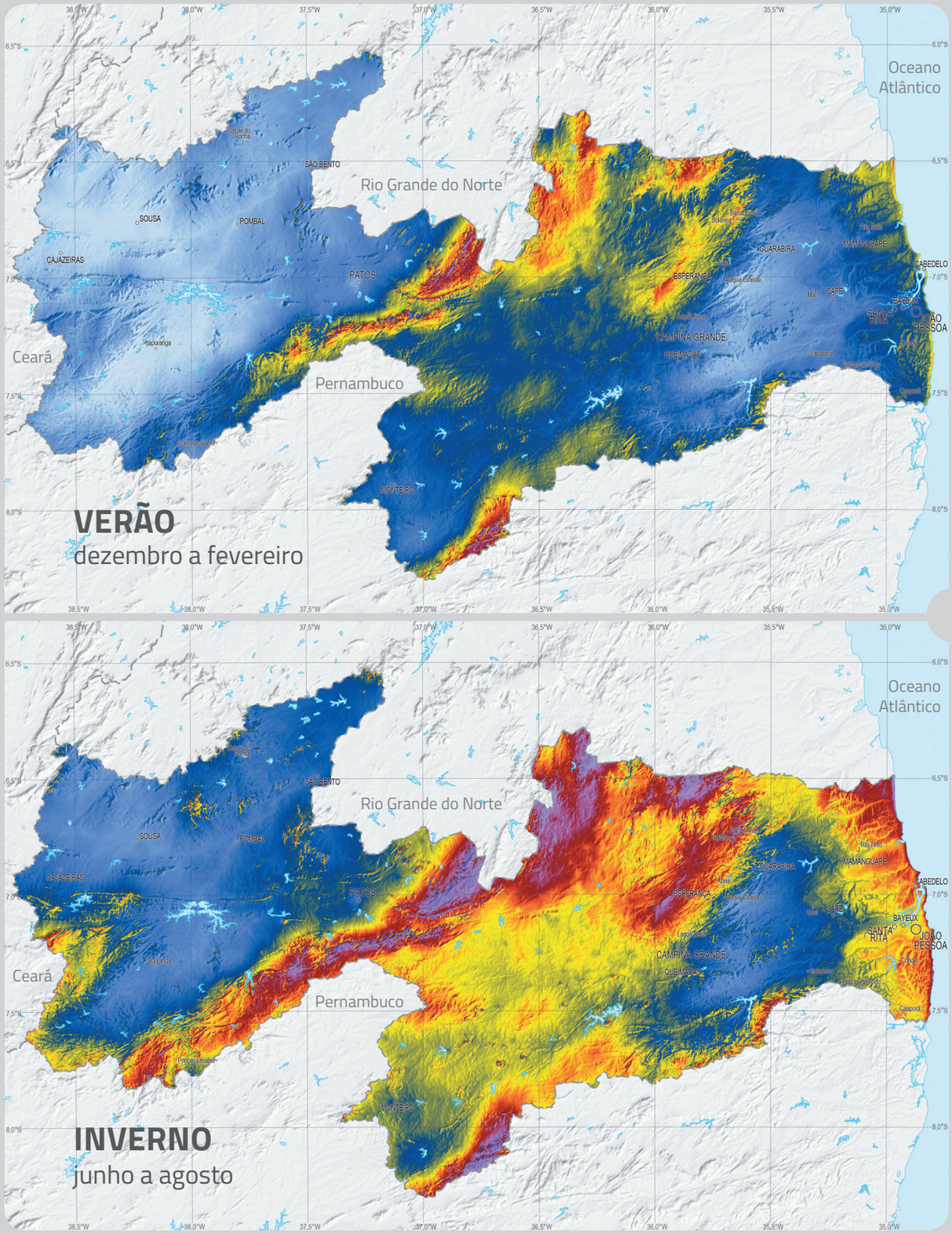
POTENCIAL EÓLICO ANUAL – a 70 metros de altura ▪ Mapa 6.4 ▪

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*), em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 100 m x 100 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[47],[48], MMA[60],[61], ONS[71].

atlas-PB.indb 59 25/11/2017 09:08:52

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL –
a 100 metros de altura ▪ Mapa 6.5 ▪



atlas-PB.indb 60 25/11/2017 09:08:57

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · AMTECEL · UFCG Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · AWS TRUEPOWER · CAMARGO SCHUBERT

velocidade do vento (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

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

para Ceará Mirim II

para Paraiso, Natal III e Extremoz II

para Milagres

p/ Milagres

para Garanhuns II

para Tacaimbó

ESCALA 1 : 1 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 10 20 30 40 50 km

LT 500 kV planejada
LT 230 kV planejada
LT 230 kV
LT 138 kV
LT 69 kV
Portos
Aeroportos e campos de pouso
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Subestações
Pequenas centrais hidrelétricas
Usinas térmicas
Usinas eólicas em operação
Usinas eólicas em projeto e com outorga
Torres anemométricas
Área de proteção integral e terras indígenas
Sedes municipais
Divisas municipais
Divisas estaduais
Corpos de água
Rios

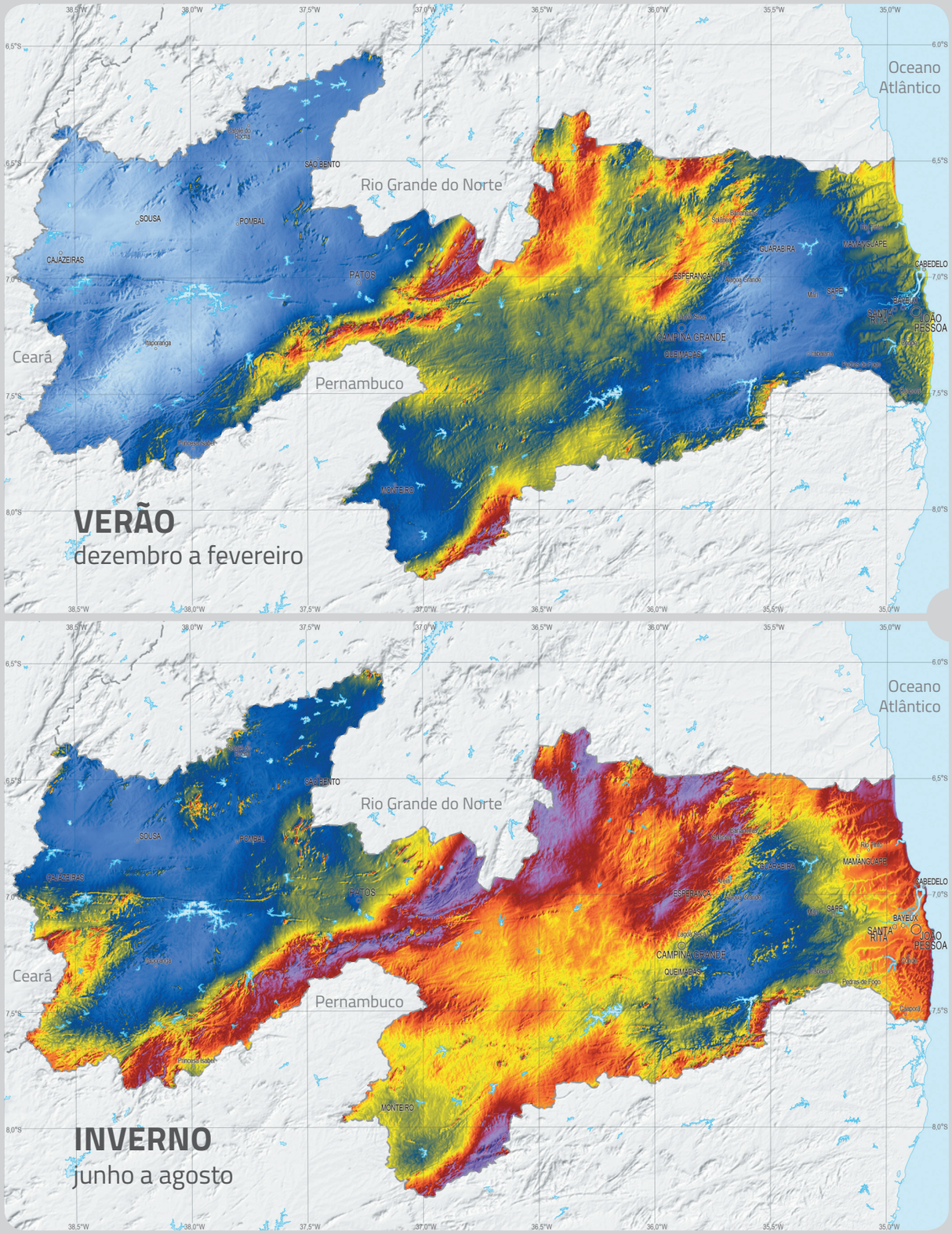
POTENCIAL EÓLICO ANUAL – a 100 metros de altura ▪ Mapa 6.6 ▪

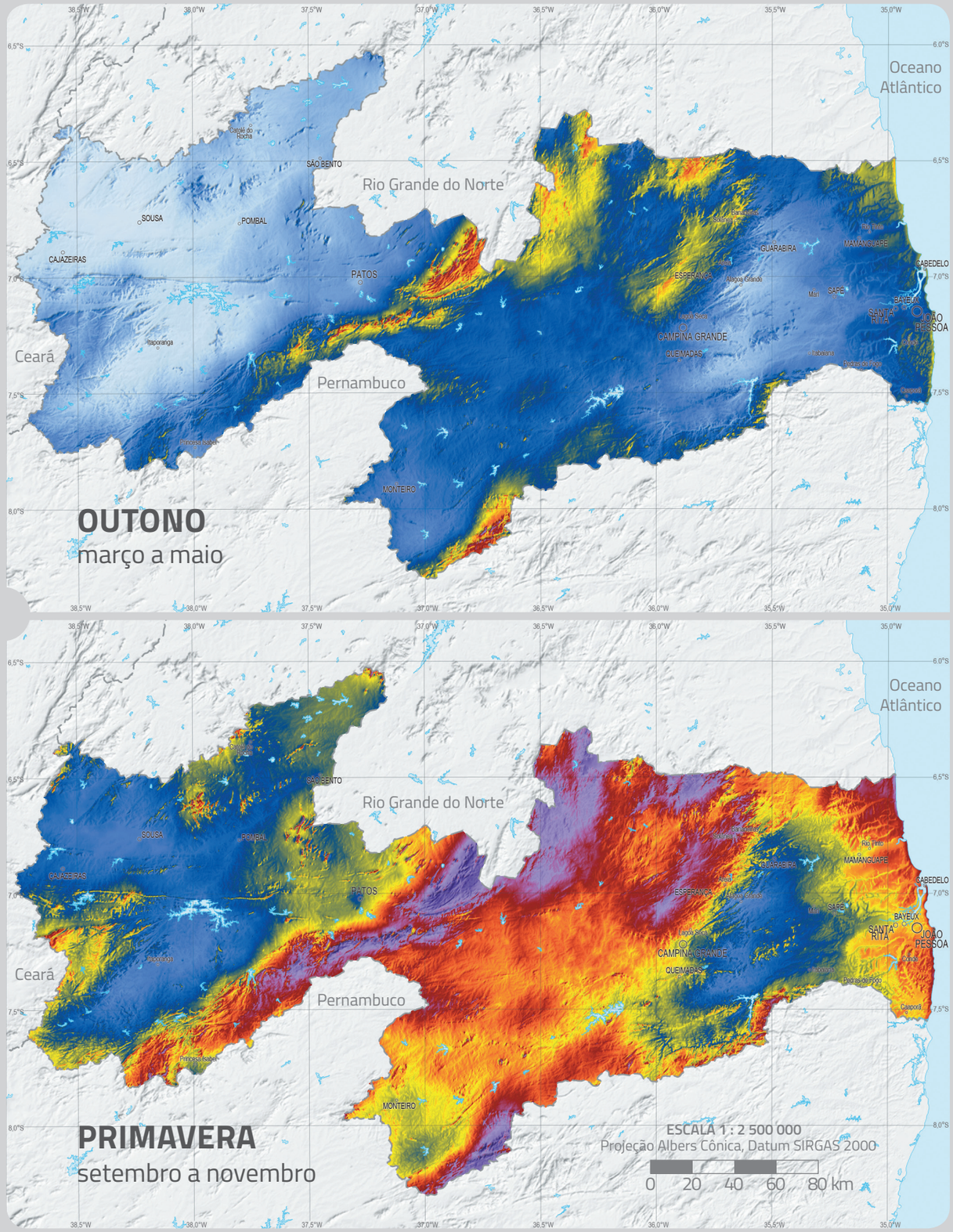
Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*), em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 100 m x 100 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[47],[48], MMA[60],[61], ONS[71].

atlas-PB.indb 61 25/11/2017 09:09:03

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL –
a 120 metros de altura ▪ Mapa 6.7 ▪





atlas-PB.indb 62 25/11/2017 09:09:08

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · AtecEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · AWS TRUEPOWER · CAMARGO SCHUBERT

velocidade do vento (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

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

para Milagres

para Ceará Mirim II

para Paraiso, Natal III e Extremoz II

para Garanhuns II

para Tacaimbó

ESCALA 1 : 1 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 10 20 30 40 50 km

LT 500 kV planejada
LT 230 kV planejada
LT 230 kV
LT 138 kV
LT 69 kV
Portos
Aeroportos e campos de pouso
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Subestações
Pequenas centrais hidrelétricas
Usinas térmicas
Usinas eólicas em operação
Usinas eólicas em projeto e com outorga
Torres anemométricas
Área de proteção integral e terras indígenas
Sedes municipais
Divisas municipais
Divisas estaduais
Corpos de água
Rios

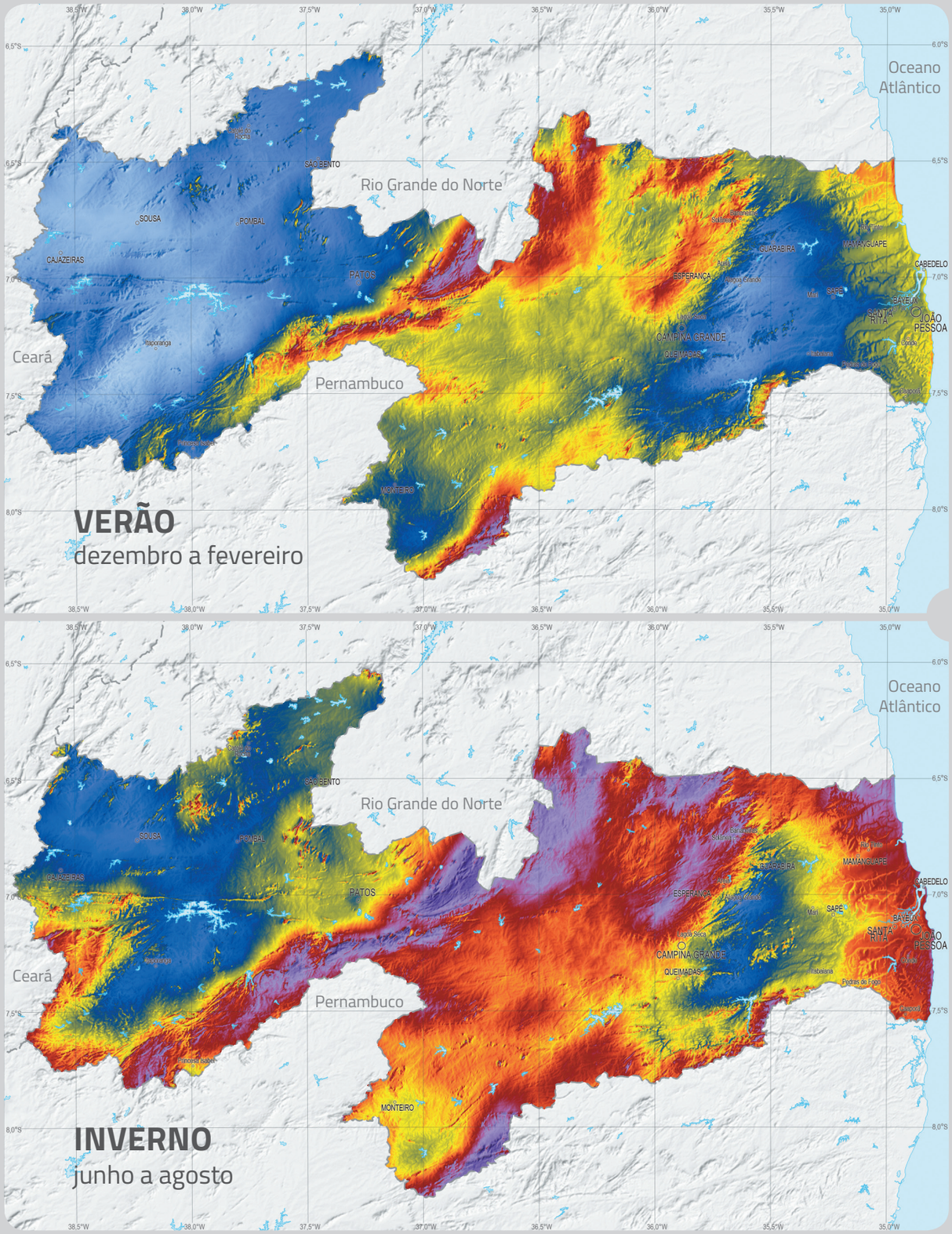
POTENCIAL EÓLICO ANUAL – a 120 metros de altura ▪ Mapa 6.8 ▪

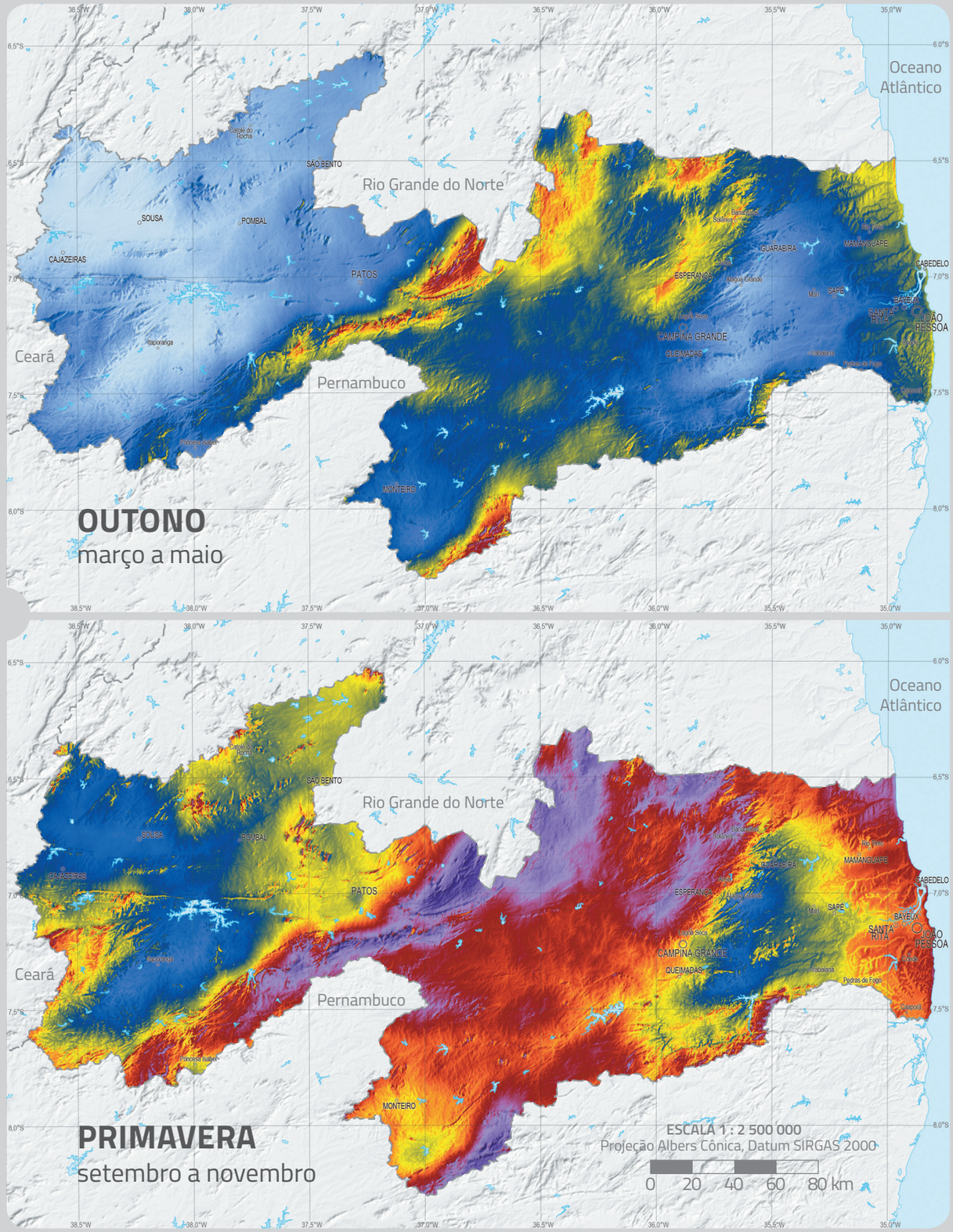
Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*), em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 100 m x 100 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[47],[48], MMA[60],[61], ONS[71].

atlas-PB.indb 63 25/11/2017 09:09:13

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL – a 150 metros de altura ▪ Mapa 6.9 ▪





atlas-PB.indb 64 25/11/2017 09:09:19

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · AtecEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · AWS TRUEPOWER · CAMARGO SCHUBERT

velocidade do vento (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

Oceano Atlântico

Rio Grande do Norte

Ceará

Pernambuco

para Milagres

p/ Milagres

para Ceará Mirim II

para Paraiso, Natal III e Extremoz II

para Garanhuns II

para Tacaimbó

ESCALA 1 : 1 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 10 20 30 40 50 km

- LT 500 kV planejada
- LT 230 kV planejada
- LT 230 kV
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- Portos
- Aeroportos e campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Subestações
- Pequenas centrais hidrelétricas
- Usinas térmicas
- Usinas eólicas em operação
- Usinas eólicas em projeto e com outorga
- Torres anemométricas
- Área de proteção integral e terras indígenas
- Sedes municipais
- Divisas municipais
- Divisas estaduais
- Corpos de água
- Rios

POTENCIAL EÓLICO ANUAL – a 150 metros de altura ▪ Mapa 6.10 ▪

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*), em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 100 m x 100 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[47],[48], MMA[60],[61], ONS[71].

atlas-PB.indb 65 25/11/2017 09:09:24

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

DENSIDADE MÉDIA ANUAL DO AR ▪

Mapa 6.11 ▪

Calculada sobre o modelo de relevo, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da atmosfera padrão ISA[68] e medições meteorológicas registradas em 14 estações do INMET entre 1961 e 1990[42].

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], GOOGLE[39], IBGE[47], [48], INMET[42].

38,5°W · 38,0°W · 37,5°W · 37,0°W · 36,5°W · 36,0°W · 35,5°W · 35,0°W

5,5°S · 6,0°S · 6,5°S · 7,0°S · 7,5°S · 8,0°S · 8,5°S

CEARÁ MIRIM · NATAL · FLORÂNIA · CRUZETA · SÃO GONÇALO · JOÃO PESSOA · CAMPINA GRANDE · TRIUNFO · MONTEIRO · SURUBIM · RECIFE · ARCOVERDE · PESQUEIRA

Oceano Atlântico · Rio Grande do Norte · Ceará · Pernambuco

Divisas estaduais
Estradas pavimentadas
Estradas não pavimentadas
Ferrovias
Estações meteorológicas do INMET
Sedes municipais
Corpos de água
Rios

densidade média anual do ar p (kg/m³)

1,04 · 1,06 · 1,08 · 1,10 · 1,12 · 1,14 · 1,16 · 1,18 · 1,20 · 1,22

N · O · L · S

ESCALA 1 : 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 · 20 · 40 · 60 km

adm-PBindb - 66
25/11/2017 09:09:30

atlas eólico
PARAÍBA

GOVERNO DA PARAÍBA · ATECEL · Universidade Federal de Campina Grande · Chesf · Eletrobras · MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA · BRASIL GOVERNO FEDERAL · CAMARGO SCHUBERT

FATOR DE FORMA DE WEIBULL ANUAL ▪

Mapa 6.12 ▪

Calculado a 100 metros de altura, pelo modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*) e ajustado estatisticamente por medições.

Distribuição Estatística de Weibull, frequência de ocorrência de uma velocidade *u*, ou seja, *f(u)*, expressa por

$$f(u) = \frac{k}{C}\left(\frac{u}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{C}\right)^{k}}$$

onde *C* [m/s] é o parâmetro de escala e *k*, o parâmetro de forma.

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], DER-PB[27], DNIT[28], GOOGLE[39], IBGE[47], [48].

Rio Grande do Norte · Ceará · Pernambuco · Oceano Atlântico

Catolé do Rocha · Brejo do Cruz · SÃO BENTO · Paulista · Uiraúna · S. João do Rio do Peixe · SOUSA · POMBAL · CAJAZEIRAS · Coremas · PATOS · S. José de Piranhas · Piancó · Itaporanga · Bonito de Santa Fé · Conceição · Tavares · Manaíra · Princesa Isabel · Imaculada · Santa Luzia · Sumé · MONTEIRO · Serra Branca · Taperoá · Juazeirinho · Soledade · Nova Floresta · Cuité · Picuí · Barra de Santa Rosa · Sertó · Araruna · Dr. Inês · Tacima · Jacaraú · Caçimba de Dentro · Bananeiras · Solânea · Arara · Belém · Pirpirituba · Araçagi · Itapororoca · Rio Tinto · GUARABIRA · MAMANGUAPE · Lucena · CABEDELO · Remígio · Areia · Alagoinha · ESPERANÇA · Alagoa Nova · S. Sebastião de Lagoa de Roça · Pocinhos · Puxinanã · Lagoa Seca · Massaranduba · CAMPINA GRANDE · Alagoa Grande · Mari · SAPÉ · Gurinhém · Cruz do Espírito Santo · BAYEUX · SANTA RITA · JOÃO PESSOA · Pilar · Conde · Inga · Mogeiro · QUEIMADAS · Fagundes · Itatuba · Salgado de São Félix · Itabaiana · Juripiranga · Pedras de Fogo · Alhandra · Pitimbu · Caaporã · Boqueirão · Areias · Natuba

3.0 · 3.5 · 4.0

Divisas estaduais · Estradas pavimentadas · Estradas não pavimentadas · Ferrovias · Sedes municipais · Corpos de água

fator de forma (k)

1 · 1,5 · 2 · 2,5 · 3 · 3,5 · 4 · 4,5 · 5 · 5,5

ESCALA 1 : 1 250 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 · 20 · 40 · 60 km

38,5°W · 38,0°W · 37,5°W · 37,0°W · 36,5°W · 36,0°W · 35,5°W · 35,0°W
5,5°S · 6,0°S · 6,5°S · 7,0°S · 7,5°S · 8,0°S · 8,5°S

atlas-PB.indb 67 25/11/2017 09:09:35

7 Análises e Diagnósticos



ZIG KOCH

Figura 7.1 Parque Eólico Millennium, em Mataraca

7.1 O Potencial Eólico da Paraíba

O potencial eólico do Estado da Paraíba foi calculado a partir da integração dos mapas de velocidades médias anuais, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia de usinas eólicas no estado da arte.

A metodologia para esse processo, descrita a seguir, foi adaptada para corresponder da melhor maneira possível às condições reais de projetos no Estado da Paraíba, bem como para considerar conjuntamente o maior número de premissas e informações disponíveis.

Aerogeradores são projetados com determinados limites operacionais definidos pelo fabricante, caracterizados em função das condições de vento de cada sítio eólico. As condições de vento específicas da Paraíba, com ocorrência de velocidades médias elevadas e ventos extremos de baixa intensidade e frequência – verificadas na prática – permitem que se estenda o envelope de operação das máquinas e se aproveite mais eficientemente o recurso eólico. De modo a considerar essa prática no cálculo do potencial eólico, foi realizado o seguinte procedimento:

i. Compilou-se um banco de dados com as curvas de potência dos aerogeradores aplicáveis a projetos de aproveitamento eólico na Paraíba, considerando-se o recurso eólico mapeado neste trabalho. Esse banco foi elaborado a partir de informações cedidas pelos fabricantes e a partir de um levantamento das características de projetos cadastrados para leilões públicos de compra e venda de energia elétrica promovidos nos últimos cinco anos.

ii. Os modelos de aerogeradores foram classificados de acordo com sua aplicação em três faixas de velocidade de vento: baixo (Classe C), moderado (Classe B) e alto (Classe A) – sempre se respeitando o envelope operacional e a aplicabilidade das máquinas para as condições de vento locais. As curvas consideradas são apresentadas na Figura 7.2.

iii. Áreas onde o desenvolvimento de parques eólicos é impossibilitado foram excluídas dos cálculos de integração por meio de ferramentas de geoprocessamento. São áreas com elevada declividade; áreas reservadas e de uso restrito (parques, reservas indígenas, assentamentos); áreas sobre rios, lagos, e mar; áreas ocupadas por estradas, linhas de transmissão, concentrações urbanas, localidades e povoados. A base cartográfica utilizada para esse processamento é apresentada, neste Atlas, nos mapas de infraestrutura (Mapa 1.1), de Unidades de Conservação (Mapa 3.1) e no mapa do modelo digital de relevo (Mapa 5.1).

iv. A taxa média de ocupação do terreno restante (excluídas as áreas impossibilitadas) foi estimada com base em dados reais de projetos de parques eólicos em diversas áreas do Nordeste. Essa taxa, correspondente ao efetivamente utilizável nas áreas propícias para aproveitamentos eólicos, foi de 2,6 MW/km².

v. O cálculo de produção energética e do fator de capacidade médio consideraram todas as áreas com velocidade igual ou superior a 6,0 m/s. A integração utilizou intervalos de 0,5 m/s e as curvas de potência corrigidas para a densidade do ar local (Mapa 6.11).

vi. A distribuição estatística da velocidade do vento foi considerada por meio dos fatores de forma de Weibull locais (Mapa 6.12).

vii. Finalmente, estimaram-se perdas na geração devido às indisponibilidades das máquinas, além de perdas aerodinâmicas e elétricas. Os valores considerados foram: disponibilidade média de 95%, eficiência aerodinâmica de 94% e um fator de perdas elétricas de 3% da energia efetivamente gerada.

A Tabela 7.1 apresenta o potencial eólico do Estado da Paraíba resultante da integração dos mapas.

Os limiares mínimos de atratividade para investimentos em geração eólica dependem dos contextos econômicos e institucionais de cada país, variando, em termos de velocidades médias anuais, entre 5,5 m/s e 7,5 m/s. Tem-se observado no Brasil, com base nos resultados dos leilões públicos de comercialização de energia realizados até o momento, a viabilização de aproveitamentos eólicos com velocidades médias anuais a partir de 7,5 m/s.

Os resultados da integração cumulativa indicam que a Paraíba possui um potencial eólico de grande magnitude, com capacidade instalável em solo firme (*onshore*) estimada em 10,2 GW a 120 m de altura, em locais com velocidades médias superiores a 7,5 m/s, os quais corresponderiam a uma produção energética estimada em 43,3 TWh/ano. Como referência, o parque gerador brasileiro, incluindo todas as fontes, totaliza 131 GW[2], tendo gerado, em 2013, 570 TWh[30]. O potencial identificado corresponde aproximadamente a 16 vezes a capacidade de geração instalada no Estado (639,5 MW[2] em 2014 – Item 1.2.3) ou, ainda, 9 vezes o consumo de energia elétrica registrado no Estado em 2013 (4,8 TWh/ano[33]).

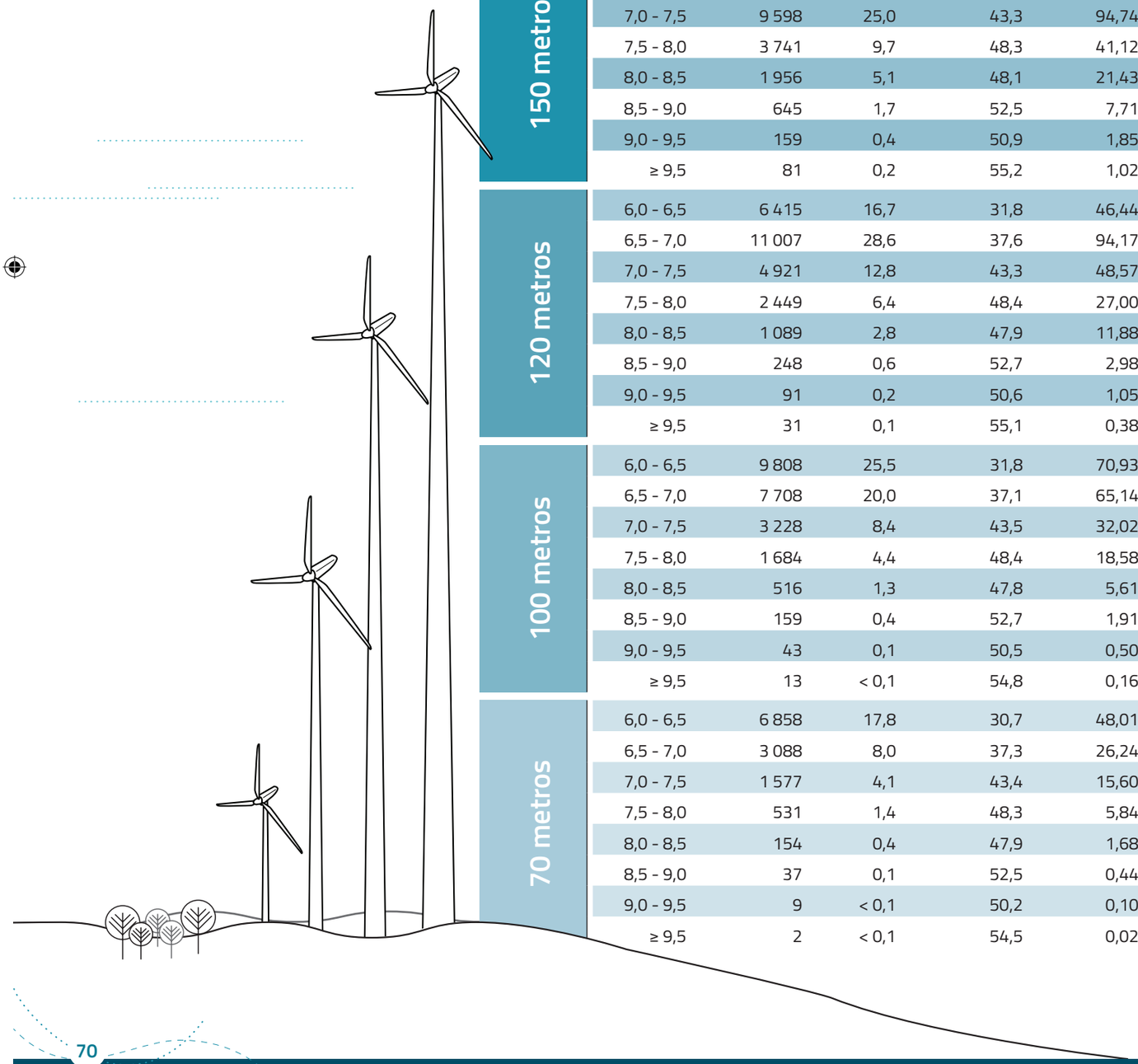
A análise sobre as áreas mais promissoras para desenvolvimento de projetos eólicos é apresentada no Item 7.2, incluindo considerações geográficas e energéticas, buscando proporcionar uma visão estratégica para o planejamento de projetos.

atlas-PB.indb 69 25/11/2017 09:09:58

POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA EM SOLO FIRME *(ONSHORE)*

ALTURA [m]	INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE					INTEGRAÇÃO CUMULATIVA			
	VENTO [m/s]	ÁREA (km²)	CAPACIDADE INSTALÁVEL [GW]	FATOR DE CAPACIDADE MÉDIO [%]	PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA [TWh]	VENTO [m/s]	ÁREA (km²)	CAPACIDADE INSTALÁVEL [GW]	PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA [TWh]
150 metros	6,0 - 6,5	5 689	14,8	31,8	41,18	≥ 6,0	29 924	77,8	279,27
	6,5 - 7,0	8 054	20,9	38,3	70,21	≥ 6,5	24 235	63,0	238,09
	7,0 - 7,5	9 598	25,0	43,3	94,74	≥ 7,0	16 181	42,1	167,88
	7,5 - 8,0	3 741	9,7	48,3	41,12	≥ 7,5	6 583	17,1	73,13
	8,0 - 8,5	1 956	5,1	48,1	21,43	≥ 8,0	2 842	7,4	32,01
	8,5 - 9,0	645	1,7	52,5	7,71	≥ 8,5	886	2,3	10,58
	9,0 - 9,5	159	0,4	50,9	1,85	≥ 9,0	240	0,6	2,87
	≥ 9,5	81	0,2	55,2	1,02	≥ 9,5	81	0,2	1,02
120 metros	6,0 - 6,5	6 415	16,7	31,8	46,44	≥ 6,0	26 251	68,3	232,46
	6,5 - 7,0	11 007	28,6	37,6	94,17	≥ 6,5	19 836	51,6	186,02
	7,0 - 7,5	4 921	12,8	43,3	48,57	≥ 7,0	8 829	23,0	91,85
	7,5 - 8,0	2 449	6,4	48,4	27,00	≥ 7,5	3 908	10,2	43,29
	8,0 - 8,5	1 089	2,8	47,9	11,88	≥ 8,0	1 459	3,8	16,29
	8,5 - 9,0	248	0,6	52,7	2,98	≥ 8,5	370	1,0	4,41
	9,0 - 9,5	91	0,2	50,6	1,05	≥ 9,0	122	0,3	1,43
	≥ 9,5	31	0,1	55,1	0,38	≥ 9,5	31	0,1	0,38
100 metros	6,0 - 6,5	9 808	25,5	31,8	70,93	≥ 6,0	23 159	60,2	194,84
	6,5 - 7,0	7 708	20,0	37,1	65,14	≥ 6,5	13 352	34,7	123,91
	7,0 - 7,5	3 228	8,4	43,5	32,02	≥ 7,0	5 644	14,7	58,77
	7,5 - 8,0	1 684	4,4	48,4	18,58	≥ 7,5	2 415	6,3	26,76
	8,0 - 8,5	516	1,3	47,8	5,61	≥ 8,0	731	1,9	8,18
	8,5 - 9,0	159	0,4	52,7	1,91	≥ 8,5	215	0,6	2,57
	9,0 - 9,5	43	0,1	50,5	0,50	≥ 9,0	56	0,1	0,66
	≥ 9,5	13	< 0,1	54,8	0,16	≥ 9,5	13	< 0,1	0,16
70 metros	6,0 - 6,5	6 858	17,8	30,7	48,01	≥ 6,0	12 255	31,9	97,94
	6,5 - 7,0	3 088	8,0	37,3	26,24	≥ 6,5	5 397	14,0	49,93
	7,0 - 7,5	1 577	4,1	43,4	15,60	≥ 7,0	2 309	6,0	23,69
	7,5 - 8,0	531	1,4	48,3	5,84	≥ 7,5	732	1,9	8,09
	8,0 - 8,5	154	0,4	47,9	1,68	≥ 8,0	202	0,5	2,25
	8,5 - 9,0	37	0,1	52,5	0,44	≥ 8,5	48	0,1	0,57
	9,0 - 9,5	9	< 0,1	50,2	0,10	≥ 9,0	10	< 0,1	0,12
	≥ 9,5	2	< 0,1	54,5	0,02	≥ 9,5	2	< 0,1	0,02

Tabela 7.1 Integração do potencial energético da fonte eólica no Estado da Paraíba



atlas-PBindb 70 25/11/2017 09:09:54

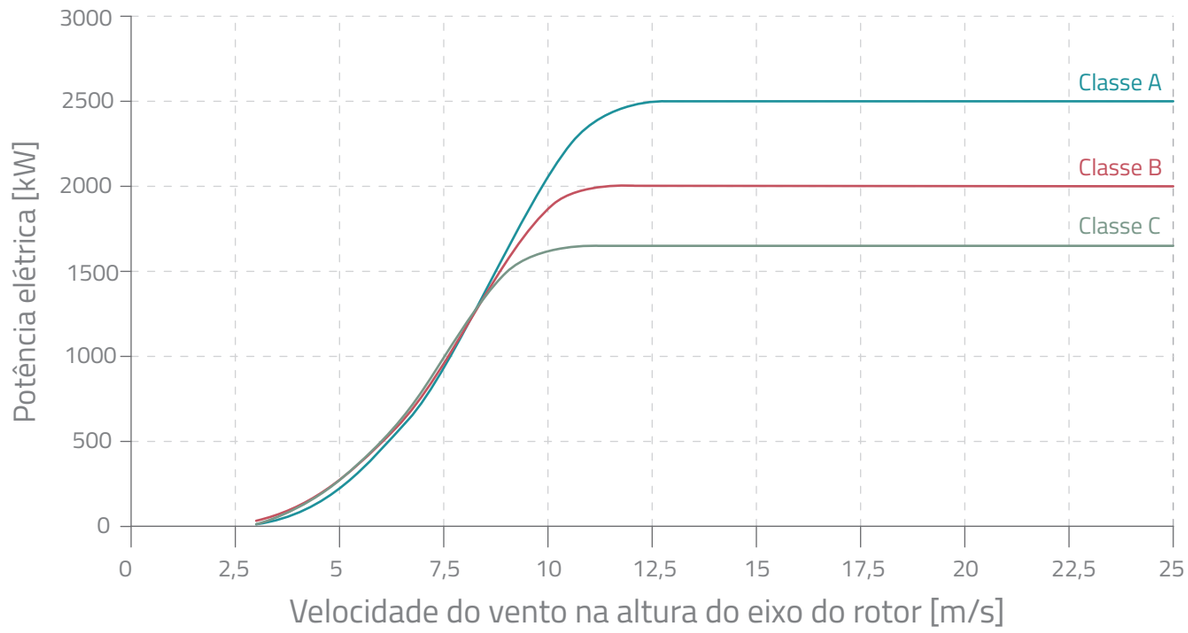


Figura 7.2 Curvas de potência consideradas no cálculo de integração, representativa das máquinas comercializadas no Brasil

7.2 Áreas Promissoras

O mapeamento eólico do Estado da Paraíba evidenciou sete áreas distintas de relevante potencial, indicadas no Mapa 7.1, sendo que aproximadamente 89% do potencial estadual estimado encontram-se nas regiões da Serra e Planalto da Borborema.

Nos itens a seguir, apresenta-se uma descrição sucinta e fotografias dessas áreas, apontando-se informações específicas sobre o potencial eólico, infraestrutura existente, áreas de conservação ou de uso restrito, demografia e economia local.

É importante, no entanto, frisar que a análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de aproveitamentos de energia eólica requer a realização de campanhas de medição anemométrica e estudos específicos de mapeamento e *micrositing* que confirmem e aprofundem o conhecimento sobre os locais de interesse. Ainda que os resultados apresentados neste Atlas sejam bastante representativos das condições médias anuais do vento sobre o Estado, com o mapeamento das áreas mais promissoras por meio de anemometria qualificada, bem como avançadas técnicas de modelamento e simulação numérica, variações significativas em torno da média podem ocorrer na microescala, dada a sensibilidade do recurso eólico às características locais de relevo, rugosidade e ocorrência de obstáculos.

O potencial identificado por este trabalho poderá ser aproveitado, gradativamente, nos limites de inserção do Sistema Elétrico do país. O aproveitamento da energia dos ventos pode, de modo complementar, alavancar o crescimento econômico com a exportação energética para outros estados, promovendo avanços para a qualidade de vida da população paraibana.

Figura 7.3 Aproveitamento do potencial eólico do litoral norte da Paraíba

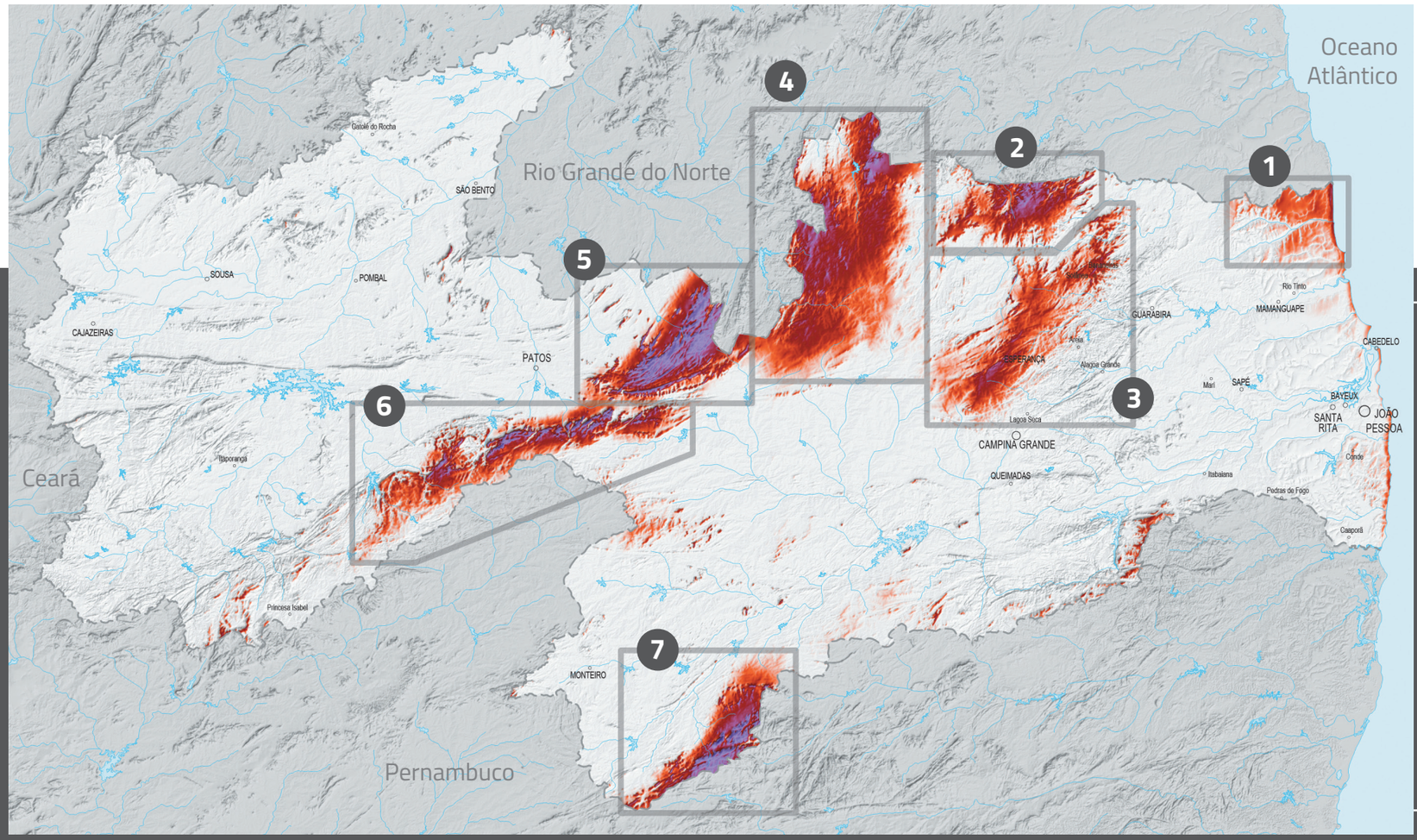
ZIG KOCH



atlas-PBAindb 71 25/11/2017 09:09:55

PRINCIPAIS ÁREAS PROMISSORAS PARA APROVEITAMENTOS EÓLICOS NA PARAÍBA

Mapa 7.1



1 Mataraca
2 Curimataú
3 Serra da Borborema
4 Seridó Oriental
5 Seridó Ocidental
6 Serra do Teixeira
7 São João do Tigre e Camalaú

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], IBGE[46], [47], SRTM[25].

ESCALA 1 : 1 850 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 km

Sedes municipais
Divisas estaduais
Rios
Corpos de água

velocidade do vento a 120 m de altura (m/s)
7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

atlas PB.indb 72 25/11/2017 09:09:56

7.2.1 Área 1: Mataraca

Localizada no Litoral Norte do Estado, a região tem seu principal acesso pela BR-101, distando 104 km de João Pessoa, contando também com boa malha viária de responsabilidade estadual, com quatro outras rodovias. O potencial eólico concentra-se nos municípios de Mataraca e Rio Tinto, que contam uma população de 30.383 habitantes, majoritariamente urbana e com PIB combinado de 172,7 milhões de reais.

A região apresenta terreno de baixa complexidade, com destaque às falésias e dunas no litoral e planícies no interior, com altitude média de 40 metros, dedicados principalmente ao cultivo de cana-de-açúcar. Três terras indígenas, cinco unidades de conservação e áreas destinadas a assentamentos rurais são vizinhas às áreas de maior potencial.

Três subestações da ENERGISA atendem à área, servindo também como ponto de conexão aos aproveitamentos eólicos já existentes, que totalizam 63 MW de capacidade instalada. A energia é escoada por linhas em 69 kV.

A expectativa de vento médio anual (longo prazo) no local da torre Mataraca, considerada na avaliação da região, é de 7,38 m/s a 101,6 metros de altura. A capacidade instalável calculada para a região, considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.2, abaixo.

Tabela 7.2 Máxima capacidade de geração instalável na região de Mataraca

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - MATARACA

Capacidade Máxima Instalável [MW]

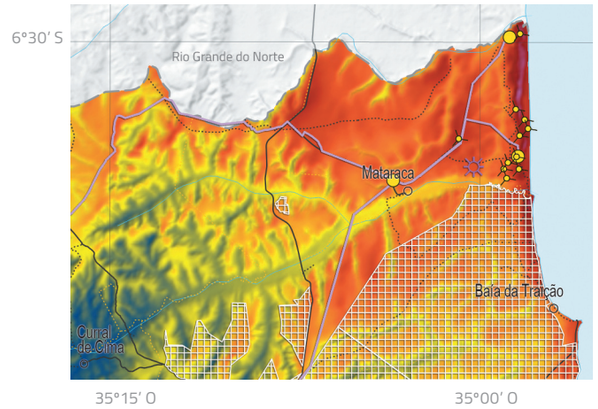
Altura de Nacele [m]	Velocidade Média Anual do Vento [m/s] ≥ 6.5	≥ 7.0	≥ 7.5	≥ 8.0
150	1258	1059	679	64
120	1120	774	317	13
100	911	522	50	8
70	452	63	15	3

* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1

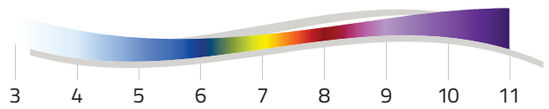
Potencial eólico estimado, a 120 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,5 m/s:

317 MW



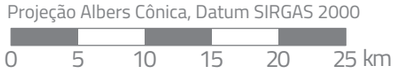


velocidade do vento a 120 m de altura (m/s)





ESCALA 1 : 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



- Subestações
- Usinas eólicas em operação
- LT 69 kV
- Torres anemométricas
- Corpos de água
- Rios
- Sedes municipais
- Divisas municipais
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Área de proteção integral e terras indígenas

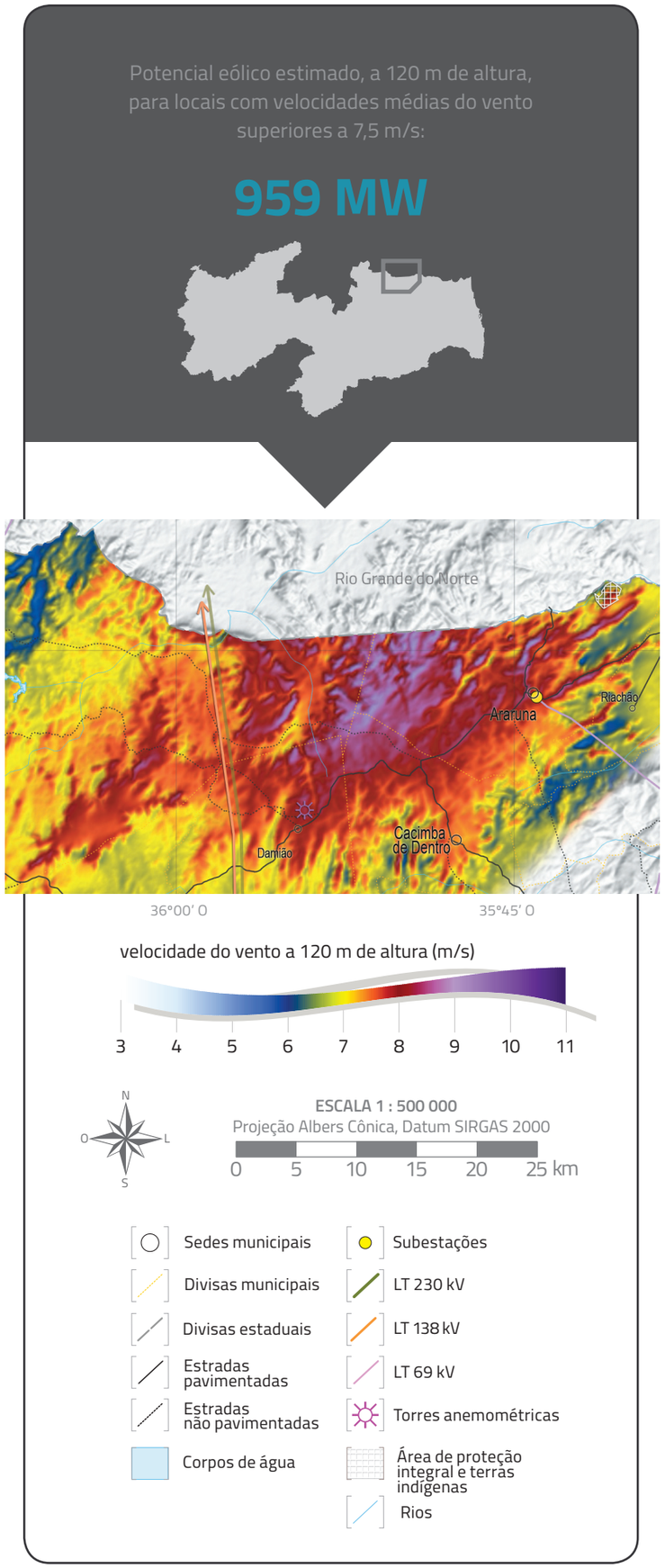
Mapa 7.2 Mapeamento eólico da região do Litoral Norte do Estado

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

atlas-PB.indb 73 25/11/2017 09:09:56

7.2.2 Área 2: Curimataú

Mapa 7.3 Mapeamento eólico da região do Curimataú



BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

Localizada ao norte das microrregiões do Curimataú Ocidental e Oriental, a região tem seus principais acessos pelas rodovias estaduais PB-111, PB-133 e PB-135. Araruna, o centro regional, dista 177 km de João Pessoa. O potencial eólico estende-se entre os municípios de Araruna, Cuité, Damião e Cacimba de Dentro, que contam uma população de 60.505 habitantes. Aproximadamente 50% da população é urbana. O PIB combinado é de 295,2 milhões de reais.

A região apresenta terreno complexo, com misto de áreas de serra, afloramentos rochosos e planaltos com altitude superior a 500 metros, amplamente destinados à agricultura familiar, mas contando ainda com extensões de caatinga arbórea em Cuité. A Figuras 7.4 a 7.6 mostram áreas típicas da região. O Parque Estadual da Serra da Boca localiza-se ao extremo leste da área, que conta também com áreas destinadas a assentamentos rurais, no município de Araruna.

Duas subestações – SE da ENERGISA localizam-se dentro da área, em Araruna e Cuité, ligando as localidades à rede de 69 kV, também da ENERGISA. Outras alternativas de interligação são as SEs Dona Inês e Paraíso, no Estado do Rio Grande do Norte, também em 69 kV. A região é também cortada por linhas em 138 e 230 kV (CHESF), em Cuité. Por fim, é prevista ainda uma interligação em 500 kV entre a futura SE Campina Grande III e a SE Ceará Mirim 2 (RN), com traçado provável através da Serra de Araruna.

A expectativa de vento médio anual de longo prazo no local da torre Damião, considerada na avaliação da região, é de 8,08 m/s a 101,6 metros de altura. A capacidade instalável calculada para a região, considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.3. Durante a campanha de reconhecimento da região, foram observadas torres de medição anemométrica instaladas em Araruna, indicando a existência de possíveis estudos privados para desenvolvimento de projetos na região.

Figura 7.4 Torre de medição anemométrica, em Araruna

ao lado »

Figura 7.5 Município de Damião

ao lado »

à direita »

Figura 7.6 Rodovia PB-133, em Cacimba de Dentro

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - CURIMATÚ

Capacidade Máxima Instalável [MW]

Altura de Nacele [m]	Velocidade Média Anual do Vento [m/s] ≥ 6.5	≥ 7.0	≥ 7.5	≥ 8.0
150	2311	2115	1334	708
120	2211	1657	959	399
100	2059	1319	675	246
70	1425	745	281	64

* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1

Tabela 7.3 Máxima capacidade de geração instalável na região de Curimataú





FOTOS ZIG KOCH



adm-PB.indb 75 25/11/2017 09:10:05

7.2.3 Área 3: Serra da Borborema

Localizada entre as microrregiões de Esperança e Brejo Paraibano, a região tem seu principal acesso pela BR-104, distando 166 km de João Pessoa (considerando-se o centro da cidade de Esperança), contando também com boa malha viária de responsabilidade estadual, de cinco outras rodovias. O potencial eólico estende-se entre os municípios de Pocinhos, Puxinanã, Montadas, Areial, Esperança, Remígio, Algodão de Jandaíra, Casserenguê, Arara, Solânea, Bananeiras, Dona Inês e Areia, que somam população de 195.098 habitantes, 60% da qual residente em áreas urbanas. O PIB combinado destes municípios foi de 1,08 bilhão de reais.

A região apresenta terrenos variando desde planaltos de média complexidade ao sul até regiões de serra, ao norte. Observam-se áreas de afloramento rochoso e extensões de caatinga arbórea, características típicas do agreste da Paraíba. Observa-se também o fracionamento em lotes em diversas áreas destes municípios, com uso dedicado à agricultura e pecuária. A região possui áreas pertencentes a assentamentos rurais.

Cinco SEs da ENERGISA localizam-se nesta região, nas localidades de Dona Inês, Bananeiras, Pilões, Areia e Esperança, interligando-as à rede de 69 kV, também operada pela ENERGISA. Outras alternativas de interligação são as SEs Campina Grande I e II, em 230 kV. A região é também cortada por linhas em 138 e 230 kV (CHESF). Por fim, é prevista ainda a interligação em 500 kV entre a futura SE Campina Grande III e a SE Ceará Mirim 2 (RN), com traçado provável através da microrregião do Brejo Paraibano.

A expectativa de vento médio anual fornecido pelo modelamento deste trabalho é de 8,5 m/s nas melhores áreas, a 120 metros de altura. A capacidade instalável estimada para a região considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.4.

FOTOS ZIG KOCH



Figura 7.7 Área ao norte do município de Dona Inês



Figura 7.8 Área no município de Dona Inês



Figura 7.9 Área ao norte do município de Dona Inês

Tabela 7.4 Máxima capacidade de geração instalável na região da Serra da Borborema

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - SERRA DA BORBOREMA

Capacidade Máxima Instalável [MW]

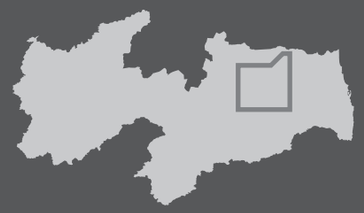
Altura de Nacele [m]	Velocidade Média Anual do Vento [m/s]			
	≥ 6.5	**≥ 7.0**	**≥ 7.5**	**≥ 8.0**
150	6521	5578	3047	841
120	6158	3878	1475	232
100	5327	2619	656	82
70	2559	646	95	3

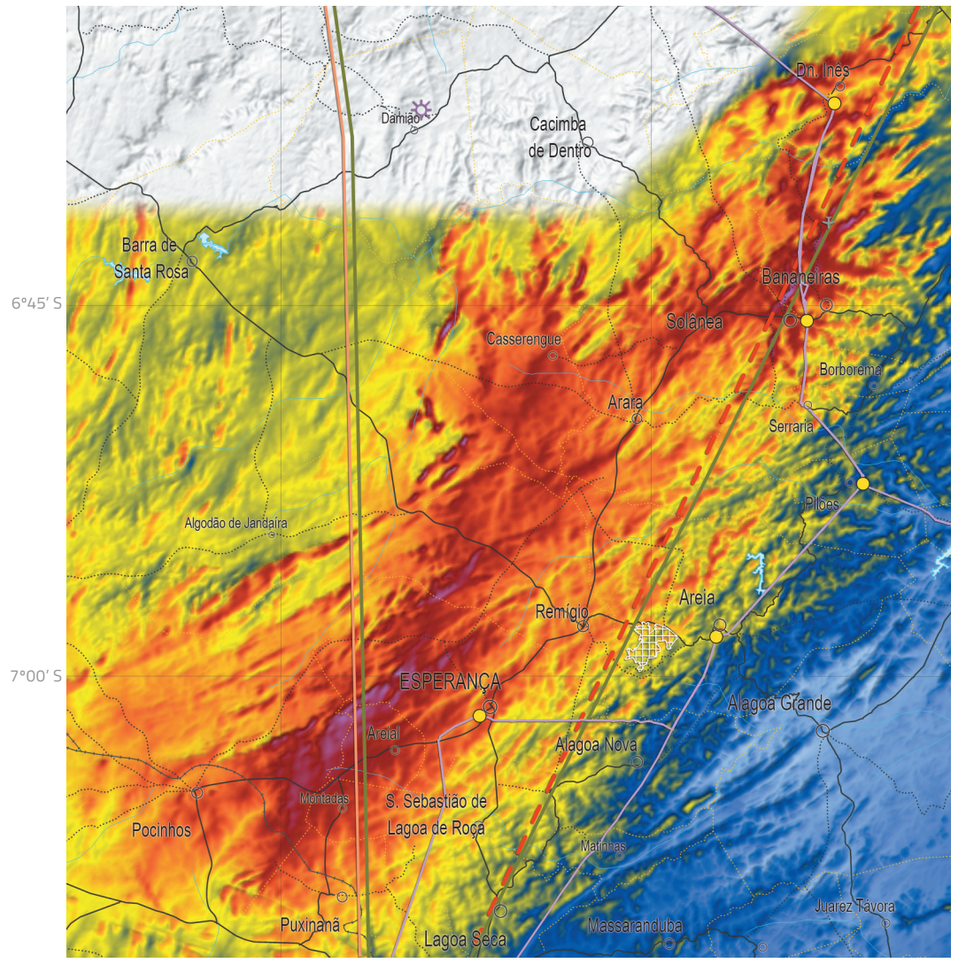
* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1

atlas_PB.indb 76 25/11/2017 09:10:06

Potencial eólico estimado, a 120 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,5 m/s:

1.475 MW





Mapa 7.4 Mapeamento eólico entre as microrregiões de Esperança e Brejo Paraibano

velocidade do vento a 120 m de altura (m/s)

3 4 5 6 7 8 9 10 11

N O L S

ESCALA 1 : 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 5 10 15 20 25 km

- Sedes municipais
- Divisas municipais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Aeroportos e campos de pouso
- Área de proteção integral e terras indígenas
- Subestações
- LT 500 kV planejada
- LT 230 kV
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- Torres anemométricas
- Corpos de água
- Rios

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

adm-PBmdb 77
25/11/2017 09:10:07

7.2.4 Área 4: Seridó Oriental

Localizada na microrregião do Seridó Oriental, a região tem seu principal acesso pela PB-177, que a corta no sentido Norte-Sul. Outras três importantes interligações rodoviárias são as PB-137, PB-151 e PB-167. As principais cidades são Picuí (a 244 km da capital) e Juazeirinho (217 km). O potencial eólico estende-se também pelos municípios de Baraúna, Frei Martinho, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Cubati, Seridó, Tenório e Nova Floresta, que somam uma população de 84.429 habitantes, 60% da qual residente em áreas urbanas. O PIB combinado dos municípios foi de 412,0 milhões de reais.

A região é caracterizada pelo Planalto da Borborema, com altitudes superiores aos 500 metros em sua maior parte, mesclando áreas de complexidades diversas, planas e de serra. A região é dominada por áreas intensamente antropizadas, com apenas esparsas extensões remanescentes de caatinga. Foram identificadas áreas pertencentes a assentamentos rurais.

Três SE da ENERGISA atendem essa região, localizadas nos municípios de Pedra Lavrada e Juazeirinho, interligando as localidades à rede de 69 kV, também operada pela ENERGISA. Outras alternativas de interligação são as SEs Cuité e Currais Novos, essa última em 230 kV e localizada no Rio Grande do Norte. A região já conta com 205,2 MW em projetos eólicos cadastrados na ANEEL[3] para futura instalação, no município de Picuí.

A expectativa de vento médio anual fornecido por modelamento deste trabalho é de 8,5 a 9,0 m/s nas melhores áreas, a 120 metros de altura. O vento medido na torre instalada em Juazeirinho indicou expectativa de longo prazo de 6,68 m/s à altura de 101,5 m. A capacidade instalável estimada para a região, considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 Máxima capacidade de geração instalável na região de Seridó Oriental

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - SERIDÓ ORIENTAL					
Capacidade Máxima Instalável [MW]					
		Velocidade Média Anual do Vento [m/s]			
		≥ 6.5	**≥ 7.0**	**≥ 7.5**	**≥ 8.0**
Altura de Nacele [m]	**150**	7797	7693	5581	3099
	120	7784	6689	3989	1626
	100	7583	5242	2827	666
	70	5220	2854	808	129

* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1

Figura 7.10 Torre de medição anemométrica do projeto de aproveitamento eólico Picuí, cadastrado na ANEEL

ao lado »



FOTOS ZIG KOCH

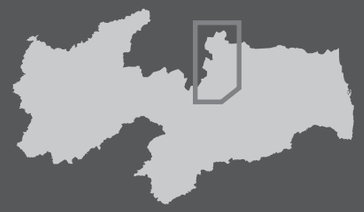


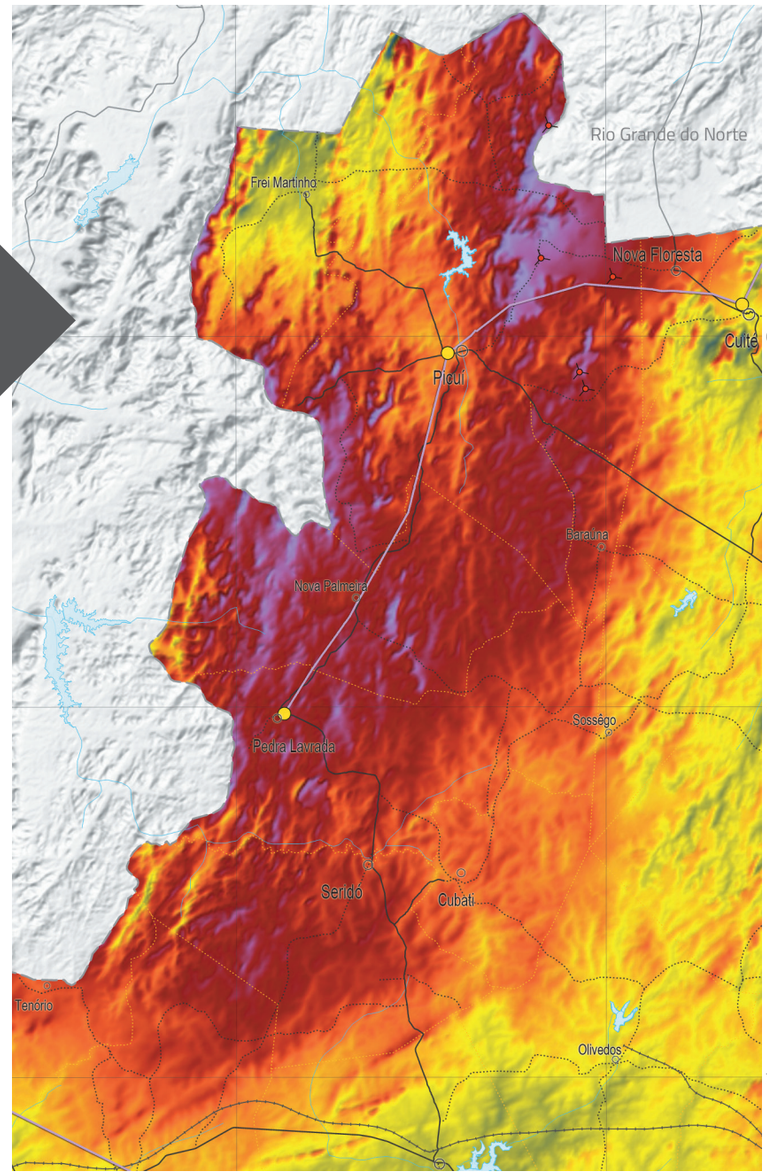
Figura 7.11 Área de futuro aproveitamento eólico em Picuí, cadastrado na ANEEL

atlas-PB.indb 78 25/11/2017 09:10:02

Potencial eólico estimado, a 120 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,5 m/s:

3.989 MW





velocidade do vento a 120 m de altura (m/s)

3 4 5 6 7 8 9 10 11

N O L S

ESCALA 1 : 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 5 10 15 20 25 km

- Sedes municipais
- Divisas municipais
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Subestações
- LT 69 kV
- Usinas eólicas em projeto e com outorga
- Corpos de água
- Rios

Mapa 7.5 Mapeamento eólico da microrregião do Seridó Oriental

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

Figura 7.12 Área dedicada à agricultura, em Picuí



ZIG KOCH

7.2.5 Área 5: Seridó Ocidental

Inserida na microrregião do Seridó Ocidental, a região tem seu principal acesso pela BR-230, sendo também atendida pela rodovia PB-221 e estradas em leito natural. A cidade de Santa Luzia, centro da região, dista 267 km de João Pessoa, O potencial eólico estende-se entre os municípios de São José do Sabugi, Santa Luzia, Junco do Seridó, São Mamede, Areia de Baraúnas, Passagem e Quixabá, que somam população de 38.979 habitantes, concentrada predominantemente nas respectivas sedes urbanas. O PIB combinado destes municípios foi de 218,5 milhões de reais.

A região apresenta terreno complexo, caracterizado pelo relevo da Serra da Borborema, sobre a qual predomina a cobertura de caatinga arbórea, com poucas áreas antropizadas.

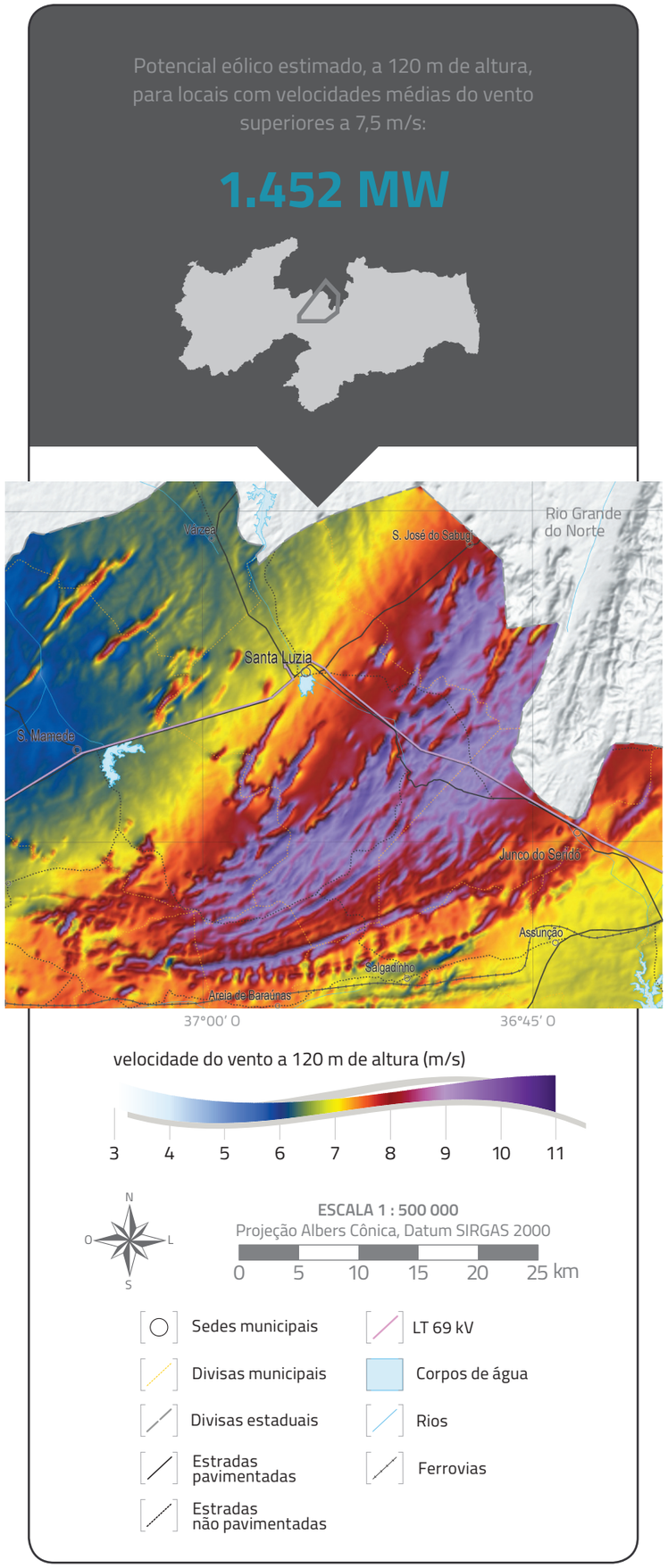
A região é atendida pela SE de Santa Luzia, e uma linha de transmissão em 69 kV, que atravessa sua porção nordeste, paralelamente à rodovia BR-230. Possíveis pontos alternativos de conexão são as SEs de Pedra Lavrada, Juazeirinho, Patos e Teixeira.

A expectativa obtida por modelamento, durante este trabalho, para o vento médio anual, é de até 9,5 m/s nas melhores áreas, a 120 metros de altura. A capacidade instalável estimada para a região, considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 Máxima capacidade de geração instalável na região de Seridó Ocidental

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - SERIDÓ OCIDENTAL					
Capacidade Máxima Instalável [MW]					
		Velocidade Média Anual do Vento [m/s]			
		≥ 6.5	**≥ 7.0**	**≥ 7.5**	**≥ 8.0**
Altura de Nacele [m]	**150**	3591	2830	2002	1353
	120	3014	2180	1452	941
	100	2586	1701	1103	634
	70	1465	903	516	270

* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1



Mapa 7.6 Mapeamento eólico da microrregião do Seridó Oriental

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

Figura 7.13 Relevo acidentado, em Passagem



Figura 7.14 Torre de medição anemométrica, em Santa Luzia



FOTOS ZIG KOCH

adks-PBAnd6 SL
25/11/2017 091015

7.2.6 Área 6: Serra do Teixeira

Figura 7.15 Torre de medição anemométrica do projeto de aproveitamento eólico Ventura, cadastrado na ANEEL. Rodovia PB-306, em Teixeira

Localizada na microrregião da Serra do Teixeira, as duas principais estradas que atendem a região são a BR-110 e a PB-306. Sua principal cidade é Teixeira, distante 310 km da capital. O potencial eólico distribui-se entre os municípios de Jurú, Água Branca, Imaculada, Catingueira, Mãe d'Água, Maturéia, Teixeira, Cacimba de Areai, Cacimba e Taperoá, combinando uma população de 84.857 habitantes, sendo metade residente em áreas rurais. O PIB combinado destes municípios é de 396,6 milhões de reais.

A região é caracterizada principalmente por serras de alta complexidade, com altitudes variando entre 500 e 1.000 metros e áreas de planaltos de média complexidade, com a rugosidade definida por extensões de caatinga arbórea e outras dedicadas à agricultura. O Parque Estadual Pico do Jabre encontra-se no centro da região, que possui também áreas destinadas a assentamentos rurais.

A SE Teixeira é um dos pontos de conexão à rede de 69 kV da ENERGISA existente na área, sendo as opções as SEs de Piancó e Patos. A região já conta com 56 MW de projetos eólicos cadastrados na ANEEL[3], para futura instalação, no município de Teixeira.

A expectativa de vento médio anual de longo prazo no local da torre Teixeira, considerada na avaliação da região, é de 6,88 m/s a 101,5 metros de altura. A capacidade instalável estimada para a região , considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.7.



FOTOS ZIG KOCH

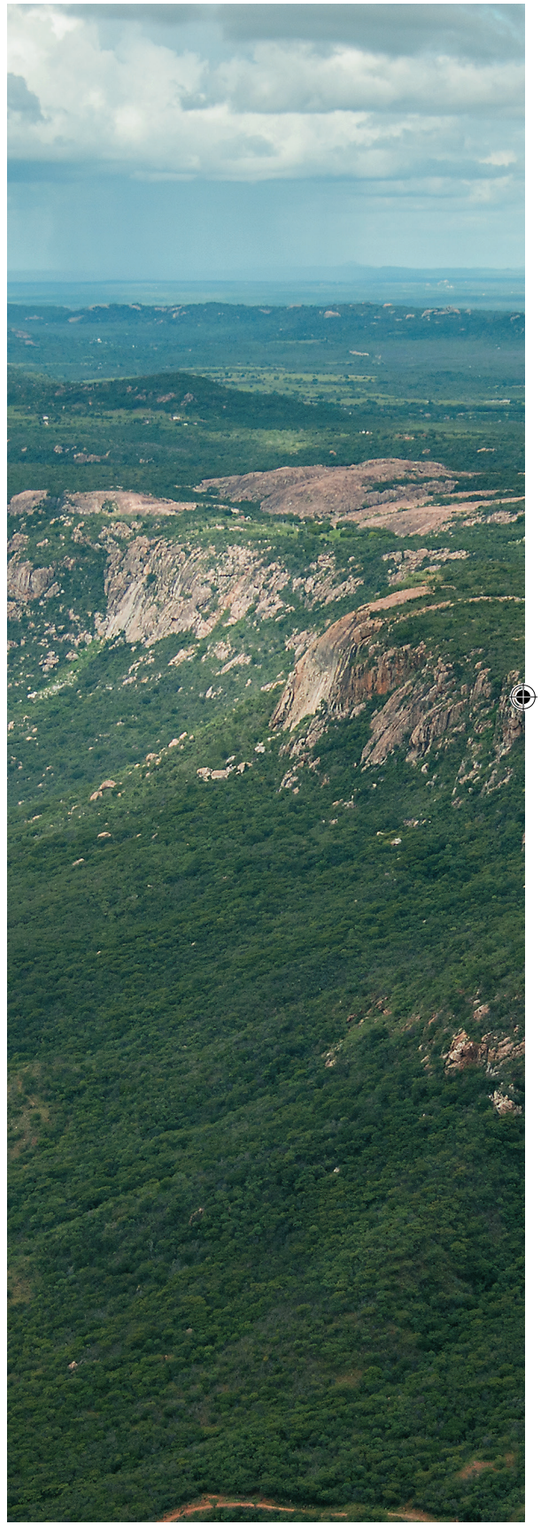
Tabela 7.7 Máxima capacidade de geração instalável na microrregião da Serra do Teixeira

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - SERRA DO TEIXEIRA

Capacidade Máxima Instalável [MW]

Altura de Nacele [m]	Velocidade Média Anual do Vento [m/s]			
	≥ 6.5	**≥ 7.0**	**≥ 7.5**	**≥ 8.0**
150	4816	4262	2285	849
120	4481	2826	1236	325
100	3754	1828	585	139
70	1594	442	106	37

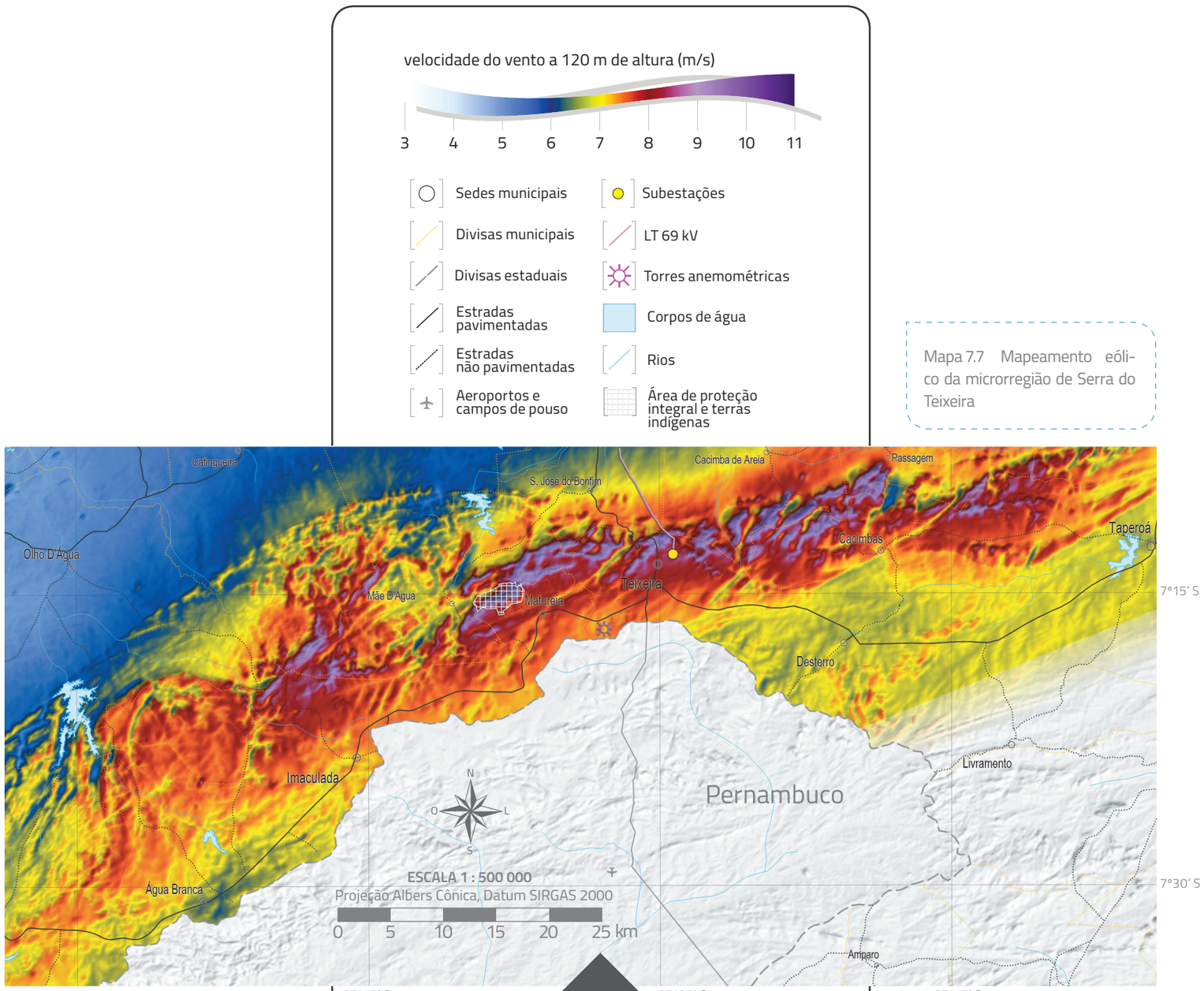
* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1



atlas-PBindb_S2 25/11/2017 09:10:20



Figura 7.16 Região de chapada, em Cacimbas



Mapa 7.7 Mapeamento eólico da microrregião de Serra do Teixeira

Potencial eólico estimado, a 120 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,5 m/s:

1.236 MW



BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

atlas-PB.indb 83 25/11/2017 09:10:22

7.2.7 Área 7: São João do Tigre e Camalaú

Localizada na microrregião do Cariri Ocidental, no sul do Estado, a região tem seus principais acessos pelas rodovias PB-214 e PB-240, ambas não pavimentadas. O potencial eólico concentra-se nos municípios de São João do Tigre e Camalaú, este distante 302 km de João Pessoa. Vivem nestes dois municípios 10.145 habitantes, 60% dos quais em áreas rurais. A produção de riquezas combinada (PIB) foi de 49,8 milhões de reais.

A região apresenta terreno de alta complexidade em função da serra que domina a fronteira com o Estado de Pernambuco, com muitos afloramentos rochosos, cobertura de caatinga e pouca antropização, decorrente da limitação de acesso. A região abriga a APA das Onças, que cobre a maior parte das áreas com potencial eólico relevante.

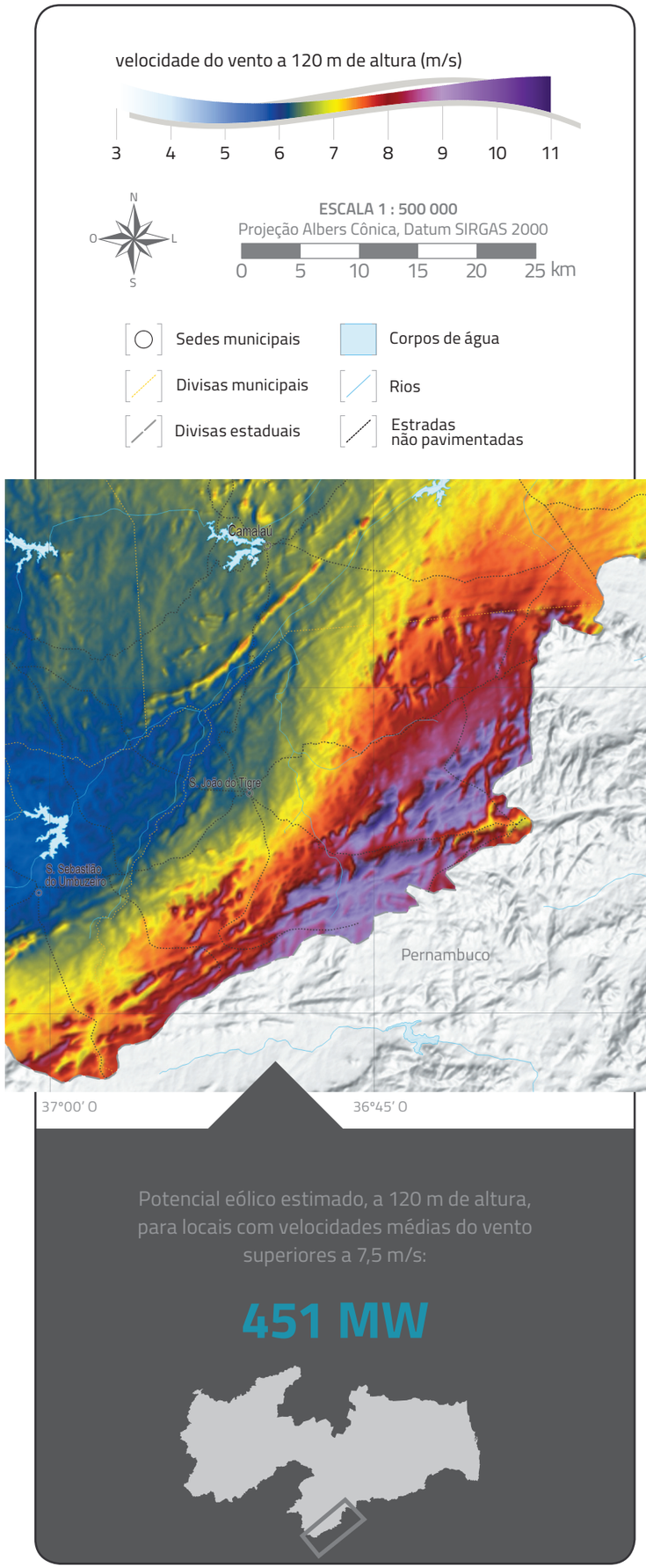
A energia elétrica é suprida para as cidades a partir das SEs em Monteiro e Sumé, as quais estão interligadas à rede de distribuição em 69 kV da ENERGISA. A subestação de Tacambó, no Estado de Pernambuco, apresenta-se como um possível ponto alternativo de conexão.

A expectativa obtida por modelamento durante este trabalho para o vento médio anual de longo prazo é de até 9,2 m/s nas melhores áreas, para 120 metros de altura. A capacidade instalável estimada para a região, considerando alguns cenários combinados de velocidade média anual do vento e altura de nacele, são apresentados na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 Máxima capacidade de geração instalável na região de São João do Tigre e Camalaú

INTEGRAÇÃO CUMULATIVA - CAMALAÚ					
Capacidade Máxima Instalável [MW]					
		Velocidade Média Anual do Vento [m/s]			
		≥ 6.5	**≥ 7.0**	**≥ 7.5**	**≥ 8.0**
Altura de Nacele [m]	**150**	3026	1553	867	336
	120	1786	1109	451	193
	100	1375	656	259	87
	70	539	210	43	3

* Considerando-se as mesmas premissas indicadas no item 7.1



Mapa 7.8 Mapeamento eólico da microrregião do Cariri Ocidental

BASE CARTOGRÁFICA: AESA[1], ANEEL[3], BRASIL ENERGIA[14], CHESF[22], DER-PB[27], DNIT[28], ENERGISA[33], GOOGLE[39], IBGE[46], [47], MMA[60], [61], ONS[71].

atlas-PBindb - 84
25/11/2017 09:10:28



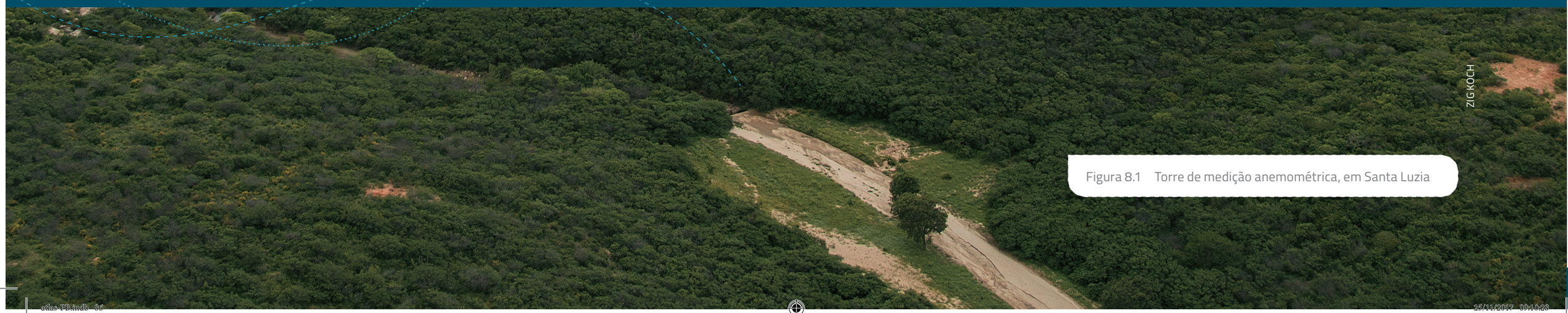
FOTOS ZIG KOCH

Figura 7.17 Rodovia PB-240, em São João do Tigre



Figura 7.18 Caatinga, em São João do Tigre

8 Referências



ZIG KOCH

Figura 8.1 Torre de medição anemométrica, em Santa Luzia

[1] AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br/> Acesso em: 1 jul. 2014.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 24 jul. 2014.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/> Acesso em: 19 jul. 2015.

[4] AMARANTE, O. C.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Rio de Janeiro: MME/ELETROBRAS/CEPEL, 2001.

[5] ARAÚJO FILHO, J. A. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga com fins pastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE CAATINGA E SUA EXPLORAÇÃO RACIONAL. Feira de Santana 1984: EMBRAPA – DDT, 1986. p. 327–343. Disponível em: <www.icmbio.gov.br> Acesso em: 20 set. 2014.

[6] ASSOCIAÇÃO DE APOIO ÀS COMUNIDADES AFRODESCENDENTES (AACADE); COORDENAÇÃO DAS COMUNIDADES NEGRAS E QUILOMBOLAS (CECNEQ). **Quilombos da Paraíba**. Disponível em: <www.quilombosdaparaiba.blogspot.com.br/> Acesso em: 20 set. 2014.

[7] AWS TRUEPOWER. **WindMap CMD 2.1.0**. Albany, NY, 2012.

[8] BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei n. 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. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.

[9] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988, Artigo 216. Seção II, da Cultura. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.

[10] BRASIL. Decreto n. 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. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.

[11] BRASIL. Decreto n. 5.025 de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os § 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 17 set. 2013.

[12] BRASIL. Lei n. 6.001 de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.

[13] BRASIL. Lei n. 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. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.

[14] BRASIL ENERGIA. **GTD - Geração, Transmissão e Distribuição**. Rio de Janeiro: Editora Brasil Energia, 2012. 1 mapa: color.; 115 x 85 cm. Escala 1:5.500.000.

[15] BROWER, M.; BAILEY, B.; ZACK, J. Micrositing Using the MesoMap System. In: WINDPOWER CONFERENCE. Portland, Oregon: American Wind Energy Association, 2002.

[16] BUREAU OF OCEAN ENERGY MANAGEMENT - BOEM. **Offshore Wind Energy**. Disponível em: <www.boem.gov> Acesso em: 18 ago. 2013.

[17] BURTON, T. et al. **Wind energy handbook**. 2. ed. Chichester, West Sussex: Wiley, 2011. 742 p.

[18] BUSINGER, J. Turbulence Transfer in the Atmospheric Boundary Layer. In: HAUGEN, D. **Workshop on Micrometeorology**. Boston, Massachussetts: American Meteorological Society, 1973.

[19] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE**. Disponível em: <www.ccee.org.br> Acesso em: 13 set. 2014.

[20] CARDOSO, T. M.; CASIMIRO, G. **Etnomapeamento dos Potiguara da Paraíba.** Brasília: FUNAI/CGMT/ CGETNO/CGGAM, 2012. 115 p.

[21] CESARETTI, M. A. **Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos**. Santo André, 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC.

[22] COMPANHIA HIDRO-ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF. **Sistemas de Transmissão**. Disponível em: <www.chesf.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.

[23] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA**. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama> Acesso em: 12 ago. 2013.

[24] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 462 de 24 de julho de 2014. Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.

[25] CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH - CGIAR. **SRTM 90m Digital Elevation Data**. Disponível em: <srtm.csi.cgiar.org> Acesso em: 1 abr. 2014.

[26] HÜTTER, ULRICH. In: THE ENCYCLOPEDIA of Earth. Disponível em: <www.eoearth.org> Acesso em: 27 ago. 2013.

[27] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DA PARAÍBA - DER-PB. **Relação Descritiva de Rodovias e Estradas Estaduais - Divisão em Trechos**. Disponível em: <www.der.pb.gov.br> Acesso em: 11 set. 2013.

[28] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Rede Rodoviária do Plano Nacional de Viação - Divisão em Trechos 2014**. Disponível em: <www.dnit.gov.br> Acesso em: 11 set. 2013.

[29] DYER, A. J. A Review of Flux-Profile Relationships. **Boundary Layer Meteorology**, Dordrecht, Holanda, v. 7, p. 363–372, 1 jan. 1974.

[30] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanço Energético Nacional 2014: Ano Base 2013**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2013. Disponível em: <ben.epe.gov.br> Acesso em: 13 set. 2013.

[31] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilões**. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 15 jul. 2013.

[32] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Decenal de Energia 2022**. Rio de Janeiro: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Disponível em: <www.epe.gov.br/pdee> Acesso em: 22 set. 2014.

[33] ENERGISA PARAÍBA. Disponível em: <www.energisa.com.br> Acesso em: 1 jul. 2014.

atlas-PBAndb 87 25/11/2015 09:10:32

[34] FEDERAÇÃO DA INDÚSTRIA DO ESTADO DA PARAÍBA - FIEP. **Perfil Socioeconômico da Paraíba 2010**. Campina Grande, PB: SEBRAE/FIEP, 2010. 178 p.

[35] FINLAY, C. C.; ET AL. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation. **Geophysical Journal International**, v. 183, p. 1216–1230, out. 2010.

[36] FREITAS, R. M. et al. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2 (1), p. 57–68, 2 jan. 2011.

[37] FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO – FUNAI. **Fundação Nacional do Índio - FUNAI Terras Indígenas do Brasil (TI)**. Disponível em: <www.funai.gov.br/index.php/servicos/geoprocessamento> Acesso em: 12 jul. 2013.

[38] FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO – FUNAI. **Fundação Nacional do Índio - FUNAI**. Disponível em: <http://www.funai.gov.br/> Acesso em: 15 set. 2014.

[39] GOOGLE. **Google Earth 7.1.1.18888**. Utilizado para aferir a localização de elementos do mapa de infraestrutura. Disponível em: <earth.google.com> Acesso em: 5 ago. 2013.

[40] HENRIQUE MARTINS CARNEIRO DA CUNHA, A. **APA das Onças: gestão do território e desafios para conservação dos ecossistemas**. João Pessoa - Paraíba, 2011. 30 f. Monografia (Bacharel) - Curso de Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba.

[41] HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 4. ed. London: Academic Press, 2004. 535 p.

[42] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 2009.

[43] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 94 p. Título original: Le Système internacional d'unités.

[44] INSTITUTO ALEMÃO DE ENERGIA EÓLICA – DEWI. **Energia Eólica**. Wilhelmshaven, Alemanha: DEWI, 1998. Traduzido pela Eletrobras p.

[45] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil 2013**. Rio de Janeiro, 2013. v. 73, 467 p.

[46] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo Digital - bCIMd 2012**. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 1 dez. 2012.

[47] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua 1: 250.000**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 19 fev. 2012.

[48] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidades> Acesso em: 5 out. 2013.

[49] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **O Brasil Estado por Estado**. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 23 abr. 2013.

[50] INSTITUTO CHICO MENDES - ICMBIO. Disponível em: <institutochicomendes.org.br> Acesso em: 25 jun. 2013.

[51] INSTITUTO DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Instituto de Colonização e Reforma Agrária - INCRA**. Disponível em: <www.incra.gov.br/> Acesso em: 15 set. 2014.

[52] INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL E ESTADUAL DA PARAÍBA - IDEME. **Anuário Estatístico Paraíba**. Disponível em: <177.43.233.239:8085/anuarioestatistico/faces/pages/index.xhtml> Acesso em: 10 set. 2014.

[53] JAKSON AMANCIO ALVES, J.; APARECIDA DE ARAÚJO, M.; SANTOS DO NASCIMENTO, S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 126–135, 2009.

[54] KEALEY, E. J. **Harvesting the air: windmill pioneers in twelfth-century England**. Berkeley: University of California Press, 1987. 307 p.

[55] KÜHN, M. Lidar: Wind Lidar Systems for Wind Energy Deployment. **IEA Wind: Research Tasks Summaries Past and Present, Task 32**. Disponível em: <www.ieawind.org> Acesso em: 15 ago. 2013.

[56] LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5th. ed. New York: John Wiley Sons, 2006. 763 p.

[57] LYRA, G. B. Parâmetros de rugosidade aerodinâmica sobre vegetação esparsa em região semiárida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 22, n. 1, ago. 2007.

[58] MEASURING NETWORK OF WIND ENERGY INSTITUTES - MEASNET. **Evaluation of Site-specific Wind Conditions**. Version 1.

[59] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA**. Disponível em: <www.mme.gov.br> Acesso em: 21 jul. 2013.

[60] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Dados Georreferenciados - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <mapas.mma.gov.br> Acesso em: 25 fev. 2013.

[61] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **i3GEO MMA 3.4**. Geração de Mapas sob Demanda. Disponível em: <mapas.mma.gov.br> Acesso em: 9 jul. 2013.

[62] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Disponível em: <mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm> Acesso em: 25 fev. 2013.

[63] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba: PAE-PB. Junho de 2011.** Disponível em: <www.paraiba.pb.gov.br/wp-content/uploads/2013/09/Livro_PAE_PB.pdf>.

[64] MOLLY, J. P. Wind Energy - Quo Vadis? **DEWI Magazine**, v. 34, fev. 2009.

[65] MORTENSEN, N. G. et al. Wind Atlas Analysis and Application Program. In: **Wind Energy Department: Scientific and technical progress 1999-2000**. Denmark: B. Skrumsager, G.C. Larsen, 2001. v. Risø-R-1239(EN).

[66] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Landsat 7**. Disponível em: <science1.nasa.gov> Acesso em: 9 abr. 2014.

[67] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS**. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov> Acesso em: 26 ago. 2013.

[68] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA; NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **U. S. Standard Atmosphere**. Washington, D. C., 1962.

[69] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.); NATIONAL ACADEMIES PRESS (U.S.). **Environmental impacts of wind-energy projects**. Washington, D.C: National Academies Press, 2007. 376 p.

atlas-PB.indb 88 25/11/2015 09:10:32

[70] OLIVEIRA, W. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Natal - RN: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 2103–2110. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2009/> Acesso em: 20 set. 2014.

[71] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Mapas do SIN**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 17 ago. 2013.

[72] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **O que é o SIN - Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 9 maio. 2013.

[73] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do Sistema Interligado Nacional - SINDAT**. Disponível em: <aplicsindat.ons.org.br/sindat> Acesso em: 17 set. 2014.

[74] OZILDO DOS SANTOS, J.; MARIA DE SOUSA SANTOS, R.; BORGES MARACAJÁ, P. Um estudo sobre a vegetação nativa do parque estadual do pico do Jabre, na serra do Teixeira, Paraíba. In: I SEMINÁRIO ZOOTÉCNICO DO SERTÃO PARAIBANO. Portland, Oregon: Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 2013. p. 6. Disponível em: <www.gvaa.com.br/revista/CVADS> Acesso em: 20 set. 2014.

[75] PALMARES. **Fundação Cultural Palmares**. Disponível em: <www.palmares.gov.br/?page_id=88&estado=PB#> Acesso em: 12 jul. 2013.

[76] PEDERSEN, B. MARIBO et al. 11. Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry. In: **Recommended Practices for Wind Turbines Testing**. 1. ed. Genebra: International Energy Agency - IEA, 1999.

[77] PERSSON, A. How Do We Understand the Coriolis Force? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 7, p. 1373–1385, jul. 1998.

[78] PHILLIPS, G. T. **A Preliminary User's Guide for the NOABL Objective Analysis Code**. California, EUA: U.S. Department of Energy, 1993. 115 p.

[79] RASMUSSON, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 354–384, maio. 1982.

[80] RIENECKER, M. M. et al. MERRA - NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. **J. Climate**, v. 24, p. 3624–3648, 2011.

[81] ROBERTO MEGNA FRANCISCO, P. **Modelo de mapeamento da deterioração do bioma caatinga da bacia hidrográfica do rio Taperoá, PB**. Campina Grande - Paraíba, 2013. 113 f. Tese (Doutor) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande.

[82] ROHATGI, J. S.; NELSON, V. **Wind characteristics: an analysis for the generation of wind power**. Canyon, Tex.: Alternative Energy Institute, West Texas A & M University, 1994.

[83] 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.

[84] SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. **Centrais Hidrelétricas: implantação e comissionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 520 p.

[85] STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.

[86] SUDEMA. **Site oficial da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA)**. Disponível em: <www.sudema.pb.gov.br/index.php.> Acesso em: 20 set. 2014.

[87] VALE DOS DINOSSAUROS. **Complexo Turístico "Vale dos Dinossauros", A maior aventura dos últimos 65 milhões de anos começa aqui.** Disponível em: <www.valedosdinossauros.com.br/imgvd/> Acesso em: 21 jul. 2013.

[88] WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2. ed. Burlington, EUA: Elsevier Academic Press, 2006. 483 p.

[89] WHITEMAN, C. D. **Mountain meteorology: fundamentals and applications**. New York: Oxford University Press, 2000. 376 p.

[90] WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. The Windicator. The Windicator, 2014.

[91] WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey of energy resources**. London, 1995.

atlas-PB.indb 89 25/11/2017 09:10:32

9 Apêndices

Apêndice A.
Campanha de Medição Anemométrica

Para a elaboração do Atlas do Potencial Eólico da Paraíba, foram considerados os dados anemométricos de seis estações de medição, todas com características geométricas semelhantes, conforme apresentado na Tabela A.1. A metodologia envolve o processamento de dados brutos, filtragem, validação, organização, consolidação e compilação de todos os dados anemométricos. Conforme descrito no Capítulo 5, esse processamento tem o objetivo de eliminar possíveis distorções causadas por eventuais diferenças entre o tempo de aquisição dos dados, falhas e lacunas nas séries temporais de dados anemométricos.

Foram empregadas metodologias e ferramentas desenvolvidas recentemente pela **Camargo Schubert** para o processamento de dados anemométricos. Na primeira etapa, os dados brutos foram pré-processados utilizando-se o *software* do *datalogger* de origem, a documentação de calibração dos instrumentos e os relatórios de instalação e manutenção das torres. Os dados de cada instrumento, de cada uma das torres, foram auditados, utilizando rotinas e algoritmos de validação. Foram feitas verificações gerais de integridade, sequência temporal e intervalo de variação dos registros, identificando-se, assim, possíveis falhas ou não conformidades.

A partir das análises de identificação das falhas de instrumentos e lacunas de dados, foram realizadas, quando possível, correções nos dados. Posteriormente, foram utilizados códigos proprietários para automatizar a organização, construção e acesso da base de dados assim compilada.

Após a organização dos dados, seguiram-se os trabalhos de análise, que consistiram no cálculo das estatísticas descritivas das medições de velocidade (médias e histogramas de frequências de ocorrência), cálculo das taxas de recuperação de dados, construção das rosas dos ventos de frequência e velocidades médias por direção, entre outras análises secundárias.

	Fabricante	**Hatec Neves Engenharia**
	Tipo de Estrutura	**Treliçada de Seção Triangular**
	Altura	**100 m**
	Material	**Ferro Galvanizado**
	Instrumentação	**Anemômetros a 102, 100, 70 e 10 m, *Windvanes* a 100, 70 e 10 m, *Datalogger* a 8,5 m**
Dimensões dos Elementos Estruturais	Montantes	**Tubular com diâmetro de 48,1 mm**
	Largura da Face	**400 mm**
	Distância entre Níveis	**370 mm**
	Treliça	**Cilíndrico, Ø = 12,71 mm**
Haste de Fixação dos Anemômetros (topo)	Tipo	**Tubular, 33,92 mm de diâmetro**
	Comprimento	**2400 mm**
	Distância entre rotor e a haste (altura)	**825 mm**
Haste de Fixação dos Anemômetros 2 , 3 e 4	Tipo	**Tubular, 33,92 mm de diâmetro**
	Comprimento	**2400 mm**
	Distância entre rotor e a haste (altura)	**825 mm**
Haste de Fixação das *Windvanes*	Tipo	**Tubular, 33,92 mm de diâmetro**
	Comprimento	**2400 mm**
	Distância entre rotor e a haste (altura)	**825 mm**

Tabela A.1 Características geométricas das torres de medição empregadas na campanha anemométrica do Atlas

atlas-PB.indb 90 25/11/2017 09:10:32

Nas próximas seções são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados anemométricos, incluindo regimes diurnos e resultados do ajuste climatológico. O fluxograma sintético da metodologia adotada para o processamento dos dados anemométricos é apresentado na Figura A.1. As características geométricas das torres anemométricas estão relacionadas na Tabela A.1. Os modelos dos instrumentos utilizados são apresentados na Tabela A.2.

Figura A.1 Fluxograma resumo das atividades de análise dos dados anemométricos

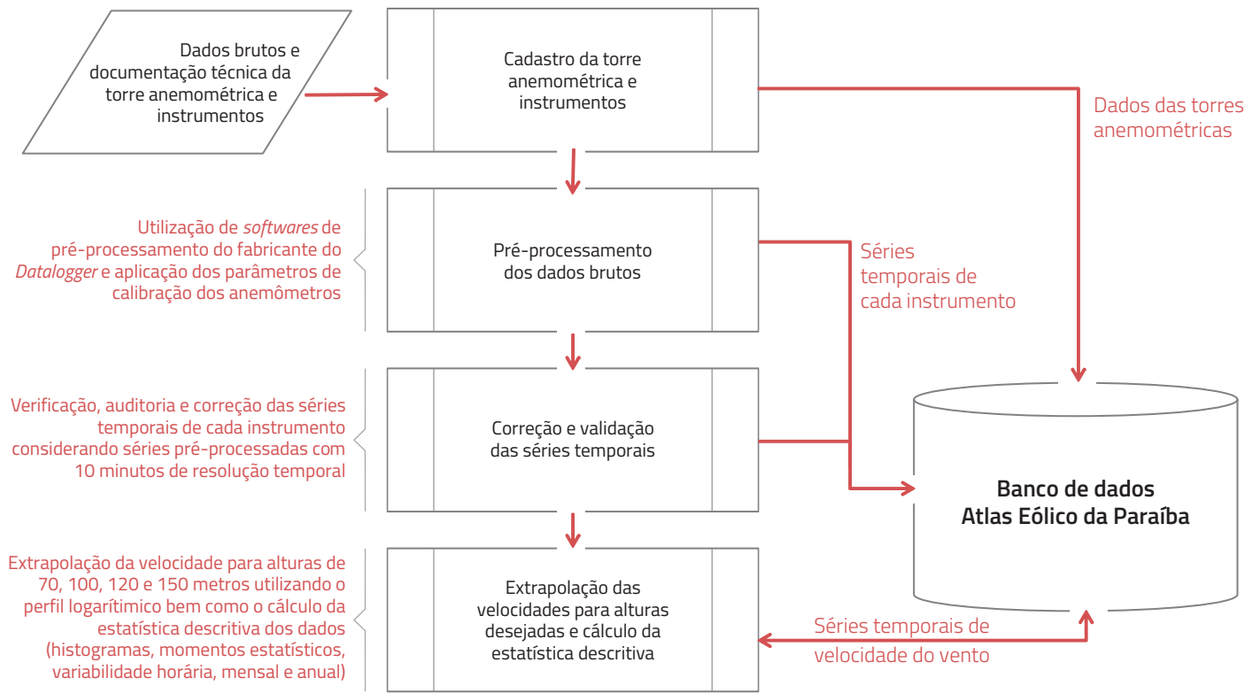
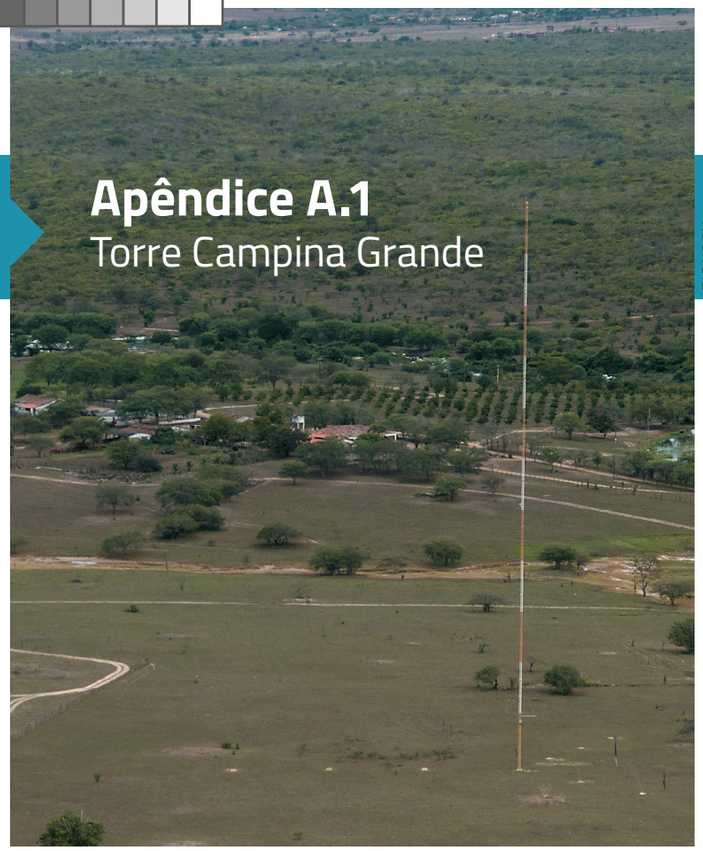


Tabela A.2 Integração do potencial energético da fonte eólica no Estado da Paraíba

Altura Aproximada	Modelos dos Instrumentos de Medição
100 (2), 70 e 10 m	Anemômetro Thies Clima 4.3350.00.000
100, 70 e 10 m	Windvane Thies Clima 4.3150.00.212
8,5 m	Datalogger Meteo32 - Ammonit
8,5 m	Barômetro AB60 - Ammonit
10 m	Sensor de Temperatura e Umidade KPK 1/6-ME - GalltecMela

Apêndice A.1
Torre Campina Grande



ZIG KOCH

Figura A.2 Torre de medição anemométrica em Campina Grande

Tabela A.3 Características gerais da torre Campina Grande

Município	CAMPINA GRANDE
Alturas de Medição	101,5, 100,2, 69,0 e 10,8 m
Latitude	7° 17' 35,5'' S
Longitude	35° 57' 07,2'' O
Xutm*	174 015
Yutm*	9 192 772
Altitude	487 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	22,1 °C
Período de Validação	3 anos
início	01/mai/2011
fim	30/abr/2014
Taxas de Recuperação de Dados de Vento *▪período de validação▪*	84,8% — Velocidade a 101,5 m
	84,8% — Velocidade a 100,2 m
	84,8% — Velocidade a 69,0 m
	84,8% — Velocidade a 10,8 m
	84,8% — Direção a 101,1 m
	84,8% — Direção a 68,9 m
	84,8% — Direção a 10,7 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

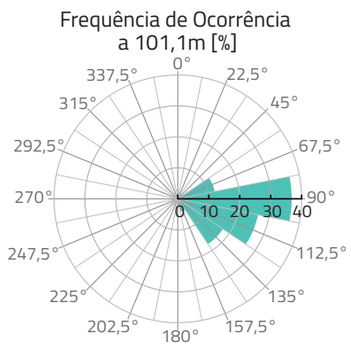
Tabela A.4 Sumário das medições na torre Campina Grande, ajustadas para o longo prazo

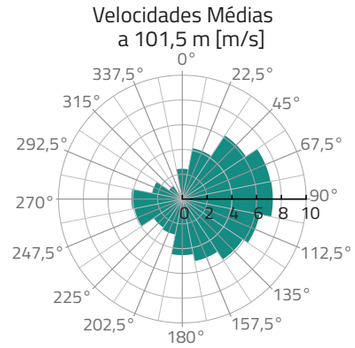
CAMPINA GRANDE — MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA

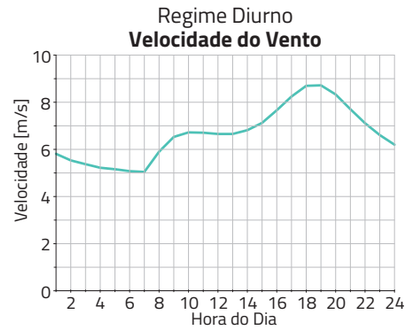
Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias
Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)

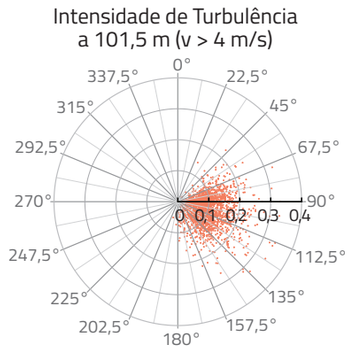
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA ANUAL
101,5 m	Vmédia [m/s]	6,27	5,79	5,35	5,28	5,67	6,44	6,78	7,20	7,55	7,17	7,11	6,59	**6,44**
	k - Weibull	3,90	3,73	3,44	3,11	3,80	3,82	3,87	4,17	4,74	4,73	4,60	4,44	3,82
69,0 m	Vmédia [m/s]	5,83	5,38	4,97	4,91	5,27	5,98	6,30	6,69	7,01	6,66	6,60	6,12	**5,98**
	k - Weibull	3,69	3,46	3,25	2,99	3,47	3,42	3,40	3,61	4,13	4,37	4,35	4,28	3,53
10,8 m	Vmédia [m/s]	4,03	3,73	3,44	3,40	3,65	4,14	4,36	4,63	4,86	4,61	4,57	4,24	**4,14**
	k - Weibull	3,26	2,82	2,74	2,62	2,58	2,39	2,43	2,38	2,73	3,30	3,73	3,92	2,76
Rugosidade, z_0 [m]		0,148	0,283	0,340	0,372	0,944	1,303	1,720	0,801	0,506	0,319	0,205	0,178	**0,387**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,158	0,176	0,182	0,185	0,223	0,240	0,258	0,215	0,196	0,180	0,166	0,163	**0,186**
Temperatura [°C]		23,2	23,4	23,2	22,9	22,0	21,0	20,2	20,3	21,0	22,1	22,8	23,1	**22,1**
Pressão Atmosférica [hPa]		945	945	945	946	946	948	949	949	948	947	946	946	**947**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,111	1,111	1,111	1,113	1,117	1,123	1,126	1,126	1,123	1,117	1,113	1,112	**1,117**

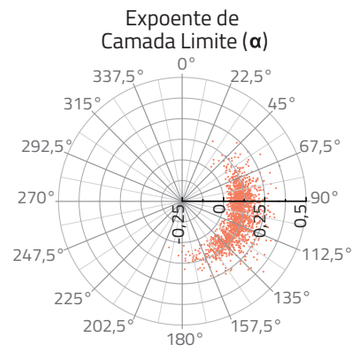
Figura A.3 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Campina Grande

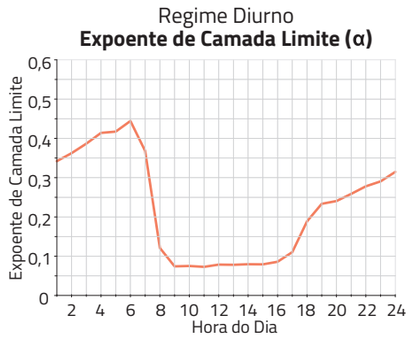






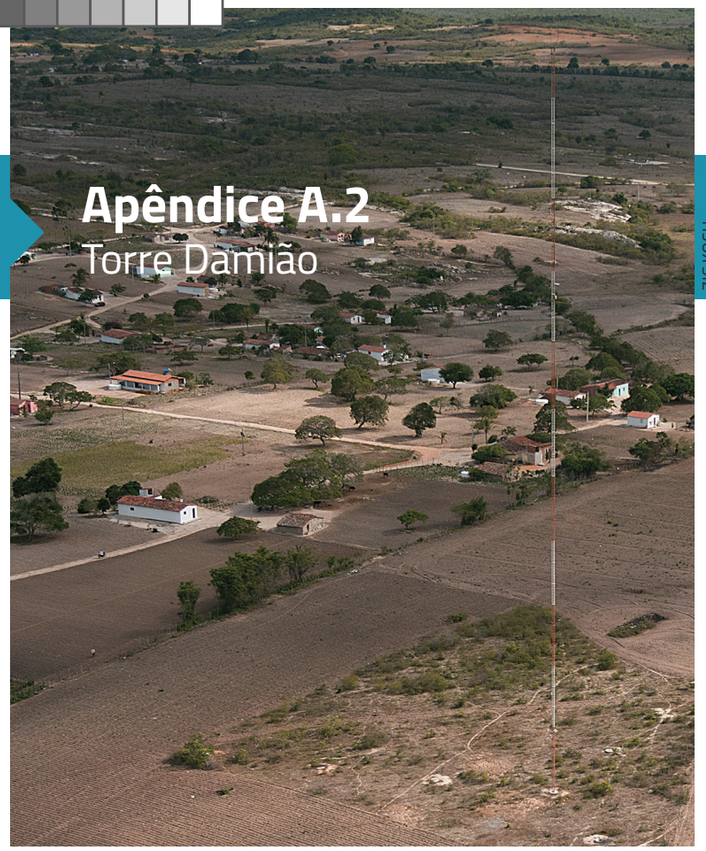






adm-PB.indb 92 25/11/2017 09:10:37

Apêndice A.2
Torre Damião



ZIG KOCH

Figura A.4 Torre de medição anemométrica em Damião

Tabela A.5 Características gerais da torre Damião

Município	DAMIÃO
Alturas de Medição	101,6, 100,0, 70,0 e 10,9 m
Latitude	6° 37' 04,4'' S
Longitude	35° 54' 17,7'' O
Xutm*	178 760
Yutm*	9 267 552
Altitude	613 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	19,1 °C
Período de Validação	3 anos
início	16/mar/2011
fim	19/mar/2014
Taxas de Recuperação de Dados de Vento	97,5% — Velocidade a 101,6 m
	97,5% — Velocidade a 100,0 m
	97,5% — Velocidade a 70.0 m
	97,5% — Velocidade a 10,9 m
período de validação	97,5% — Direção a 98,3 m
	97,5% — Direção a 68,7 m
	97,5% — Direção a 9,8 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

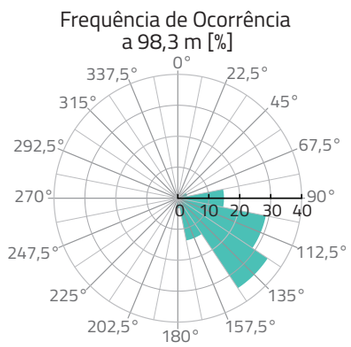
Tabela A.6 Sumário das medições na torre Damião, ajustadas para o longo prazo

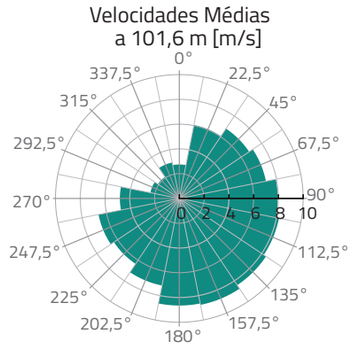
DAMIÃO — MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA

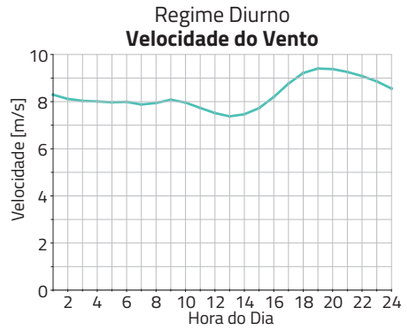
Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias
Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)

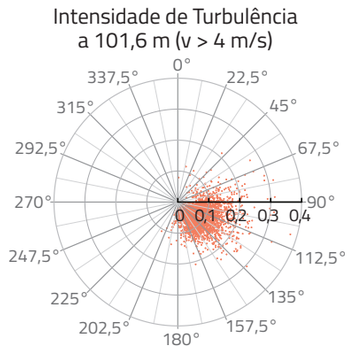
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA ANUAL
101,6 m	Vmédia [m/s]	7,72	7,16	6,56	6,54	7,20	8,14	8,70	9,33	9,69	9,01	8,73	8,13	**8,08**
	k - Weibull	5,14	5,17	4,89	4,33	4,80	5,20	5,10	6,64	6,13	5,43	5,65	5,24	5,10
70,0 m	Vmédia [m/s]	7,30	6,77	6,20	6,18	6,80	7,69	8,22	8,82	9,16	8,52	8,25	7,69	**7,64**
	k - Weibull	4,89	4,82	4,66	4,10	4,60	5,00	4,91	6,23	5,89	5,27	5,42	5,01	4,87
10,9 m	Vmédia [m/s]	5,06	4,69	4,30	4,29	4,72	5,33	5,70	6,11	6,35	5,91	5,72	5,33	**5,30**
	k - Weibull	4,55	4,34	4,36	3,68	4,12	4,42	4,27	5,02	5,13	5,19	5,04	4,84	4,32
Rugosidade, z_o [m]		0,006	0,018	0,029	0,121	0,394	0,652	1,107	0,434	0,105	0,007	0,008	0,007	**0,095**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,105	0,118	0,125	0,153	0,186	0,206	0,231	0,190	0,149	0,106	0,108	0,106	**0,147**
Temperatura [°C]		20,1	20,3	20,1	19,7	19,1	18,0	17,4	17,4	18,2	19,1	19,5	19,8	**19,1**
Pressão Atmosférica [hPa]		893	893	893	893	894	894	895	895	895	894	893	893	**894**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,061	1,060	1,061	1,062	1,065	1,070	1,073	1,073	1,070	1,066	1,063	1,061	**1,065**

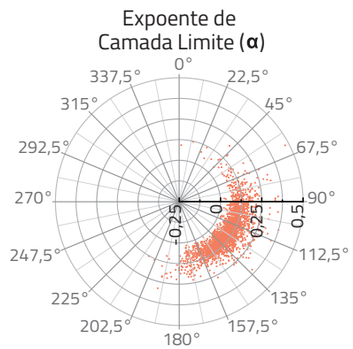
Figura A.5 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Damião

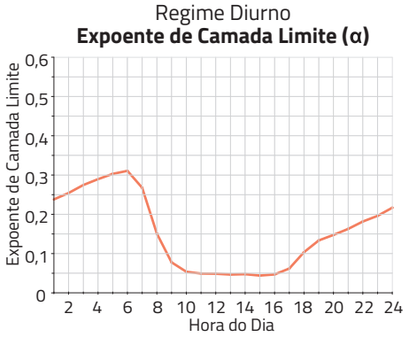




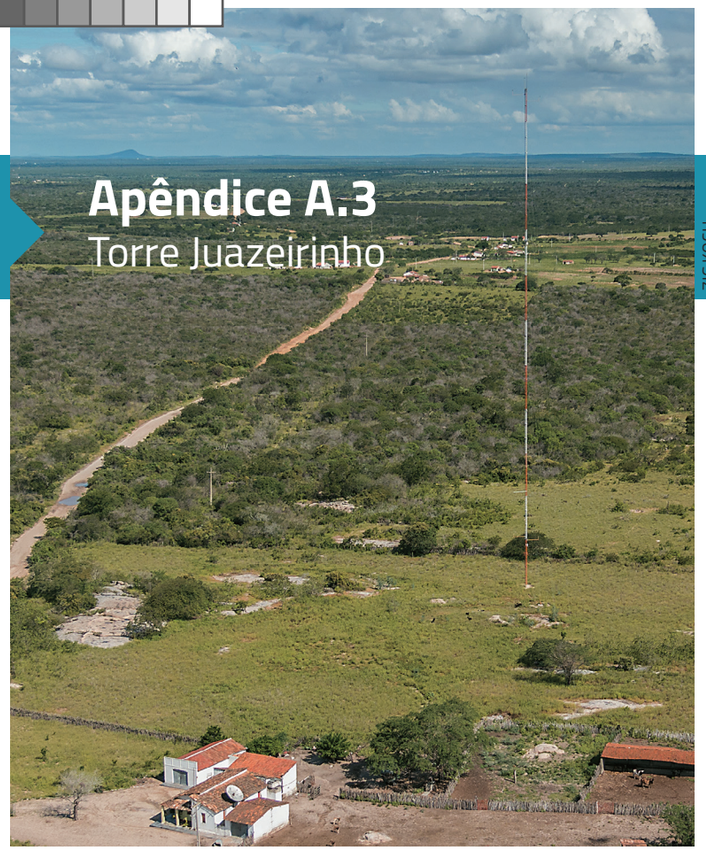








adm-FBmdb 93
25/11/2017 09:10:16



Apêndice A.3
Torre Juazeirinho

ZIG KOCH

Figura A.6 Torre de medição anemométrica em Juazeirinho

Tabela A.7 Características gerais da torre Juazeirinho

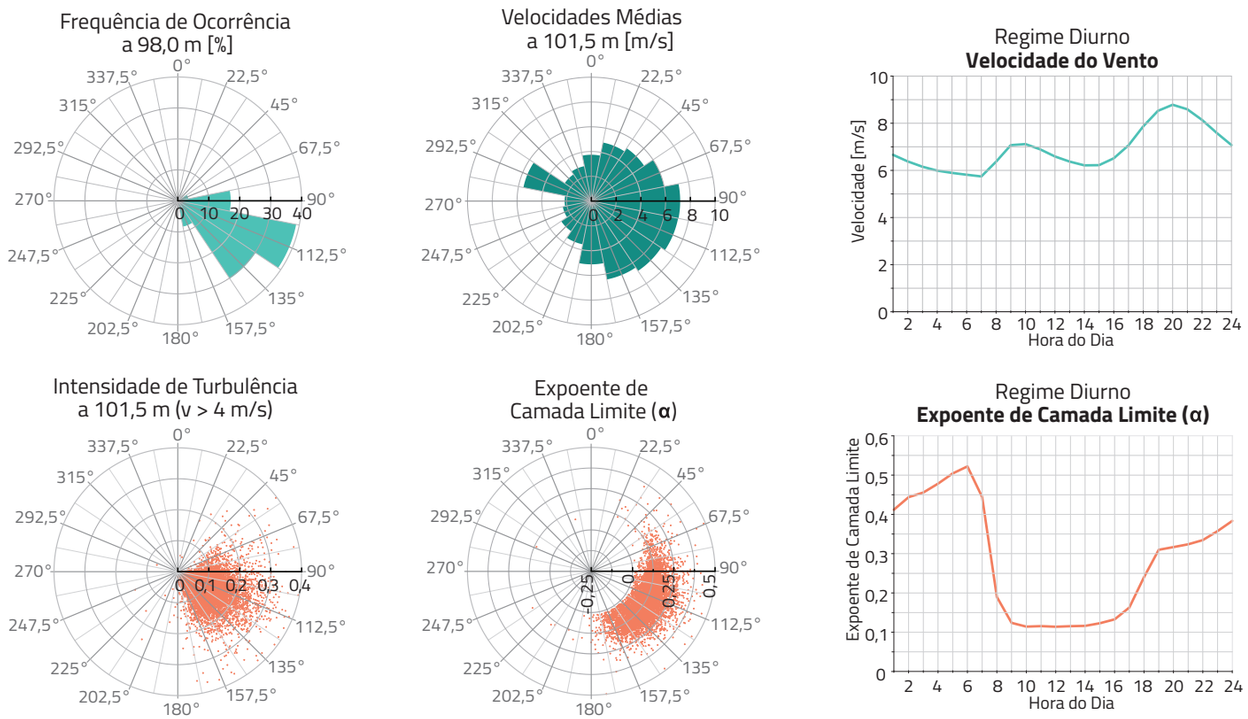
Município	JUAZEIRINHO
Alturas de Medição	101,5, 100,0, 70,0 e 11,3 m
Latitude	7° 06' 46,6'' S
Longitude	36° 33' 52,5'' O
Xutm*	769 008
Yutm*	9 213 056
Altitude	590 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	23,2 °C
Período de Validação	3 anos
início	01/mai/2011
fim	30/abr/2014
Taxas de Recuperação de Dados de Vento ▪*período de validação*▪	99,9% — Velocidade a 101,5 m
	99,9% — Velocidade a 100,0 m
	99,9% — Velocidade a 70,0 m
	99,9% — Velocidade a 11,3 m
	99,9% — Direção a 98,0 m
	99,9% — Direção a 69,0 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

Tabela A.8 Sumário das medições na torre Juazeirinho, ajustadas para o longo prazo

JUAZEIRINHO		MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA												
		Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)												MÉDIA ANUAL
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
101,5 m	Vmédia [m/s]	6,42	5,92	5,44	5,40	5,88	6,70	7,12	7,62	7,98	7,49	7,35	6,79	**6,68**
	k - Weibull	3,86	4,01	3,69	3,61	4,13	4,82	4,85	5,47	5,68	4,52	4,14	3,86	4,21
70,0 m	Vmédia [m/s]	5,78	5,33	4,89	4,86	5,30	6,03	6,41	6,86	7,18	6,75	6,61	6,11	**6,01**
	k - Weibull	3,71	3,78	3,56	3,53	3,75	4,43	4,26	4,76	5,05	4,36	3,95	3,74	3,93
11,3 m	Vmédia [m/s]	3,58	3,30	3,03	3,01	3,28	3,73	3,96	4,24	4,44	4,17	4,09	3,78	**3,72**
	k - Weibull	3,35	3,14	3,09	3,09	2,65	2,74	2,64	2,85	3,25	3,77	3,50	3,47	2,98
Rugosidade, z_0 [m]		1,227	1,631	1,482	1,595	3,060	3,719	3,675	2,835	2,155	1,258	1,449	1,255	**2,074**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,237	0,254	0,248	0,253	0,303	0,322	0,320	0,296	0,274	0,238	0,247	0,238	**0,271**
Temperatura [°C]		24,3	24,0	24,6	24,7	23,0	21,8	20,8	21,1	22,1	23,3	24,0	24,4	**23,1**
Pressão Atmosférica [hPa]		940	939	940	940	941	942	942	943	943	940	939	939	**941**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,100	1,101	1,099	1,099	1,107	1,113	1,117	1,116	1,112	1,105	1,101	1,100	**1,106**

Figura A.7 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre



atlas-PB.indb 94 25/11/2017 09:11:01

Apêndice A.4
Torre Mataraca

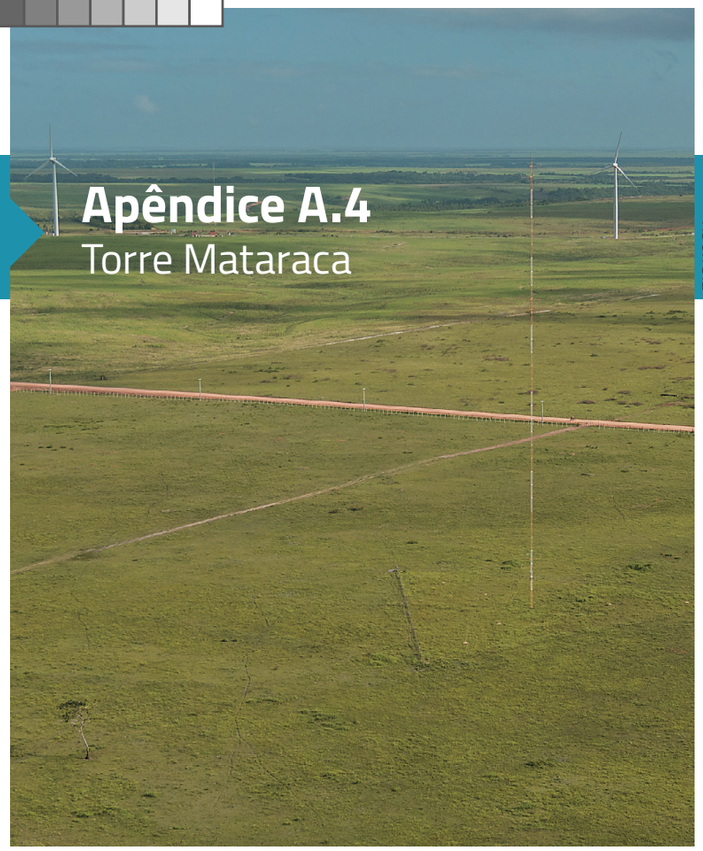

ZIG KOCH

Figura A.8 Torre de medição anemométrica em Mataraca

Tabela A.9 Características gerais da torre Mataraca

Município	MATARACA
Alturas de Medição	101,6, 100,2, 70,8 e 12,0 m
Latitude	6° 35' 02,7'' S
Longitude	35° 00' 15,3'' O
Xutm*	278 394
Yutm*	9 271 784
Altitude	49 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	24,8 °C
Período de Validação	4 anos
início	01/mai/2010
fim	30/abr/2014
Taxas de Recuperação de Dados de Vento	83,6% — Velocidade a 101,6 m
	83,6% — Velocidade a 100,2 m
	83,6% — Velocidade a 70,8 m
	83,6%— Velocidade a 12 m
período de validação	83,6% — Direção a 97,8 m
	83,6% — Direção a 68,5 m
	83,6% — Direção a 10,2 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

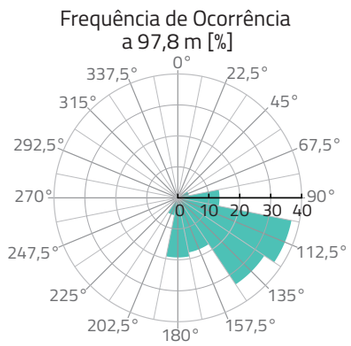
Tabela A.10 Sumário das medições na torre Mataraca, ajustadas para o longo prazo

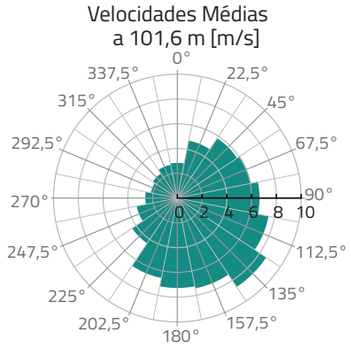
MATARACA — MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA

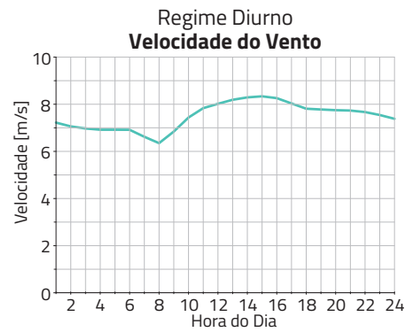
Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias
Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)

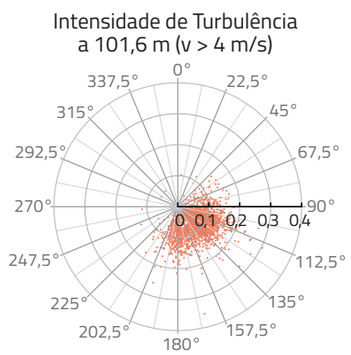
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA ANUAL
101,6 m	Vmédia [m/s]	6,98	6,51	6,01	6,01	6,69	7,58	8,11	8,64	8,87	8,08	7,77	7,29	**7,38**
	k - Weibull	5,37	4,45	3,78	3,99	4,06	4,19	4,09	5,03	4,92	4,91	5,89	6,66	4,27
70,8 m	Vmédia [m/s]	6,47	6,03	5,57	5,57	6,19	7,02	7,51	8,00	8,21	7,49	7,20	6,75	**6,84**
	k - Weibull	5,21	4,16	3,55	3,57	3,59	3,65	3,43	4,05	4,10	4,53	5,71	6,48	3,85
12,0 m	Vmédia [m/s]	4,80	4,48	4,13	4,13	4,60	5,21	5,58	5,94	6,10	5,56	5,34	5,02	**5,08**
	k - Weibull	4,18	3,15	2,76	2,44	2,30	2,27	2,18	2,32	2,45	3,35	4,36	4,79	2,65
Rugosidade, z_o [m]		0,024	0,109	0,198	1,359	2,377	4,009	3,777	2,605	1,352	0,192	0,068	0,014	**0,934**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,123	0,150	0,165	0,242	0,280	0,328	0,322	0,287	0,242	0,164	0,140	0,115	**0,222**
Temperatura [°C]		25,8	25,9	25,7	25,4	24,7	23,9	22,9	23,0	23,8	25,0	25,4	25,6	**24,8**
Pressão Atmosférica [hPa]		987	987	987	987	987	989	990	990	989	987	988	987	**988**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,150	1,149	1,150	1,151	1,154	1,160	1,165	1,165	1,160	1,153	1,153	1,151	**1,155**

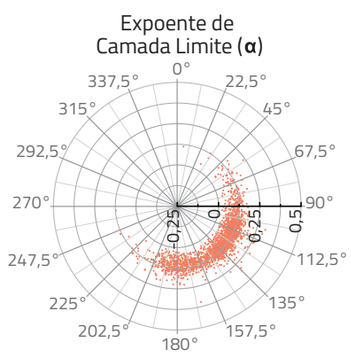
Figura A.9 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Mataraca

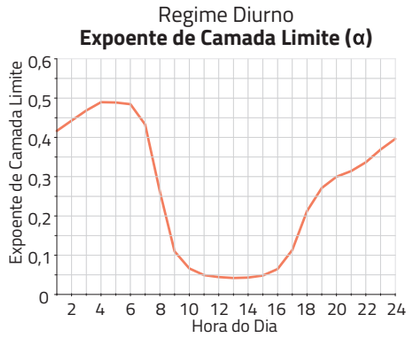






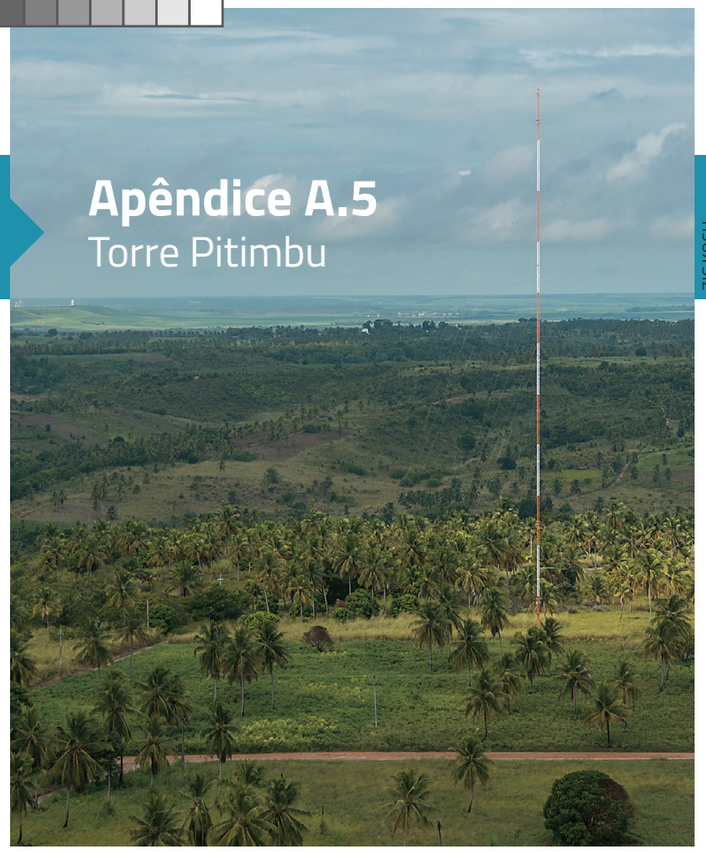






adm-FBmdb 95
25/11/2017 09:11:09

Apêndice A.5
Torre Pitimbu



ZIG KOCH

Figura A.10 Torre de medição anemométrica em Pitimbu

Tabela A.11 Características gerais da torre Pitimbu

Município	PITIMBU
Alturas de Medição	101,0, 100,0, 70,0 e 11,0 m
Latitude	7° 22' 58,5'' S
Longitude	34° 49' 55,4'' O
Xutm*	297 782
Yutm*	9 183 505
Altitude	87 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	24,9 °C
Período de Validação	2 anos
início	01/set/2011
fim	31/ago/2013
Taxas de Recuperação de Dados de Vento	95,6% — Velocidade a 101,0 m
	95,6% — Velocidade a 100,0 m
	95,6% — Velocidade a 70,0 m
	95,6% — Velocidade a 11,0 m
▪período de validação▪	96,2% — Direção a 100,0 m
	96,3% — Direção a 70,0 m
	96,3% — Direção a 11,0 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

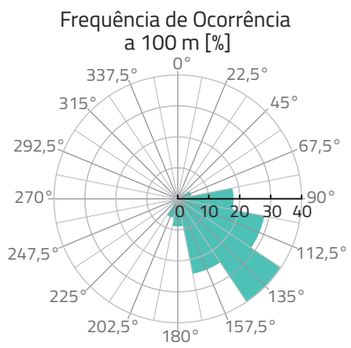
Tabela A.12 Sumário das medições na torre Pitimbu, ajustadas para o longo prazo

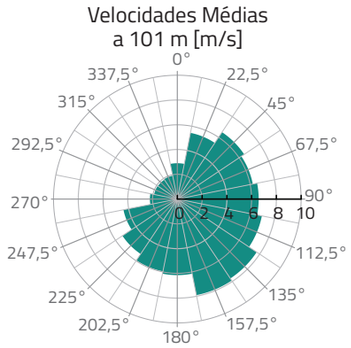
PITIMBU — MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA

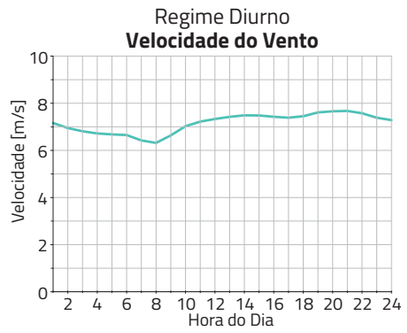
Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias
Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)

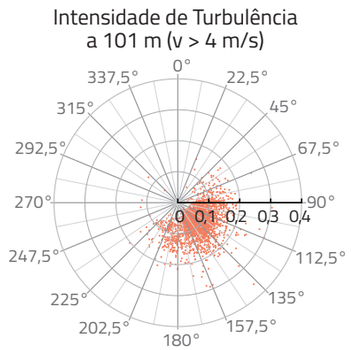
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA ANUAL
101,0 m	Vmédia [m/s]	6,73	6,35	5,91	5,90	6,48	7,36	7,77	8,11	8,21	7,49	7,32	6,94	**7,05**
	k - Weibull	4,81	5,44	4,95	4,12	3,81	3,96	3,90	4,74	5,33	5,68	6,47	6,54	4,36
70,0 m	Vmédia [m/s]	6,27	5,92	5,51	5,50	6,03	6,86	7,24	7,56	7,65	6,98	6,82	6,47	**6,57**
	k - Weibull	4,75	5,26	4,87	3,83	3,55	3,60	3,53	4,18	4,95	5,54	6,43	6,60	4,14
11,0 m	Vmédia [m/s]	3,62	3,42	3,18	3,17	3,48	3,96	4,18	4,36	4,42	4,03	3,94	3,73	**3,79**
		3,53	3,85	3,86	2,89	2,67	2,53	2,55	2,81	3,52	4,54	4,13	4,79	3,13
Rugosidade, z_0 [m]		0,107	0,195	0,131	0,458	0,956	2,138	2,286	1,329	0,470	0,163	0,060	0,063	**0,476**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,150	0,165	0,155	0,192	0,223	0,273	0,278	0,241	0,193	0,160	0,138	0,139	**0,193**
Temperatura [°C]		25,9	26,0	25,8	25,5	24,8	24,0	23,0	23,1	23,9	25,1	25,5	25,7	**24,9**
Pressão Atmosférica [hPa]		989	988	988	988	989	991	992	992	990	988	990	989	**989**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,152	1,151	1,152	1,152	1,156	1,162	1,167	1,166	1,161	1,154	1,154	1,153	**1,156**

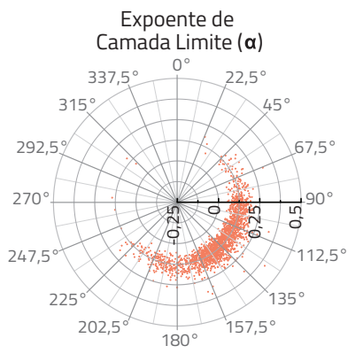
Figura A.11 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Pitimbu

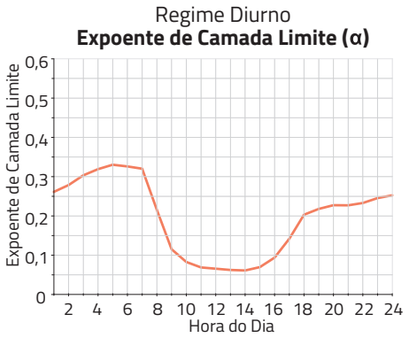






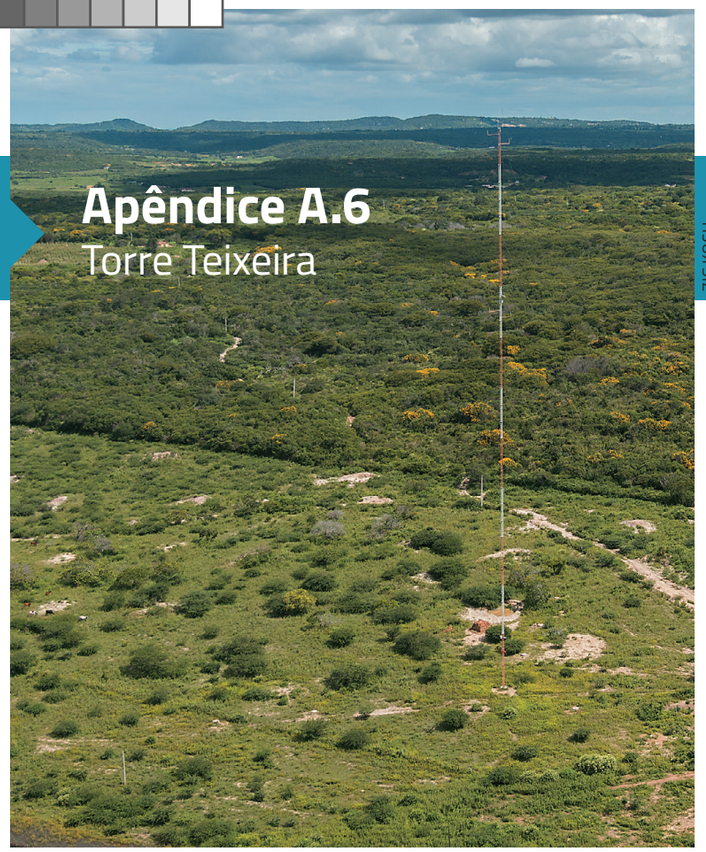






atlas-PE.indb 96 25/11/2017 09:11:15

Apêndice A.6
Torre Teixeira



ZIG KOCH

Figura A.12 Torre de medição anemométrica em Teixeira

Tabela A.13 Características gerais da torre Teixeira

Município	TEIXEIRA
Alturas de Medição	101,5, 100,0, 68,0 e 14,1 m
Latitude	7° 16' 43,5'' S
Longitude	37° 17' 50,9'' O
Xutm*	687 959
Yutm*	9 195 082
Altitude	788 m
Declinação Magnética	-22°
Temperatura Média Anual	26,3 °C
Período de Validação	4 anos
início	01/abr/2010
fim	30/abr/2014
Taxas de Recuperação de Dados de Vento	89,1% — Velocidade a 101,5 m
	89,1% — Velocidade a 100,0 m
	89,1% — Velocidade a 68,0 m
	89,1% — Velocidade a 14,1 m
▪*período de validação*▪	89,1% — Direção a 97,5 m
	89,1% — Direção a 67,3 m
	89,1% — Direção a 13,0 m

* PROJEÇÃO UTM25S, DATUM HORIZONTAL SIRGAS2000

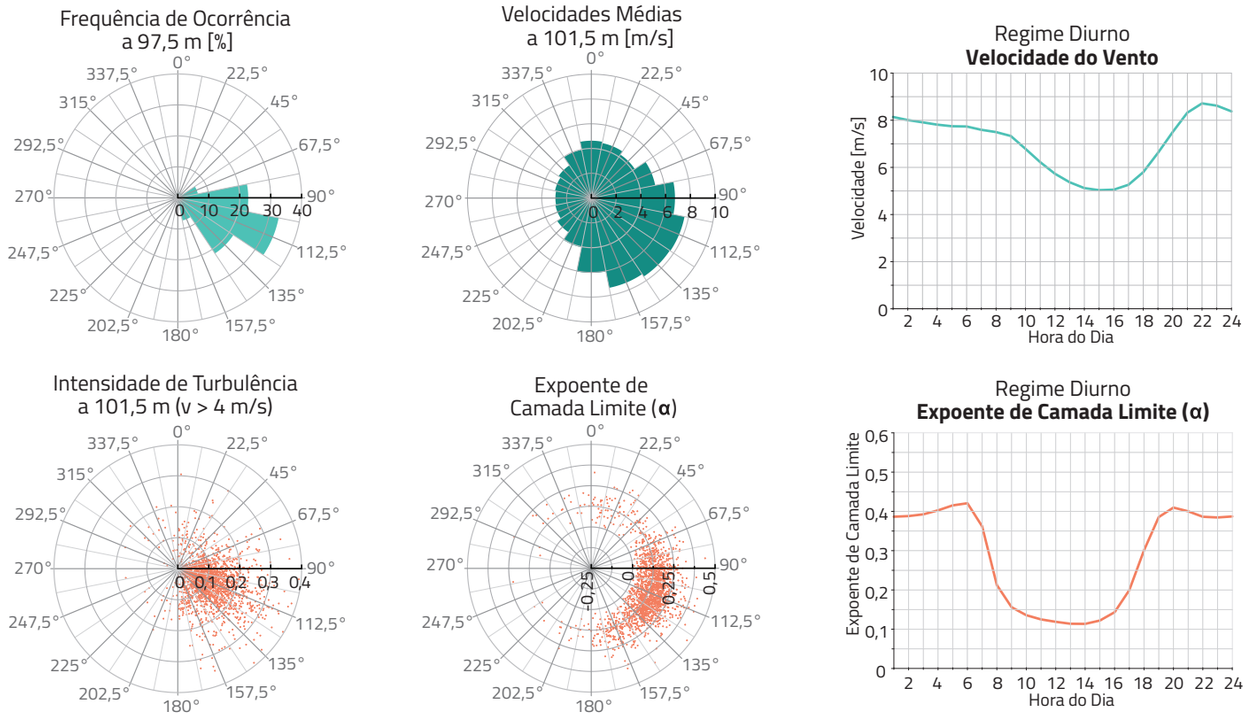
Tabela A.14 Sumário das medições na torre Teixeira, ajustadas para o longo prazo

TEIXEIRA — MÉDIA DE LONGO PRAZO CERTIFICADA

Velocidade, Distribuição de Weibull e demais Características Meteorológicas Médias
Média Climatológica de 10 Anos (mai/2004 a abr/2014)

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA ANUAL
101,5 m	Vmédia [m/s]	6,53	5,97	5,48	5,47	6,11	7,06	7,48	7,94	8,25	7,72	7,56	6,90	**6,88**
	k - Weibull	3,19	3,20	2,92	3,21	3,67	3,74	4,27	4,77	4,70	3,24	3,44	3,16	3,37
68,0 m	Vmédia [m/s]	5,79	5,30	4,87	4,85	5,42	6,27	6,64	7,04	7,32	6,85	6,71	6,12	**6,10**
	k - Weibull	3,28	3,30	3,00	3,34	3,67	3,75	4,29	4,80	4,75	3,34	3,57	3,29	3,43
14,1 m	Vmédia [m/s]	4,06	3,72	3,42	3,41	3,80	4,40	4,66	4,94	5,14	4,81	4,71	4,30	**4,28**
		3,12	3,11	2,71	2,96	3,10	3,21	3,61	3,98	4,27	3,33	3,54	3,22	3,14
Rugosidade, z_o [m]		3,075	3,527	3,314	3,112	3,197	2,888	2,565	2,238	2,326	2,346	2,774	2,836	**2,774**
Expoente de Camada-Limite [α]		0,304	0,317	0,311	0,305	0,307	0,298	0,288	0,277	0,280	0,281	0,294	0,296	**0,294**
Temperatura [°C]		28,0	27,6	27,1	26,5	25,1	24,2	23,7	24,3	25,6	27,2	27,8	28,0	**26,3**
Pressão Atmosférica [hPa]		988	988	988	988	990	991	992	992	991	990	988	988	**989**
Densidade do Ar [kg/m³]		1,143	1,144	1,146	1,149	1,156	1,161	1,164	1,162	1,155	1,148	1,143	1,142	**1,151**

Figura A.13 Rosas dos ventos e regimes diurnos observados na torre Teixeira



adm-PBAnd6 97
25/11/2017 09:11:21

Apêndice B.
Glossário

CAPÍTULO 1 - O ESTADO DA PARAÍBA

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.

IMAGENS LANDSAT 7 ETM+ ▪ imagens adquiridas pelo sensor ETM+, que fica a bordo do *Land Remote Sensing Satellite 7* – LandSat 7, disponibilizadas gratuitamente para toda superfície terrestre desde o ano de 2000; o LandSat 7 é um satélite artificial projetado em parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, a *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA e o *United States Geological Survey* – USGS como parte do programa norte-americano[66] de observação da Terra.

REDE DE DISTRIBUIÇÃO ▪ conjunto de linhas de distribuição que interligam as subestações dos Sistema Interligado Nacional – SIN aos centros consumidores; é operada e mantida sobre responsabilidade das concessionárias de energia locais; linhas de 138 kV e 69 kV fazem parte desta malha.

SISTEMA DE TRANSMISSÃO ▪ rede formada por subestações e linhas de transmissão de elevada capacidade de transporte de energia, que conecta grandes centros de produção e de consumo de energia elétrica; os componentes dos sistemas de transmissão são classificados principalmente por sua tensão nominal de operação (230, 500 e 750 kV) e por sua capacidade de transformação (MVA, no caso das subestações); a operação desses sistemas no Brasil é coordenada pelo Operador Nacional do Sistema – ONS, em oposição à operação dos sistemas de subtransmissão e distribuição de energia elétrica, que é coordenada pelas concessionárias locais.

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL – SIN ▪ sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil; consiste em um sistema hidrotérmico de grande porte, de características singulares em âmbito mundial, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários; compreende empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro -Oeste, Nordeste e parte da região Norte, e abrange 96,6% da capacidade de produção de eletricidade do país[72].

SUBESTAÇÃO ▪ agrupamento de equipamentos elétricos e eletromecânicos com elevada capacidade de manipulação de energia, utilizado para a transformação e regulação de níveis de tensão elétrica, assim como para a proteção e controle do sistema de transmissão; as subestações controlam e direcionam o fluxo energético, visando à manutenção da disponibilidade e a redução de perdas de transmissão do sistema como um todo[84].

WATT ▪ unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades equivalente a um joule por segundo (1 J/s)[43].

CAPÍTULO 2 - CLIMATOLOGIA

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[88].

BARLAVENTO ▪ direção de onde sopra o vento.

BRISA DE MONTANHA ▪ circulação de ar que ocorre principalmente durante a noite, devido ao arrefecimento do ar na montanha, formando correntes de ar na direção 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 na direção do vale para a montanha.

BRISA MARÍTIMA ▪ circulação de ar que se move durante o dia, do mar em direção a terra, devido ao aquecimento da superfície terrestre.

BRISA TERRESTRE ▪ circulação de ar que se move durante a noite, da terra em direção ao mar, devido ao resfriamento da superfície terrestre.

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[41].

CAMADA-LIMITE ATMOSFÉRICA ▪ camada atmosférica que sofre influência da 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[41][85].

DENSIDADE DO AR ▪ medida de concentração de massa por unidade de volume da atmosfera da Terra; o valor de densidade é de interesse para a engenharia eólica por ser diretamente proporcional à energia do vento.

EFEITO CORIOLIS ▪ força inercial proposta pelo matemático e engenheiro francês Gaspard Gustave Coriolis (1792–1843) que explica uma lei da cinética: "No hemisfério norte, toda partícula em movimento do polo para o Equador é desviada para sua direita e no hemisférico sul, para a sua esquerda"; em meteorologia, é um fenômeno fundamental para explicar os movimentos das massas de ar e a circulação atmosférica[77].

ESTABILIDADE TÉRMICA ▪ parâmetro característico da atmosfera próxima à superfície terrestre que permite inferir sobre suas propriedades termodinâmicas e sobre o escoamento horizontal do vento.

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.

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; exemplos de fenômenos de mesoescala são as brisas marítimas e terrestres e as brisas de vale e de montanha[41][88].

METEOROLOGIA DE MICROESCALA ▪ ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala inferior a um quilômetro, espacialmente; e a uma hora, temporalmente; exemplos de fenômenos de microescala são as rajadas, as turbulências e a poluição atmosférica[41][88].

METEOROLOGIA SINÓTICA ▪ ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala de centenas de quilômetros, espacialmente; e de dias a meses, temporalmente; exemplos de fenômenos sinóticos são os ciclones, as depressões, os deslocamentos das massas das ar, as frentes e os anticiclones[41][88].

SOTAVENTO ▪ direção para onde sopra o vento; em meteorologia, os termos sotavento e barlavento são utilizados para identificar regiões de escoamento do vento próximas a uma colina, morro ou montanha.

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[89].

VENTO GEOSTRÓFICO ▪ vento horizontal teórico que escoa na atmosfera livre, no topo da camada-limite, seguindo trajetórias retilíneas,

atlas-PBindb 98 25/11/2017 09:11:21

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[41][88].

VENTO PREDOMINANTE ▪ direção do vento com maior incidência, característica de uma determinada região geográfica.

CAPÍTULO 3 – ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE

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; exemplos de recursos renováveis são: radiação solar, energia geotérmica, marés, biomassa, vento e recursos hídricos[91].

OFFSHORE ▪ região localizada no mar, além da linha litorânea.

SHADOW FLICKER ▪ efeito de cintilação causado pela sombra dos rotores 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[69].

CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA

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.

ANEMÔMETRO ▪ instrumento utilizado para medir a velocidade do vento.

DATALOGGER ▪ dispositivo eletrônico para registro digital de dados meteorológicos provindos de múltiplos sensores.

NACELE ▪ conjunto com carenagens instalado no topo da torre de um aerogerador que abriga, entre outros equipamentos, gerador elétrico, caixas de redução, chassi de fixação do rotor e sistema de controle.

ROTOR ▪ conjunto formado pelas pás de um aerogerador e pelo cubo de fixação; turbinas eólicas comerciais possuem tipicamente rotores com três pás, número que resulta de um compromisso entre eficiência aerodinâmica, custo e minimização de cargas cíclicas[17].

WIND VANE ▪ instrumento para medir a direção do vento.

CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA

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.

MERRA – *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Application* ▪ base de dados climatológicos de reanálises disponibilizada pelo Escritório Global para Modelagem e Assimilação de Dados da NASA, gerada a partir da última versão do *Goddard Earth Observing System Data Assimilation System Version 5* – GEOS-5[80].

MESOMAP ▪ conjunto de processos para modelagem numérica da atmosfera em mesoescala para levantamento dos recursos eólicos; baseia-se no modelo MASS[15], incorporando princípios tais como a conservação da massa, *momentum* e energia, efeitos viscosos e de estabilidade térmica sobre o gradiente vertical do vento.

REANÁLISES ▪ processo de integração de dados provenientes de vários sistemas de observação, com modelos numéricos e outras metodologias; envolvem a reanálise e o reprocessamento de dados meteorológicos que abrangem períodos históricos de décadas e utilizam métodos modernos e consistentes; o objetivo é produzir um conjunto de dados que possa ser utilizado para estudos meteorológicos e climatológicos.

SENSORIAMENTO REMOTO ▪ ciência e arte que possibilitam a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas ou fenômenos), utilizando um sensor remoto; os sensores registram a interação da radiação eletromagnética com a superfície ou alvo em estudo e normalmente são embarcados em plataformas orbitais (satélites) ou em aeronaves[56].

TORRE ANEMOMÉTRICA ▪ conjunto composto por torre (tipicamente do tipo treliçada ou estaiada), *datalogger*, sistema de transmissão de dados, anemômetros, *wind vanes* e outros instrumentos meteorológicos (termômetros, barômetros e higrômetros).

WINDMAP ▪ *software* proprietário, módulo do sistema *MesoMap*[7][16], desenvolvido para o cálculo do recurso eólico, utilizando base de dados de alta resolução espacial para ajuste da topografia local e rugosidade.

CAPÍTULO 6 – MAPAS EÓLICOS

FATOR DE FORMA DE WEIBULL (k) ▪ parâmetro 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[17].

POTENCIAL EÓLICO ▪ quantidade de energia que se espera captar a partir do recurso eólico em uma determinada área e período de tempo; leva em consideração as características do vento, o uso e cobertura da terra e as características técnicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado.

CAPÍTULO 7 – ANÁLISE E DIAGNÓSTICOS

CURVA DE POTÊNCIA ▪ curva teórica ou medida que indica a potência elétrica gerada por um determinado modelo de aerogerador em função da velocidade do vento na altura do rotor.

DISPONIBILIDADE ▪ percentual médio do tempo durante o qual um aerogerador fica em operação ao longo de um determinado período.

FATOR DE CAPACIDADE ▪ relação entre a produção efetiva de um parque eólico, em um período de tempo, e a capacidade nominal neste mesmo período.

MICROSITING ▪ estudo de posicionamento de turbinas de um projeto de energia eólica que busca a otimização das métricas de avaliação por meio da maximização da geração de energia e a minimização das perdas por interferência aerodinâmica; são levados em consideração, durante os estudos de *micrositing*, as características locais do vento, a topografia, os acessos, os limites fundiários, variáveis econômicas e as restrições legais e ambientais, entre outras eventualmente arbitradas pelo empreendedor.

SÍTIO EÓLICO ▪ área de interesse para implementação de um parque eólico.

TAXA DE OCUPAÇÃO ▪ relação média entre potência instalável, em MW, e área, em km², utilizada no cálculo do potencial eólico.

atlas-PT.indb 99 25/11/2017 09:11:21

Apêndice C.
O Sistema *MesoMap*

O sistema *MesoMap* caracteriza o recurso eólico numa região pela recriação das condições reais climáticas de 366 dias escolhidos aleatoriamente dentre registros históricos de 15 anos. Um amplo conjunto de dados geográficos e meteorológicos é utilizado como entrada. Os principais dados meteorológicos são os provenientes de reanálises, radiossondagens e temperatura sobre a terra e oceanos. Entre estes, têm maior importância os provenientes de reanálises, cuja descrição sucinta é apresentada no Capítulo 2. Em conjunto com dados existentes de radiossondagens e temperaturas da superfície terrestre, os dados de reanálises estabelecem as condições de contorno iniciais bem como condições de contorno laterais atualizadas para a progressão das simulações. A partir dessas condições, o modelo determina a evolução das condições meteorológicas dentro da região em estudo, com base nas interações entre os distintos elementos da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície terrestre.

A seguir é apresentada uma descrição dos dois módulos computacionais que compreendem o sistema *MesoMap*, complementando a descrição do Item 5.1.

C.1 O módulo *MASS*

O núcleo do *MesoMap* é o *Mesoscale Atmospheric Simulation System* – *MASS*[15], que é um modelo numérico de mesoescala similar aos modelos de previsão do tempo ETA e MM5, os quais incorporam os seguintes princípios físicos fundamentais da dinâmica atmosférica:

- princípios de conservação de massa, *momentum* e energia;
- fluxos de calor e mudanças de fase do vapor d'água;
- módulo de energia cinética turbulenta, que simula os efeitos viscosos e de estabilidade térmica sobre o gradiente vertical de vento.

Por ser um modelo atmosférico dinâmico, o *MASS* exige grande demanda computacional, com uso de supercomputador ou de rede de múltiplos processadores em paralelo. Por essa razão, a *AWS Truepower* desenvolveu um sistema de processamento consistindo em mais de 800 núcleos conectados em rede, para os quais é necessário dispor de 500 TB de espaço para armazenamento digital.

O *MASS* está acoplado a dois módulos de cálculo: o *ForeWind*, um modelo dinâmico de camada-limite viscosa, e o *WindMap*, que é um modelo de simulação tridimensional de escoamento não divergente (conservação de massa), com interface para dados geográficos de alta resolução espacial e algumas funcionalidades de sistemas de informações geográficas (SIG). Para áreas e casos específicos, um desses dois módulos é escolhido para aumentar a resolução espacial das simulações do *MASS*.

C.2 O módulo *WindMap*

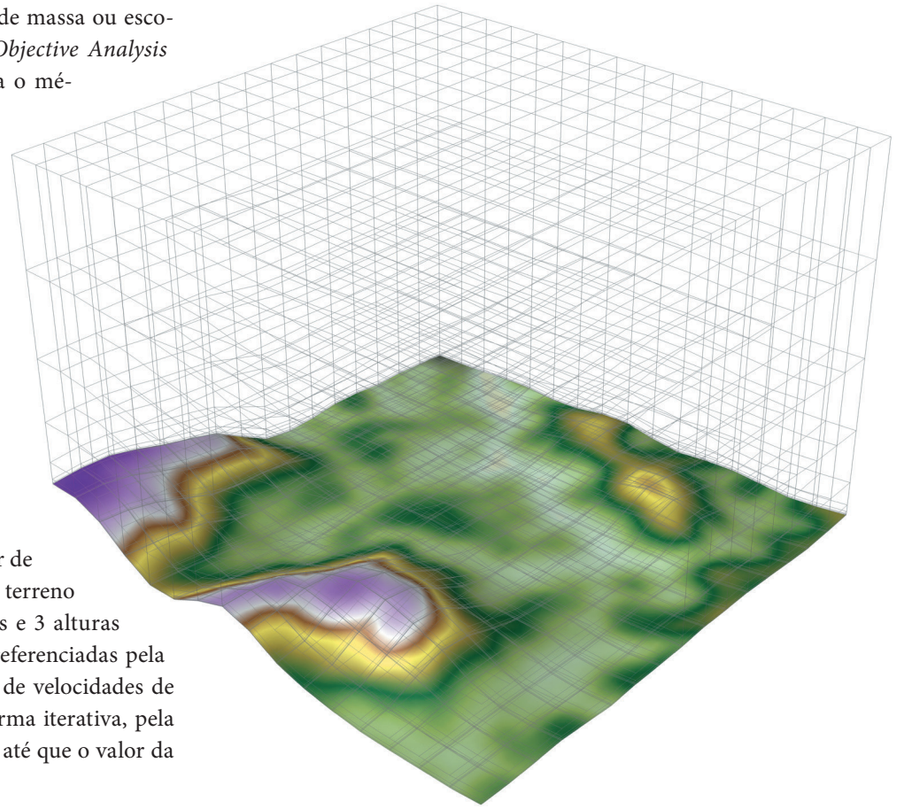
Neste Atlas, as velocidades médias e direções de vento foram calculadas para a resolução final pelo módulo *WindMap*, utilizando os resultados do *MASS*, os modelos digitais de terreno (relevo e rugosidade) em alta resolução, bem como parâmetros calculados a partir das medições anemométricas.

O *WindMap* é um modelo de simulação de camada-limite atmosférica de microescala, constituindo um desenvolvimento dos métodos baseados na equação da continuidade (conservação de massa ou escoamento não divergente) originários do *Numerical Objective Analysis of Boundary Layer* – NOABL[78], o *WindMap* utiliza o método dos elementos finitos para calcular o campo de velocidade do escoamento em todo o domínio de cálculo, constituindo-se em uma malha tridimensional de pontos sobre o terreno. Essa malha é representada por um *grid* gerado com base em um sistema de coordenadas conformes ao terreno, de modo a refinar o detalhamento da malha na região próxima à superfície.

Juntamente com os parâmetros de estabilidade térmica obtidos a partir das medições anemométricas, os sumários estatísticos das simulações *MASS* compõem as condições de contorno e os dados de inicialização. Esses dados de simulação são representados em estatísticas por direção numa malha regular de 2,5 km x 2,5 km para distintos níveis de altura sobre o terreno (8 alturas sobre a superfície – entre 10 e 500 metros e 3 alturas acima da camada-limite, denominadas *upper air* e referenciadas pela pressão atmosférica). A partir de um campo inicial de velocidades de vento, a condição de continuidade é satisfeita, de forma iterativa, pela solução do sistema de equações diferenciais parciais, até que o valor da divergência do campo de velocidades esteja abaixo de um certo nível de tolerância. O modelamento de ventos pela formulação da equação da continuidade não resolve as equações fundamentais que determinam a influência da estratificação térmica da atmosfera no escoamento; entretanto, o *WindMap* contém ferramentas que reproduzem esses efeitos, considerando altura de camada-limite, perfil logarítmico de velocidade vertical e características de estabilidade térmica da atmosfera baseadas na Teoria da Similaridade de Monin-Obukhov[85]. O *WindMap* permite, ainda, o uso de um Modelo de Correlação para separar áreas com regimes distintos de vento, por exemplo, áreas costeiras sujeitas às brisas marinhas.

O processo de cálculo é realizado por elementos finitos, em um domínio tridimensional, conforme Figura C.1. O terreno é representado por uma malha regular de *m* elementos no sentido norte-sul e *n* elementos no sentido leste-oeste. No sentido vertical são definidos *w* elementos e o espaçamento vertical entre os nós da malha pode ter variação logarítmica ou geométrica, de forma a concentrar mais elementos na proximidade da superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos.

Figura C.1 Domínio tridimensional de cálculo do WindMap: a malha concentra mais elementos na região próxima à superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos



atlas-PBA.indb 100 25/11/2017 09:11:22

O resultado do cálculo é um campo de velocidades não divergente, ou seja, que satisfaz a equação da continuidade, ou da conservação de massa, conforme a equação diferencial:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

Supondo-se uma condição inicial de campo de escoamento divergente, definida localmente em um dado elemento pelas componentes u_0, v_0, w_0, as componentes ajustadas de velocidade não divergente podem ser definidas como:

$$u=u_0+\bar{u} \qquad v=v_0+\bar{v} \qquad w=w_0+\bar{w}$$

onde $\bar{u}$, $\bar{v}$ e $\bar{w}$ definem a correção necessária para eliminar a divergência local do escoamento e são representadas, respectivamente, por:

$$\bar{u}=\tau_h+\frac{\partial\phi}{\partial x} \qquad \bar{v}=\tau_h+\frac{\partial\phi}{\partial y} \qquad \bar{w}=\tau_v+\frac{\partial\phi}{\partial z}$$

O potencial de velocidade de perturbação é resultante das influências do terreno no campo de escoamento, bem como de eventuais erros introduzidos nas condições de inicialização do modelo. Os coeficientes τ_h e τ_v modelam o desvio entre as condições de estabilidade térmica vertical real e neutra da atmosfera. Para τ_h = τ_v = constante, as velocidades de perturbação adicionam uma correção para anular o rotacional do campo de escoamento, de modo a eliminar a vorticidade inicialmente presente no campo de escoamento. Determina-se o potencial de velocidade a partir da equação da continuidade, forçando o escoamento a ser não divergente. Maiores detalhes sobre os algoritmos e métodos de solução adotados no modelo *NOABL/WindMap* são apresentados por Phillips[78].

A Lei Logarítmica expressa na Seção D.2 leva em consideração apenas a influência da rugosidade no perfil de velocidade, negligenciando o efeito da estratificação térmica da atmosfera. Portanto, desvios significativos podem ocorrer em relação ao perfil de velocidade real da atmosfera.

A Teoria da Similaridade de Monin-Obukhov descreve um perfil mais geral da velocidade vertical, levando em consideração os efeitos da rugosidade e da estabilidade térmica, expressando-se matematicamente por[85]:

$$u(z)=\frac{u_*}{\kappa}\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)-\Psi\left(\frac{z}{L}\right)\right],$$

em que Ψ é uma função empírica da estratificação térmica da atmosfera[18][29]e L é o Comprimento de Estabilidade de Obukhov. O *software WindMap* realiza, por meio da escolha de diferentes valores de L, a simulação de condições de atmosfera neutra, instável e estável. Stull[85] apresenta as funções de similaridade *($\Psi(\zeta)$, ζ=(z/L))* para as diferentes condições de estabilidade atmosférica.

Nos cálculos do mapeamento do potencial eólico da Paraíba, os parâmetros de estabilidade térmica vertical da atmosfera foram estimados a partir dos resultados das medições anemométricas, complementadas com dados do modelo de mesoescala e utilizando procedimentos de caracterização do perfil vertical do vento, conforme descrição no Capítulo 5.

Apêndice D.
Fórmulas Úteis

D.1 Distribuição de Weibull

A Distribuição Estatística de Weibull[82] é definida por dois parâmetros: um de escala (*C*, em m/s) e outro de forma (*k*, adimensional). A frequência de ocorrência de uma velocidade *u* é demonstrada matematicamente por

$$f(u)=\frac{k}{C}\left(\frac{u}{C}\right)^{k-1}e^{-\left(\frac{u}{C}\right)^k}$$

Na Figura D.1 é apresentada a distribuição de Weibull para diferentes fatores de forma. No caso do fator de forma ser igual a 2, deriva-se a Distribuição de Rayleigh, caracterizada apenas pelo fator de escala (*C*, em m/s), que representa, neste caso, a velocidade média do vento[82]

$$f(u)=\frac{2}{C}\left(\frac{u}{C}\right)e^{-\left(\frac{u}{C}\right)^2}$$

Por ser mais geral, a Distribuição de Weibull apresenta melhor aderência às estatísticas de velocidade do vento, uma vez que o fator de forma pode assumir valores bastante superiores a 2[4].

A função densidade de probabilidade cumulativa, *F(u)*, associada à probabilidade da velocidade do vento ser maior que *u*, se expressa por

$$F(u)=\int_u^\infty f(u)du=e^{-\left(\frac{u}{C}\right)^k}$$

O valor médio ou valor esperado da velocidade do vento é dado por

$$\bar{u}=\int_u^\infty uf(u)du=C\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)$$

em que a Função Gama (Γ) é definida por

$$\Gamma(z)=\int_0^\infty t^{z-1}e^{-1}dt$$

A Tabela D.1 apresenta a Função Gama para diversos valores de *k*.

atlas-PB.indb 101 25/11/2017 09:11:22

O Fluxo ou Densidade de Potência Eólica é definido como

$$\overline{E} = \frac{1}{2}\rho\overline{u^3} \ \text{(W/m}^2\text{)}$$

que, expressando-se em termos da distribuição de Weibull, resulta em

$$\overline{E} = \frac{1}{2}\rho C^3 \Gamma\left(1+\frac{3}{k}\right) \ \text{(W/m}^2\text{)}$$

em que ρ é a densidade do ar[65]. A Figura D.2 apresenta exemplos da variação do fluxo de potência eólica em função da velocidade do vento e do fator de forma de Weibull.

Tabela D.1 Função Gama para diferentes valores de k

k	$\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)$	k	$\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)$
1,6	0,896574	2,5	0,887264
1,7	0,892245	2,6	0,888210
1,8	0,889287	2,7	0,889283
1,9	0,887363	2,8	0,890451
2,0	0,886227	2,9	0,891690
2,1	0,885694	3,0	0,892980
2,2	0,885625	3,5	0,899747
2,3	0,885915	4,0	0,906402
2,4	0,886482	5,0	0,918169

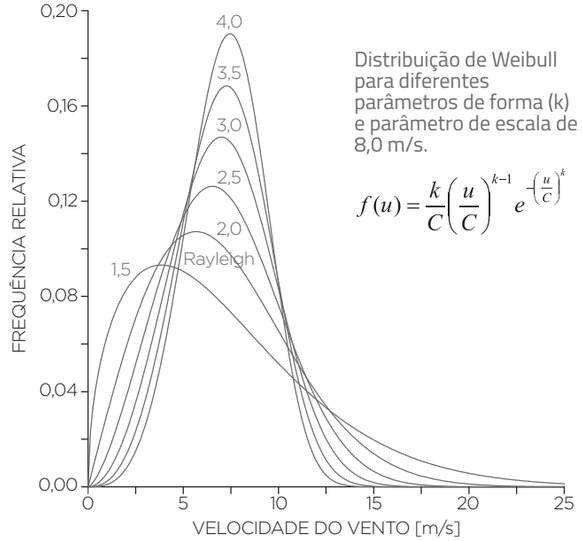


Figura D.1 Distribuições de Weibull e Rayleigh

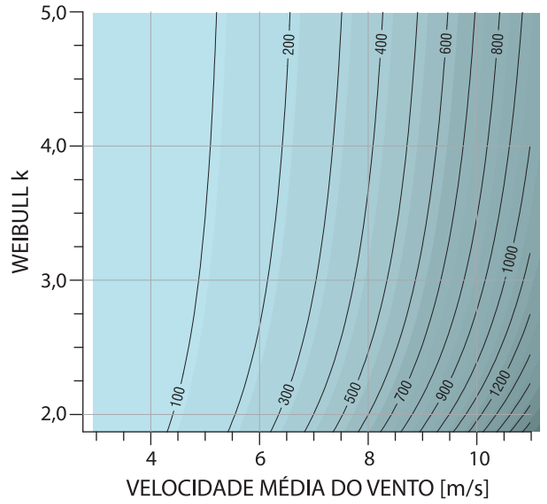


Figura D.2 Fluxo de potência disponível no vento livre de obstáculos (W/m²) em função de sua velocidade média e do fator de forma de Weibull

D.2 Lei Logarítmica e Rugosidade

Em condições neutras de estratificação térmica vertical da atmosfera, o perfil de velocidade vertical do vento na camada-limite pode ser aproximado pela Lei Logarítmica segundo a relação[77]

$$u(h) = \frac{u_*}{\kappa}\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)$$

onde $u(h)$ é a velocidade do vento na altura h, z_0 é a rugosidade do terreno, $\kappa \cong 0{,}4$ é a constante de Von Kármán e u_* é a velocidade de atrito[85].

Escrevendo-se a Lei Logarítmica para representar a velocidade do vento em duas alturas h_1 e h_2, e dividindo-se uma expressão pela outra, pode-se relacionar as velocidades do vento em duas alturas:

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln(h_2/z_0)}{\ln(h_1/z_0)}$$

Explicitando-se a rugosidade dessa expressão, tem-se

$$z_0 = \exp\left[\frac{u(h_2)\ln(h_1) - u(h_1)\ln(h_2)}{u(h_2) - u(h_1)}\right]$$

A variação vertical da velocidade do vento na camada-limite também pode ser expressa em termos da Lei de Potência, segundo a relação

$$u(h_2) = u(h_1)\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha}$$

onde $u(h)$ é a velocidade do vento na altura h e α é o "expoente de camada-limite".

Desta relação, pode-se explicitar o expoente de camada-limite – α em função das velocidades de vento em duas alturas, resultando em

$$\alpha = \ln\left[\frac{u(h_2)}{u(h_1)}\right] \Big/ \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

atlas-PBinds 102 25/11/2017 09:11:22

D.3 Densidade do Ar

A potência gerada por uma turbina eólica é função direta da densidade do ar que impulsiona o rotor. As curvas de potência fornecidas pelos fabricantes são usualmente dadas para condições padrão da atmosfera (15°C, nível do mar, densidade do ar de 1,225 kg/m³). Portanto, o desempenho das máquinas nas diversas condições de operação deve ser corrigido para o efeito da variação da densidade com a altitude e a temperatura locais. No Capítulo 6 foi apresentado o mapa de densidade média anual para todo o Estado da Paraíba, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da Atmosfera Padrão Internacional – *ISA*[68], calculado sobre o modelo de relevo na resolução de 100 m x 100 m e ajustado para dados de temperatura coletados em estações do INMET, entre 1961 e 1990[42].

Uma expressão aproximada para o cálculo da densidade do ar ρ (em kg/m³) a partir da temperatura T (em °C) e altitude z (em metros) é dada por:

$$\rho = \frac{352{,}98 \times \left(1 - \frac{z}{45271}\right)^{5{,}2624}}{273{,}15 + T}$$

D.4 Esteira Aerodinâmica

Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento, que passa através da área varrida pelo rotor, e a transforma em energia elétrica. A potência elétrica é função do cubo da velocidade de vento v:

$$P = \frac{1}{2}\rho A_r v^3 C_p \eta \text{ (Watts)}$$

em que A_r é a área varrida pelo rotor, C_p é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor (valor máximo teórico = 0,593, na prática atinge 0,45 e é variável com vento, rotação e parâmetros de controle da turbina) e η é a eficiência do conjunto gerador/transmissões mecânicas e elétricas (~0,93-0,98).

Ao absorver a energia cinética, o rotor reduz a velocidade do vento imediatamente a sotavento do disco, mas essa velocidade se recupera gradualmente, ao se misturar com as massas de ar do escoamento livre. Após alguma distância a sotavento, que varia com a velocidade do vento, com a condição de operação da turbina, com a rugosidade de terreno e com a condição de estabilidade témica da atmosfera, o escoamento praticamente recupera a velocidade original e turbinas adicionais podem ser instaladas. A relação entre as velocidade do escoamento livre (u_0) e na esteira, a uma distância axial x do rotor (u), é dada por[44]

$$u = u_0\left[1 - \left(1 - \sqrt{1 - C_t}\right)\left(\frac{D}{D + 2\beta x}\right)^2\right]$$

sendo $\beta \approx \frac{1}{2\ln\left(h/z_0\right)}$ e $C_t = \frac{2F_T}{\rho A_r u_0^2}$

D.5 Produção Anual de Energia (PAE) e Fator de Capacidade

A Produção Anual de Energia – PAE de uma turbina eólica pode ser calculada pela integração das curvas de potência ($P(u)$, em kW) e da frequência de ocorrência das velocidades de vento ($f(u)$)[44].

$$PAE = 8{,}76 \times \int_u P(u) f(u) du \text{ (MWh)}$$

$$PAE \cong 8{,}76 \times \sum_{i=1}^{N} P(u_i) f(u_i) \Delta u_i \text{ (MWh)}$$

O "fator de capacidade" é definido como a razão entre a energia efetivamente gerada e a energia teórica que seria gerada considerando-se a potência nominal (P_n) do aerogerador:

$$FC = \left(\frac{PAE}{8{,}76 \times P_n}\right)$$

D.6 Custo de Geração

A expressão a seguir é uma fórmula prática para se estimar o custo médio de geração ao longo da vida útil de um empreendimento eólico:

$$Custo = \frac{P \times \left(R + \frac{O\&M}{100}\right)}{8{,}76 \times FC_{líquido}} \text{ (R\$/MWh)}$$

onde:
P = investimento inicial (R$/kW)
R = rendimento do investimento
$O\&M$ = custo percentual esperado das despesas com operação e manutenção em relação ao investimento total; pode-se utilizar como valor de referência: $O\&M$ = 2%.
$FC_{líquido}$ = fator de capacidade líquido da usina

Na fórmula acima, o fator R (rendimento) pode ser calculado da seguinte maneira:

$$R = \frac{t}{100} \times \left[1 - \left(1 + \frac{t}{100}\right)^n\right]$$

onde:
t = *taxa* de atratividade (%/*ano*)
n = vida útil da usina (anos)

E o fator de capacidade líquido pode ser calculado por:

$$FC_{líquido} = FC_{bruto} \times F_D \times F_P$$

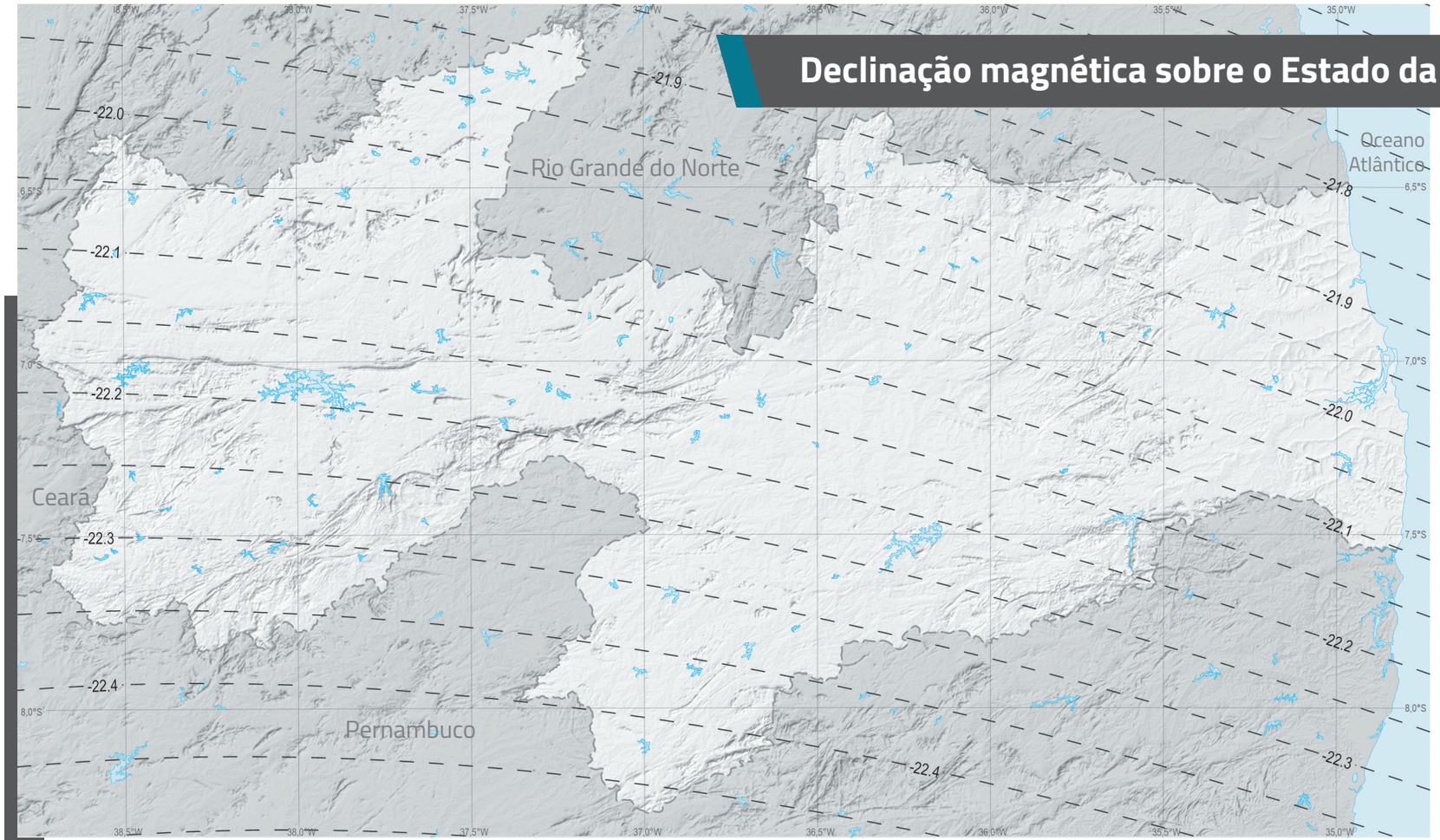
onde:
FC_{bruto} = fator de capacidade bruto da usina
F_D = fator de disponibilidade; pode-se utilizar como valor de referência F_D = 0,97
F_P = fator resultante de outras perdas, como perdas elétricas no sistema de distribuição; pode-se utilizar como valor de referência: F_P = 0,96

Na equação acima, o fator de capacidade bruto da usina é dado por:

$$FC_{bruto} = \frac{E}{Pot \times 8760}$$

onde:
E = produção anual de energia bruta estimada para a usina (MWh)
Pot = capacidade instalada total da usina (MW)

atlas-PB.indb 103 25/11/2017 09:11:22

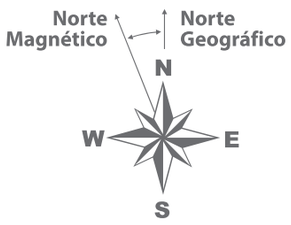


Mapa E.2

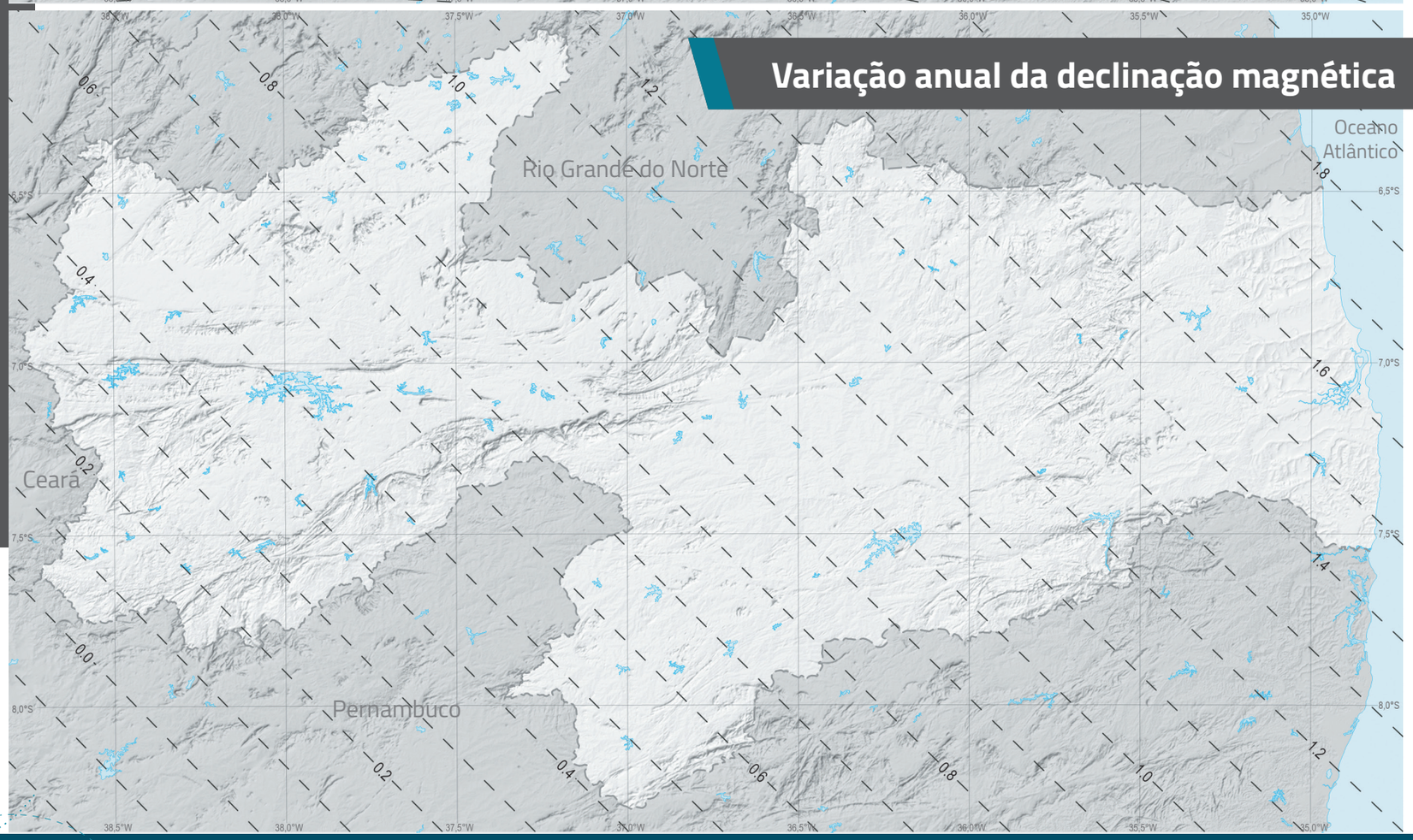
Apêndice E.

Declinação Magnética

Como informação auxiliar à instalação futura de sensores de direção em torres anemométricas no Estado da Paraíba, foram desenvolvidos mapas de declinação magnética e variação magnética anual para os anos de 2011-2015[35].



CONVENÇÃO DE DECLINAÇÃO MAGNÉTICA NEGATIVA: NORTE GEOGRÁFICO A NORDESTE DO NORTE MAGNÉTICO



Mapa E.1

ESCALA 1 : 1 850 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 20 40 60 km

MAPAS PRODUZIDOS A PARTIR DO MODELO *INTERNATIONAL GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD* - IGRF, VERSÃO 11 (VÁLIDA ENTRE 1900-2015)[35].

BASE CARTOGRÁFICA: IBGE[46], [47], SRTM[25]

ndes-PB.indb 104 25/11/2017 09:11:21