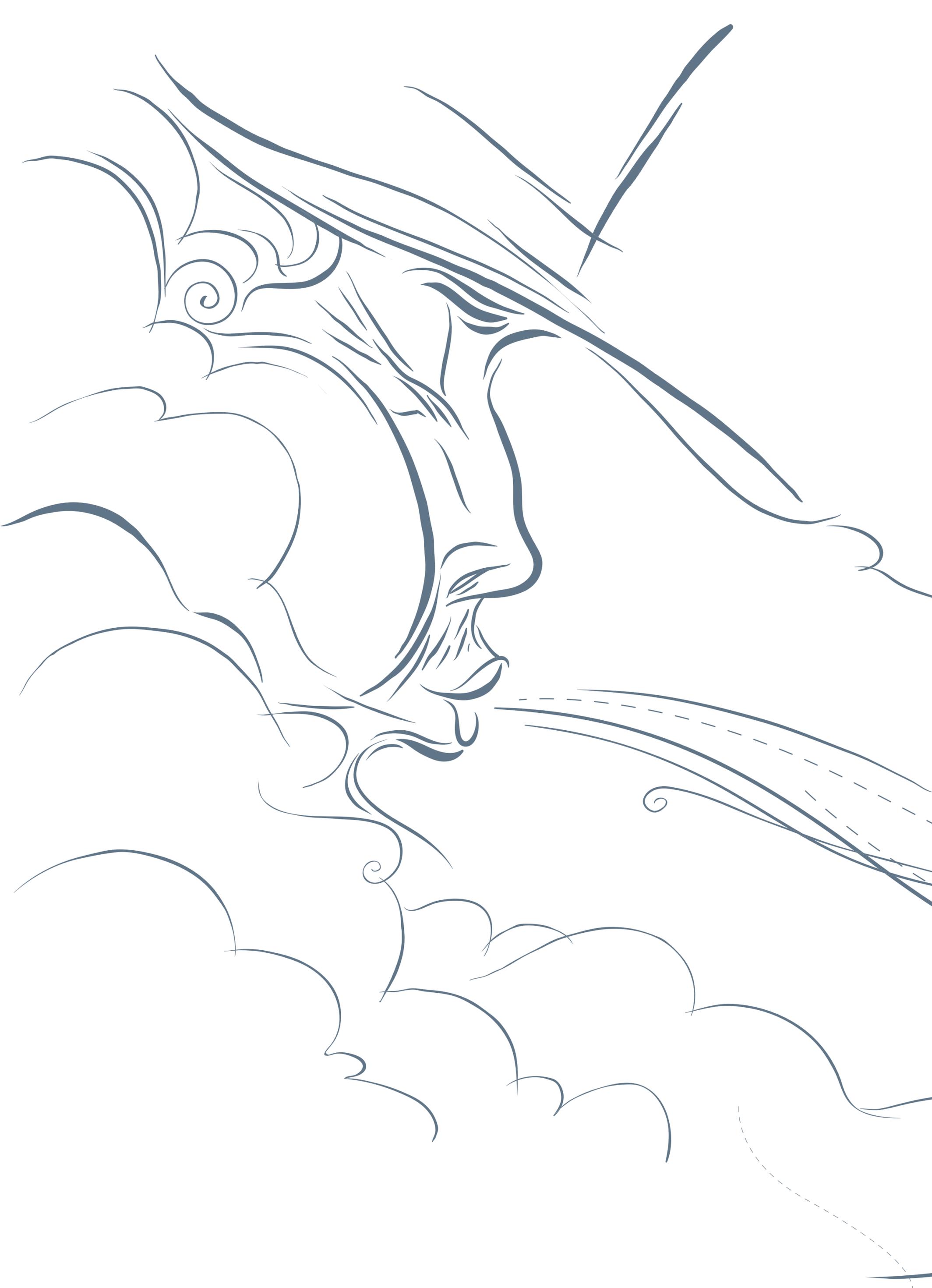
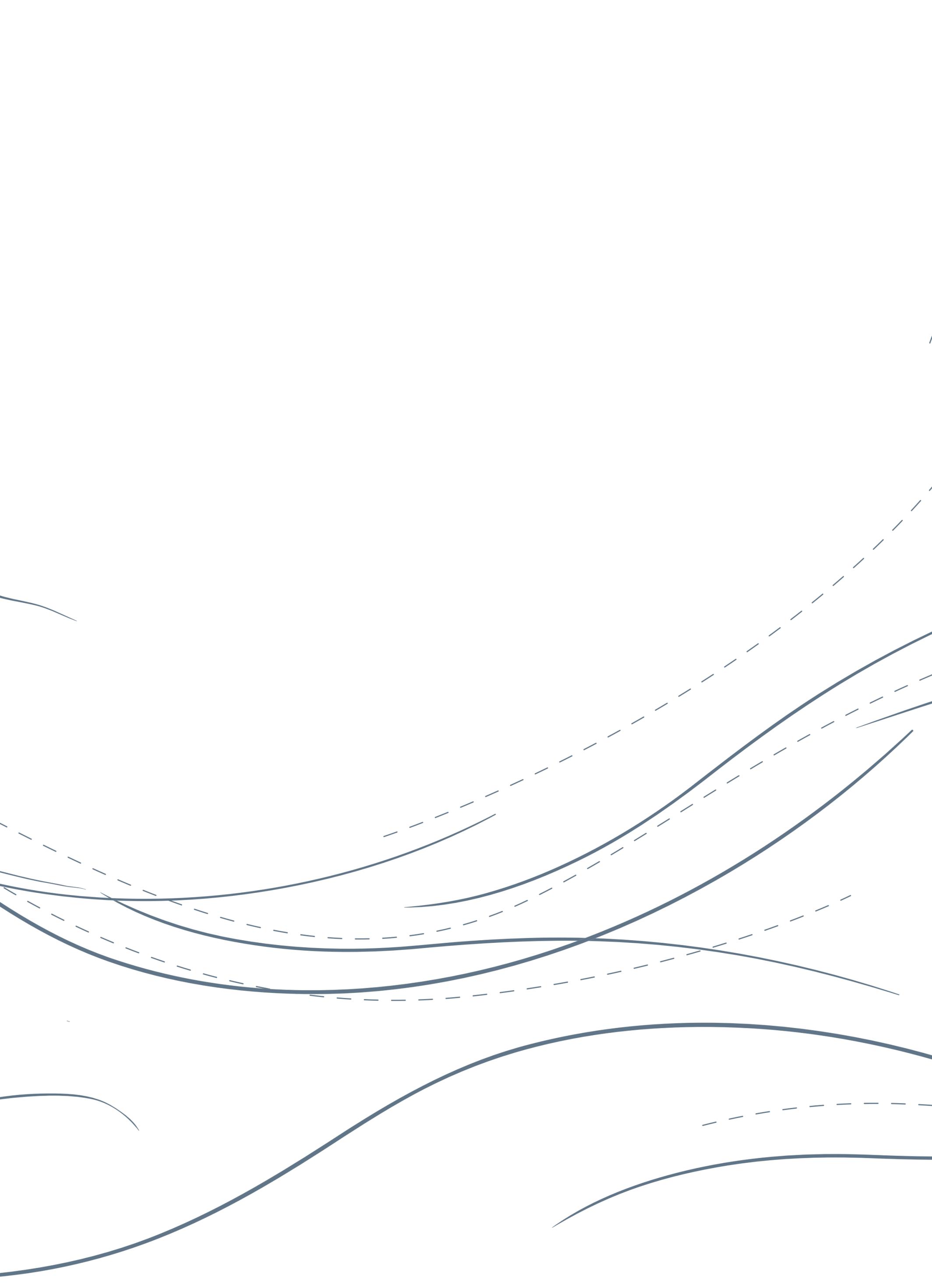


Atlas Eólico Bahia









Atlas Eólico Bahia



CIMATEC



SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



BAHIA, 2013

Produção

: Estado da Bahia :
Jaques Wagner
Governador

: Secretaria de Infraestrutura :
Otto Roberto Mendonça de Alencar
Secretário

Silvano Ragno
Superintendente de Energia e Comunicações

Gilson Amado Moraes
Diretor de Energia

: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação :
Paulo Câmara
Secretário

Telma Côrtes Quadros de Andrade
Diretora para Fortalecimento Tecnológico Empresarial

: Cimatec/SENAI
Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia :
Leone Peter Correia da Silva Andrade
Diretor Regional do SENAI-BA

Alex Álisson Bandeira Santos
Lucas Dayube Santos Vilas Boas
Luzia Aparecida Tofaneli
Miguel Andrade Filho
Paulo Roberto Freitas Neves
Turan Dias Oliveira

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

A881 Atlas eólico: Bahia / elaborado por Camargo-Schubert Engenheiros Associados... [et al.]; dados do modelo mesoescala fornecidos por AWS Truepower.— Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador : SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p., 7 f. dobradas : il., mapas; 33 x 46 cm.

Inclui Bibliografia
ISBN 978-85-67342-00-9

1. Energia eólica – Bahia – Mapas. 2. Ventos – Medição – Bahia – Mapas. 3. Energia – Fontes alternativas – Bahia. 4. Meio ambiente.
I. Camargo-Schubert Engenheiros Associados. II. AWS Truepower.

CDD (20.ed.) 551.5185098138
CDU (2.ed.) 620.91 (813.8)

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
James Lenzi de Araújo
Odilon Antônio Camargo do Amarante
Paulo Emiliano Piá de Andrade
Ramon Moraes de Freitas

: Dados do modelo de mesoescala
fornecidos pela AWS Truepower :
Joan Aymamí
Michael Brower
José Vidal

: Fotografias :
Zig Koch

: Ilustrações e Capa :
Leo Gibran

: Projeto Gráfico e Diagramação :
du.ppg.br

: Revisão de texto :
Gisele Lima

: Impressão e Acabamento :
Editora Gráfica Burti

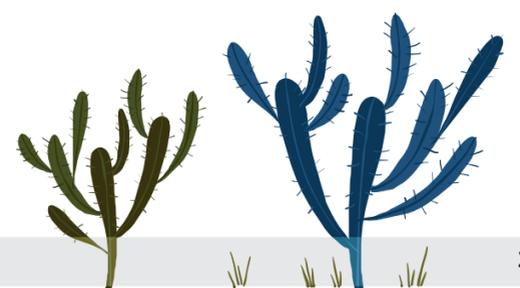
IMPRESSO NO BRASIL

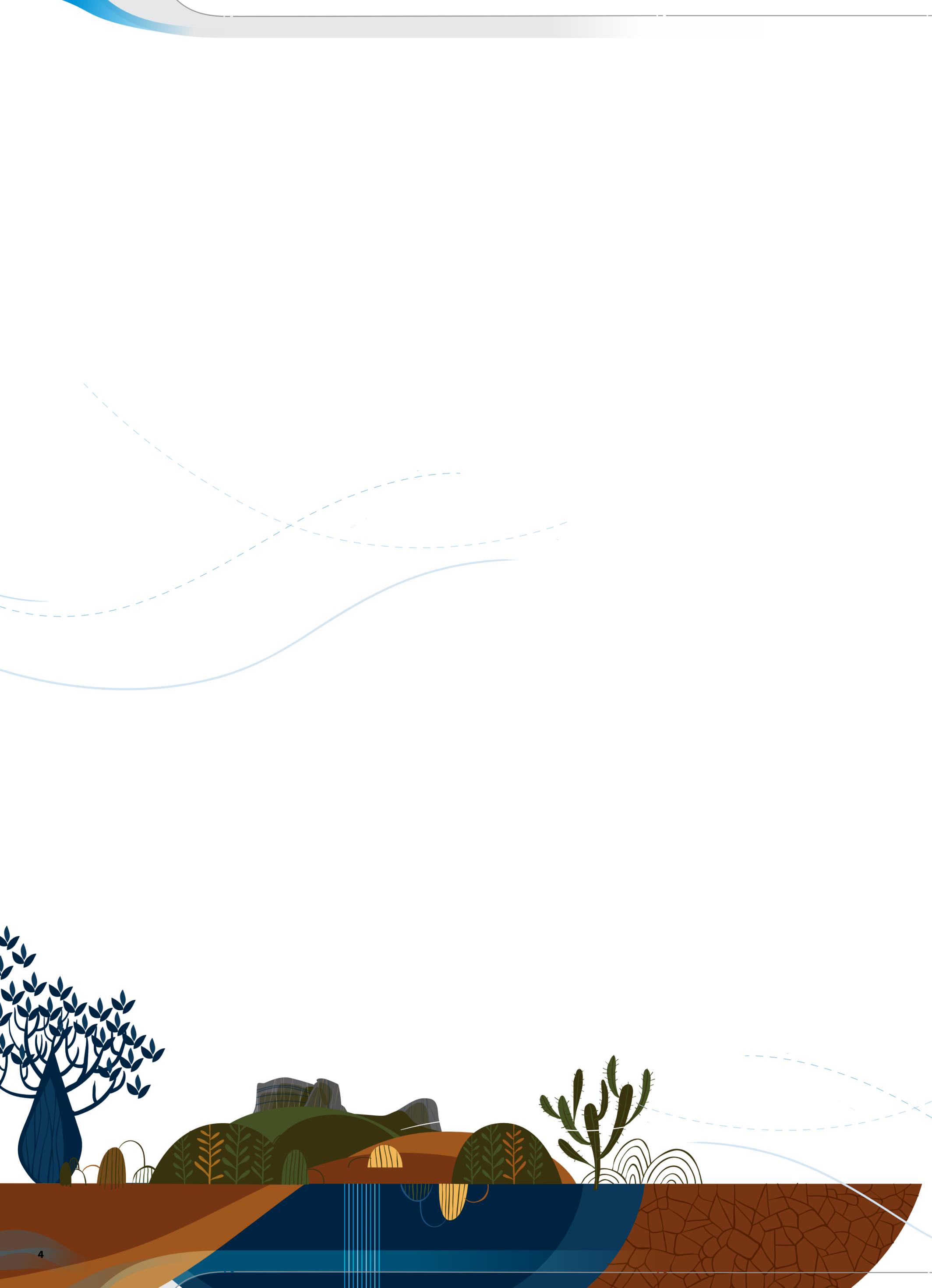
AGRADECIMENTOS

A TODOS OS EMPREENDEDORES QUE AUTORIZARAM O USO DE SEUS DADOS ANEMOMÉTRICOS, COLABORANDO ASSIM DE MANEIRA FUNDAMENTAL PARA A REPRESENTATIVIDADE E ACURÁCIA DESTE ATLAS.



Brookfield







MENSAGEM DO GOVERNADOR

O Brasil tem um dos maiores potenciais eólicos do planeta, com destaque para a região Nordeste do país. E, ao longo dos últimos anos, a Bahia vem se consolidando na posição de líder brasileiro nos investimentos em energia eólica. O Estado apresenta um significativo desenvolvimento neste ramo energético, com uma enorme capacidade estimada.

Além dos parques de geração de energia espalhados pelo sertão, onde se localiza grande parte do potencial do Estado, estamos organizando um parque industrial voltado para a produção de equipamentos, consolidando a Bahia como principal polo nacional na fabricação de componentes. A cadeia produtiva já conta com quatro grandes empreendimentos instalados.

Hoje, a Bahia tem 87 projetos de energia eólica previstos para instalação e é o único estado do Nordeste que teve energia de origem eólica comercializada em todos os leilões abertos a esta fonte nos últimos cinco anos. Os empreendimentos somam, aproximadamente, R\$ 8,5 bilhões.

Todo esse potencial agora pode ser visitado neste Atlas Eólico do Estado da Bahia. Esta publicação traz o mapeamento dos ventos distribuídos em todo território baiano. Com este material, a expectativa é que os bons ventos mantenham-se constantes no nosso Estado. E que o Atlas sirva tanto às empresas e instituições acadêmicas, quanto aos órgãos governamentais, contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas e para a melhor utilização da energia eólica.

Salvador, novembro de 2013.

Jaques Wagner
Governador da Bahia





APRESENTAÇÃO

Fonte natural, renovável e proveniente dos ventos, a produção de energia eólica representa importante avanço no que se refere ao uso dos recursos naturais. Com um imenso potencial eólico, o Brasil tem uma expectativa de produzir 300 GW e de contratar pelo menos 2,0 GW por ano até 2020.

O Estado da Bahia tem sido objeto de estudos de pesquisa e desenvolvimento com vistas ao planejamento e à implantação de fontes alternativas de energia em seu sistema gerador elétrico desde o ano de 1994. A partir de então, temos nos consolidado como um dos principais polos do País em geração de energia eólica. Entre os anos de 2009 e 2013, com a contratação de mais de 2 GW em projetos eólicos, atestou-se finalmente a excepcional adequabilidade dos ventos que circulam sobre o Estado para a geração de energia elétrica.

Diante do elevado potencial eólico da Bahia, resolvemos mapear o Estado em alturas de 80 m, 100 m, 120 m e 150 m. Este estudo vai atuar como instrumento de planejamento energético e de atração de investimentos para o setor.

Fruto da parceria entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação – SECTI, a Secretaria de Infraestrutura – SEINFRA e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – SENAI/CIMATEC, o Atlas Eólico da Bahia compilou dados provenientes de 156 torres anemométricas – número sem precedentes em mapeamentos eólicos em escala estadual ou mesmo nacional – os quais, aliados a inovações metodológicas, geradas durante etapas de pesquisa e desenvolvimento descritas nos capítulos da publicação, fazem dele uma importante ferramenta para estudos, planejamento e projetos no âmbito do setor eólico no Estado.

Considerando-se os locais com velocidades superiores a 7,0 m/s e a 150 m de altura, esse potencial alcança 195 GW, treze vezes superior ao indicado no estudo anterior. Além disso, revela novas áreas promissoras no território baiano, o que se deve aos aperfeiçoamentos em todos os aspectos da metodologia aplicada.

As informações contidas neste Atlas são bastante abrangentes, buscando apresentar ao leitor uma visão panorâmica sobre o assunto. Os Mapas Temáticos contêm os principais parâmetros estatísticos de velocidade e direção dos ventos, bem como seus regimes diurnos e sazonais. A esses Mapas estão sobrepostos o Sistema Elétrico do Estado e sua malha viária, bem como centros urbanos e Unidades de Conservação Ambiental.

Os estudos apresentam, ainda, análises e projeções com indicação das áreas mais promissoras à sua continuidade e expansão, além de informações complementares relevantes, tais como climatologia, infraestrutura e consumo de energia. Exibe também uma coleção de fotografias aéreas exclusivas dos locais mais promissores do Estado.

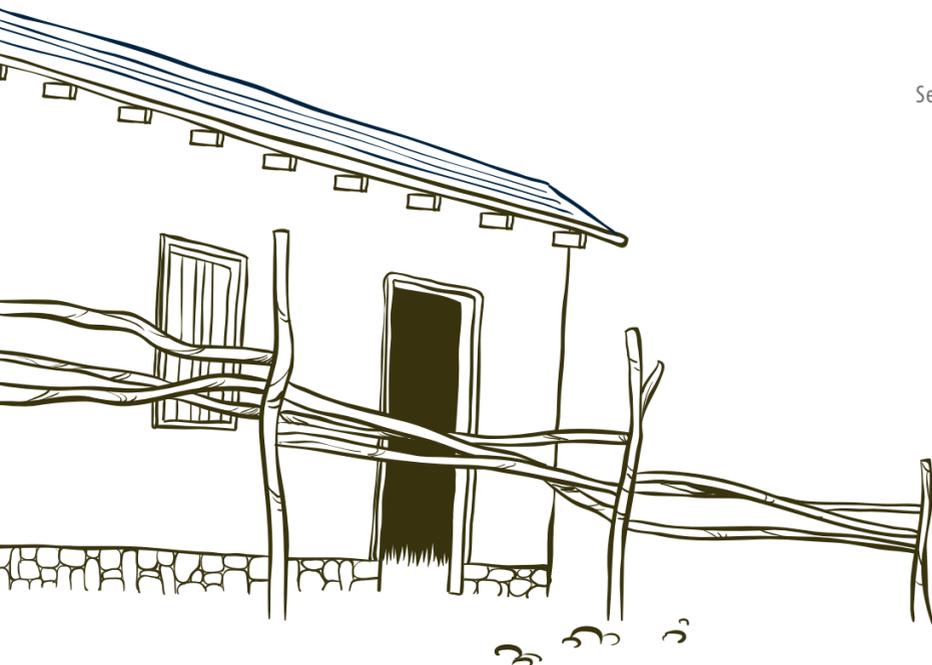
O Atlas Eólico do Estado da Bahia apresenta a existência de recursos eólicos abundantes, com ventos regulares, distribuídos principalmente no semiárido baiano. Espera-se que este trabalho venha a contribuir de maneira marcante na pesquisa e desenvolvimento do uso da fonte eólica, chamando a atenção de investidores em geração de energia elétrica para novos locais e auxiliando o próprio Governo no planejamento e formulação de estratégias de expansão do sistema elétrico como um todo.

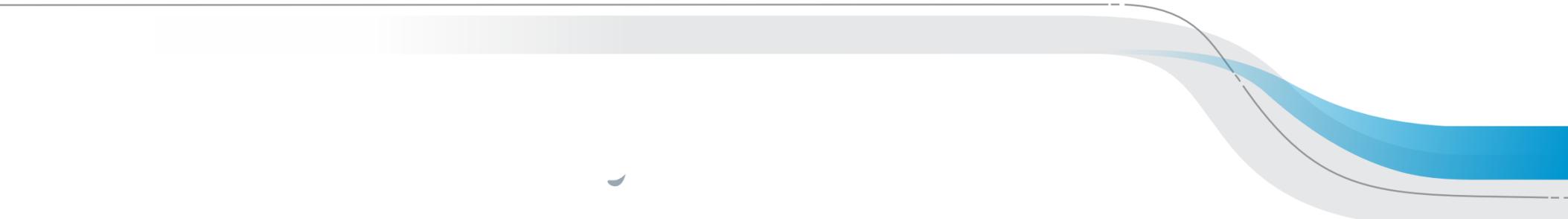
Paulo Câmera

Secretário da Ciência, Tecnologia e Inovação

Otto Alencar

Secretário da Infraestrutura





INTRODUÇÃO

Em 1994, a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA iniciou a condução de um programa de medições anemométricas visando avaliar o potencial eólico estadual. Um dos marcos desse programa foi a primeira versão do Atlas Eólico da Bahia, elaborada pela Camargo-Schubert e publicada no ano de 2002. O estudo fundamentava-se em uma metodologia que combinava os resultados de 26 torres de medições anemométricas distribuídas ao longo do território, com alturas entre 20 e 30 m, com simulações de camada-limite atmosférica baseadas nas equações da continuidade e nos modelos de terreno disponíveis na época, e.g. Gtopo30 na resolução de 1 km x 1 km e imagens LandSat 5. O estudo estimava a velocidade do vento em alturas de até 70 m, comuns nos aerogeradores no estado da arte do início da década de 2000.

O Atlas da COELBA, juntamente ao Atlas Eólico Brasileiro, publicado quase que simultaneamente àquele, serviu, durante vários dos anos subsequentes, como uma das mais importantes ferramentas para o fomento a investimentos, estudos e projetos de energia eólica na Bahia. Esses investimentos, finalmente, começaram a frutificar em 2009, quando foram contratados 390 MW em projetos localizados no interior do Estado, através do 2º Leilão de Energia de Reserva promovido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, por intermédio da Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

O compromisso do Governo em manter uma regularidade para esses leilões, aliado ao já aquecido mercado de prospecção de energia eólica, principalmente nas regiões das Chapadas, centro do Estado, resultou num crescente desenvolvimento do setor, com a sucessiva contratação de centenas de megawatts nos certames promovidos pela ANEEL/EPE. Como consequência, verifica-se, até o momento, um acumulado de 2,2 GW em projetos contratados no Estado desde 2009, que entrarão em operação até o ano de 2017. Também se observa a continuidade dos investimentos em prospecção e desenvolvimento de novos parques partindo de empreendedores públicos e privados, resultando em sucessivas descobertas de novas áreas. Pode-se dizer, por essas razões, que o interior da Bahia consiste, atualmente, em um verdadeiro “pré-sal eólico”.

Esses mesmos empreendedores contribuíram de maneira fundamental para a grande revisão da estimativa do potencial eólico do Estado em que consiste este estudo. A qualidade alcançada neste projeto tornou-se possível pelos esforços comuns de 14 empresas que concordaram em fornecer os seus dados anemométricos, cientes de uma necessária atualização do mapeamento do Estado em alturas de medição compatíveis com a tecnologia dos aerogeradores atuais. O resultado foi a elaboração de uma base de dados proveniente de 156 torres anemométricas, número que agrega grande confiabilidade aos resultados aqui apresentados.

Para se reduzir ainda mais as incertezas dos resultados, somou-se à premissa de se dispor de um grande número de pontos de validação, uma série de inovações metodológicas. Diversas delas foram desenvolvidas ou aperfeiçoadas no decorrer da elaboração do Atlas, para adequar os métodos pré-existentes às necessidades particulares do Estado da Bahia, ou para melhorar a precisão das estimativas. Nesse sentido, destaca-se o aprimoramento dos *softwares* que permitiram a simulação numérica final do regime de ventos de uma área de grandes proporções em alta resolução – procedimento que seria inviável tecnicamente ou demasiado custoso há alguns anos devido às limitações tecnológicas de *hardware* e de *software*. De maneira análoga, foi aperfeiçoada a plataforma para processamento de dados anemométricos, permitindo-se compilar em poucos meses um volume grande de informações, coletadas durante vários anos em uma centena e meia de estações. Para a avaliação desses dados, foi utilizada a mais moderna base de referência de longo prazo – a base MERRA – *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications*, disponibilizada pela Agência Espacial Americana – NASA e apenas recentemente utilizada pela maioria das consultorias da área de energia eólica. No processo de elaboração dos modelos de terreno necessários para o mapeamento dos ventos, foi aplicada uma sistemática inédita para criação do mapa de rugosidade, desenvolvida com vistas às particularidades do sertão baiano, onde essa medida, associada à densidade da cobertura vegetal, varia de acordo com o período do ano – estação seca e estação úmi-

da. Por fim, o processo de integração dos mapas eólicos para estimar a energia que se pode gerar no Estado foi também atualizado, empregando como referência as curvas de eficiência de aerogeradores mais modernos, características que evoluíram consideravelmente nos últimos dez anos.

Comparado aos estudos que o precedem (e.g. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro e Atlas Eólico da Bahia – 2002), este trabalho apresenta ainda diversas outras melhorias. O presente mapeamento eólico foi realizado a partir de modelagem de mesoescala (*MesoMap*), simulada nos Estados Unidos nas instalações da *AWS Truepower*, e simulação tridimensional de camada-limite atmosférica (*WindMap*). As simulações fizeram uso de modelos digitais de terreno na resolução horizontal de 200 x 200 m, para a elaboração dos quais foi desenvolvida uma metodologia específica. O mapeamento foi validado por dados anemométricos provenientes de 156 torres de medições espalhadas por toda a Bahia, em sua maior parte com alturas entre 80 e 100 m, mas também envolvendo torres de até 120 m. A grande maioria das referidas torres atendem aos padrões exigidos pela indústria da energia eólica para certificação de projetos, com anemômetros calibrados em túnel de vento, alturas compatíveis com a dos aerogeradores atualmente disponíveis no mercado e representatividade climatológica dos tempos de medição.

Sendo assim, os mapas eólicos apresentam elevados níveis de confiabilidade nas regiões do Estado mais monitoradas, com incertezas de mesma ordem de grandeza que a admitida em estudos de anteprojeto, conforme é apresentado no mapa pertinente.

Concluímos essa apresentação desejando que o detalhamento das informações aqui contidas, que revelam resultados promissores e encorajadores, venham, em última instância, aumentar a oferta energética, contribuindo para o progresso do Estado e da Nação. Em especial, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico em regiões menos privilegiadas, em grande parte das quais o recurso eólico mostra-se o mais generoso.

1 O ESTADO DA BAHIA 12

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1 | Caracterização Geográfica | 13 |
| 1.2 | Demografia e Consumo de Energia Elétrica | 14 |
| 1.3 | Infraestrutura | 16 |
| 1.3.1 | Transporte Aquaviário | 16 |
| 1.3.2 | Transporte Rodoviário | 16 |
| 1.3.3 | Transporte Ferroviário | 16 |
| 1.3.4 | Sistema Elétrico | 16 |

2 CLIMATOLOGIA 20

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 2.1 | Circulação Atmosférica | 21 |
| 2.2 | Regimes de Vento da Bahia | 21 |
| 2.2.1 | Regimes Horários | 24 |
| 2.2.2 | Regimes Mensais e Sazonais | 24 |
| 2.2.3 | Regimes Interanuais | 24 |
| 2.3 | Chuvas | 25 |
| 2.4 | Temperaturas | 25 |

3 ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE 28

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Legislação Ambiental | 29 |
| 3.2 | Áreas de Proteção no Estado da Bahia | 29 |
| 3.2.1 | Unidades de Conservação do Boqueirão da Onça e Morro do Chapéu | 30 |
| 3.2.2 | Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Agrícolas | 31 |
| 3.3 | Aproveitamento Eólico Marítimo – <i>Offshore</i> | 31 |

4 TECNOLOGIA 34

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Histórico | 35 |
| 4.1.1 | Energia Eólica no Brasil na Década de 2000 | 37 |
| 4.2 | Tecnologias no Brasil e Bahia | 39 |
| 4.3 | Prospecção do Recurso Eólico | 40 |
| 4.3.1 | Instrumentos de Medição em Campanhas Eólicas | 40 |
| 4.3.2 | Instrumentos de Medição Remota | 41 |

5 METODOLOGIA 42

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | O Sistema <i>MesoMap</i> | 43 |
| 5.1.1 | Áreas de Mapeamento e Casos Característicos | 43 |
| 5.2 | Modelos de Terreno | 44 |
| 5.2.1 | Modelo Digital de Relevo | 44 |
| 5.2.2 | Modelo de Rugosidade | 44 |
| 5.2.3 | Metodologia para Elaboração do Modelo de Rugosidade | 46 |
| 5.3 | Medições Anemométricas | 50 |
| 5.3.1 | Metodologia de Processamento | 51 |
| 5.3.2 | Evolução da Metodologia de Processamento em Relação ao Mapeamento Realizado em 2002 | 51 |
| 5.4 | Incertezas da Velocidade do Vento | 51 |

SUMÁRIO

6

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6 | MAPAS EÓLICOS | 52 |
| 6.1 | Rosas dos Ventos Anuais - Frequências x Direções | 54 |
| 6.2 | Rosas dos Ventos Anuais - Velocidades x Direções | 55 |
| 6.3 | Potencial Eólico Sazonal a 80 m de Altura | 56 |
| 6.4 | Potencial Eólico Anual a 80 m de Altura | 57 |
| 6.5 | Potencial Eólico Sazonal a 100 m de Altura | 58 |
| 6.6 | Potencial Eólico Anual a 100 m de Altura | 59 |
| 6.7 | Potencial Eólico Sazonal a 120 m de Altura | 60 |
| 6.8 | Potencial Eólico Anual a 120 m de Altura | 61 |
| 6.9 | Potencial Eólico Sazonal a 150 m de Altura | 62 |
| 6.10 | Potencial Eólico Anual a 150 m de Altura | 63 |
| 6.11 | Potencial Eólico dos Períodos Diurno e Noturno | 64 |
| 6.12 | Potencial Eólico dos Períodos Seco e Úmido | 65 |
| 6.13 | Densidade Média Anual do Ar | 66 |
| 6.14 | Fator de Forma de Weibull Anual | 67 |
| 6.15 | Potencial Eólico <i>Offshore</i> | 68 |
| 6.16 | Incertezas da Velocidade do Vento a 100 m de Altura | 69 |

7

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7 | ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS | 70 |
| 7.1 | O Potencial Eólico da Bahia | 71 |
| 7.1.1 | Potencial Eólico <i>Offshore</i> | 72 |
| 7.1.2 | Fatores de Capacidade Sazonais e Diurnos | 72 |
| 7.1.3 | Comparação com os Resultados do Atlas Eólico da Bahia, 2002 | 73 |
| 7.2 | Áreas Promissoras | 74 |
| 7.2.1 | Área 1: Sobradinho, Sento Sé e Casa Nova | 74 |
| 7.2.2 | Área 2: Região das Serras Azul e do Açuruá | 76 |
| 7.2.3 | Área 3: Morro do Chapéu | 78 |
| 7.2.4 | Área 4: Serra do Estreito | 79 |
| 7.2.5 | Área 5: Serra do Tombador | 80 |
| 7.2.6 | Área 6: Serra do Espinhaço (Caetité/Guanambi/Pindaí) | 82 |
| 7.2.7 | Área 7: Novo Horizonte, Piatã, Ibitiara e Brotas de Macaúbas | 84 |
| 7.3 | Considerações Finais | 86 |

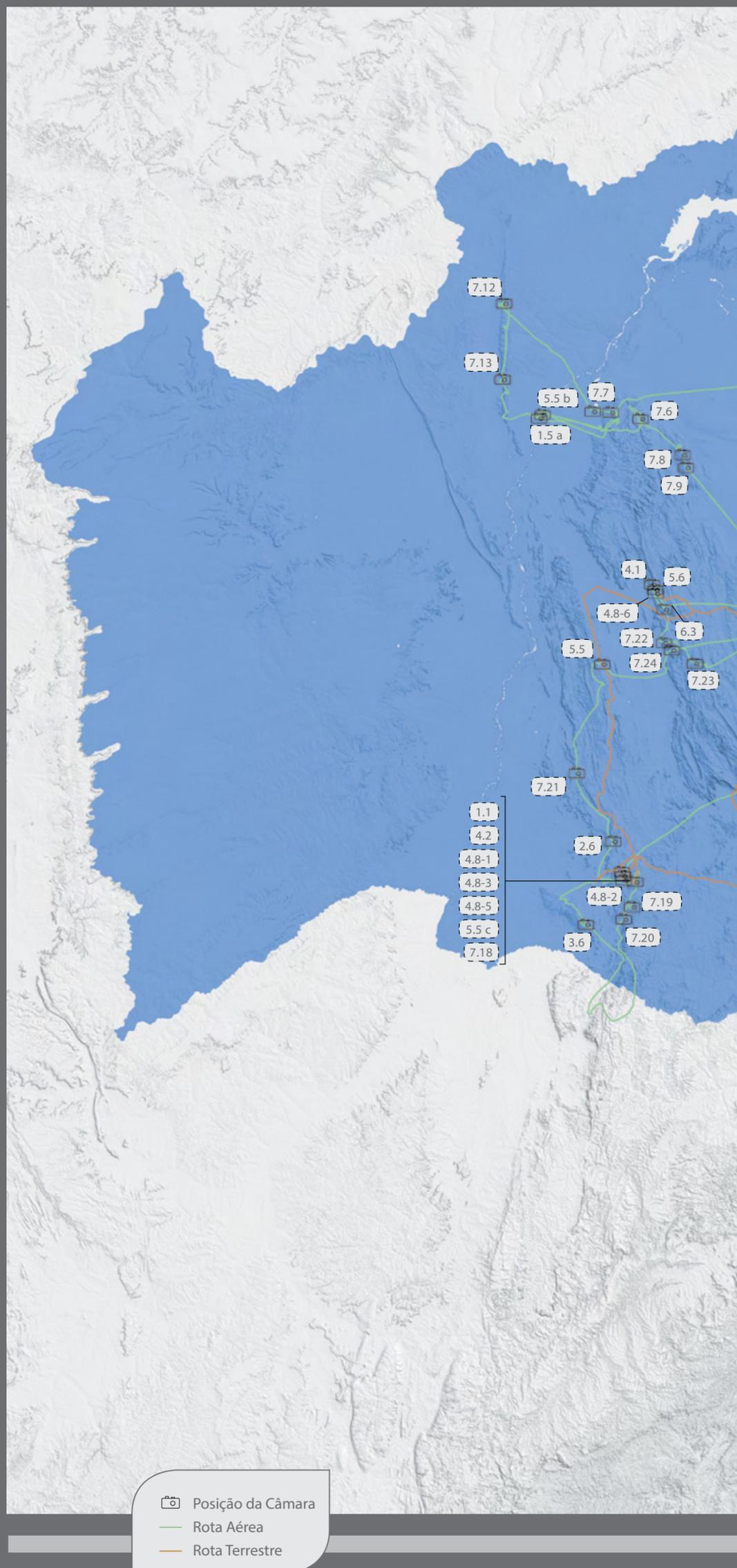
REFERÊNCIAS

88

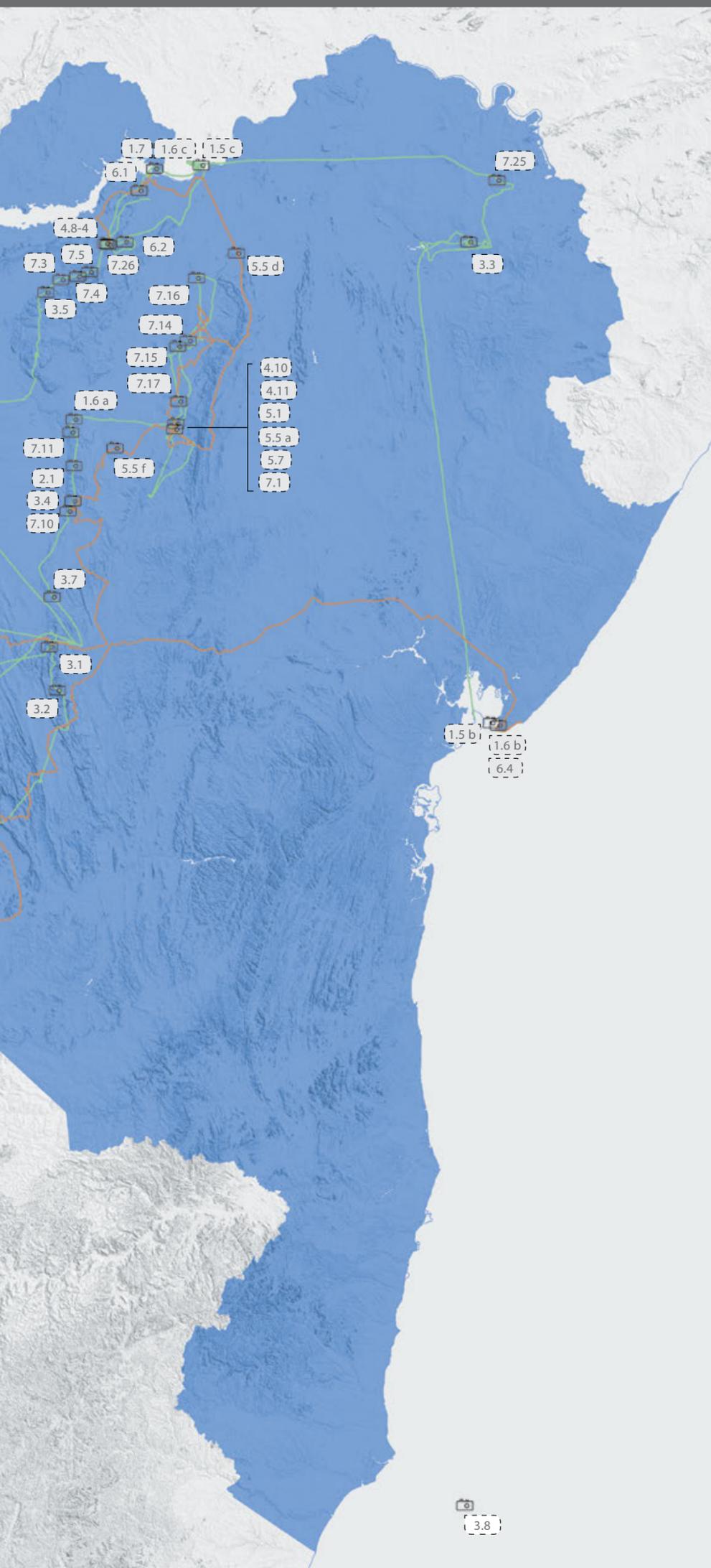
a

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Apêndice A. | GLOSSÁRIO | 90 |
| Apêndice B. | O SISTEMA MESOMAP | 93 |
| B.1 | O módulo <i>MASS</i> | 93 |
| B.2 | O módulo <i>WindMap</i> | 93 |
| Apêndice C. | FÓRMULAS ÚTEIS E MAPAS ÚTEIS | 94 |
| C.1 | Distribuição de Weibull | 94 |
| C.2 | Lei Logarítmica e Rugosidade | 95 |
| C.3 | Densidade do Ar | 95 |
| C.4 | Produção Anual de Energia (PAE) e Fator de Capacidade | 95 |
| C.5 | Custo de Geração | 95 |
| C.6 | Declinação Magnética | 96 |

| | | |
|--------------|---|-------|
| Figura 1.1 | Complexo Eólico Alto Sertão, em Caetité | p. 12 |
| Figura 1.5 a | Barra | p. 16 |
| Figura 1.5 b | Salvador | p. 16 |
| Figura 1.5 c | Juazeiro | p. 16 |
| Figura 1.6 a | Linha de Transmissão de 230 kV Irecê - Senhor do Bonfim II | p. 17 |
| Figura 1.6 b | Porto de Salvador | p. 17 |
| Figura 1.6 c | Rio São Francisco | p. 17 |
| Figura 1.7 | Usina Hidrelétrica de Sobradinho e Complexo Eólico Pedra do Reino | p. 18 |
| Figura 2.1 | Município de Morro do Chapéu | p. 20 |
| Figura 2.6 | Complexo Eólico Alto Sertão, em Igaporã | p. 24 |
| Figura 3.1 | Parque Nacional da Chapada Diamantina | p. 28 |
| Figura 3.2 | Parque Nacional da Chapada Diamantina | p. 30 |
| Figura 3.3 | Estação Ecológica Raso da Catarina | p. 30 |
| Figura 3.4 | Parque Estadual do Morro do Chapéu | p. 30 |
| Figura 3.5 | Área de interesse para criação de UC na região do Boqueirão da Onça | p. 30 |
| Figura 3.6 | Parque Nacional da Serra dos Montes Altos | p. 31 |
| Figura 3.7 | Assentamento agrário e vila em Iraquara | p. 31 |
| Figura 3.8 | Parque Nacional Marinho de Abrolhos | p. 31 |
| Figura 4.1 | Complexo Eólico Desenvix, em Brotas de Macaúbas | p. 34 |
| Figura 4.2 | Usina Eólica Guirapá | p. 35 |
| Figura 4.8-1 | Fundação | p. 40 |
| Figura 4.8-2 | Agrupamento dos componentes | p. 40 |
| Figura 4.8-3 | Agrupamento de nacelle e cubo | p. 40 |
| Figura 4.8-4 | Montagem da torre | p. 41 |
| Figura 4.8-5 | Montagem da nacelle no topo da torre | p. 41 |
| Figura 4.8-6 | Finalização da montagem | p. 41 |
| Figura 4.10 | Equipamento LIDAR instalado sobre <i>trailer</i> de transporte | p. 41 |
| Figura 4.11 | Panorama aéreo da região de medição do LIDAR | p. 41 |
| Figura 5.1 | Torres anemométricas na Serra do Tombador, em Jacobina | p. 42 |
| Figura 5.5 a | Terreno de rugosidade complexa | p. 45 |
| Figura 5.5 b | Área alagada com palmeiras | p. 45 |
| Figura 5.5 c | Cerrado | p. 45 |
| Figura 5.5 d | Caatinga | p. 45 |
| Figura 5.5 e | Pastagem | p. 45 |
| Figura 5.5 f | Solo exposto preparado para plantio em área agrícola | p. 45 |



LISTA DE FOTOGRAFIAS



| | | |
|-------------|--|-------|
| Figura 5.6 | Vegetação do tipo caatinga em Brotas de Macaúbas, período seco | p. 46 |
| Figura 5.7 | Torre anemométrica de 120 m de altura | p. 50 |
| Figura 6.1 | Complexo Eólico Pedra do Reino e Usina Hidrelétrica de Sobradinho | p. 52 |
| Figura 6.2 | Leste do município de Sento Sé, nas proximidades da divisa com o município de Sobradinho | p. 53 |
| Figura 6.3 | Região sul do município de Brotas de Macaúbas | p. 53 |
| Figura 6.4 | Baía de Todos os Santos, vista de Salvador | p. 68 |
| Figura 7.1 | Serra do Tombador, em Jacobina | p. 70 |
| Figura 7.3 | Área no município de Sento Sé | p. 75 |
| Figura 7.4 | Área de chapada no município de Sento Sé, parte do polígono de estudo do Boqueirão da Onça | p. 75 |
| Figura 7.5 | Área no município de Sento Sé | p. 75 |
| Figura 7.6 | Fronteira entre os municípios de Gentio do Ouro, Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia | p. 76 |
| Figura 7.7 | Municípios de Xique-Xique e Gentio do Ouro | p. 77 |
| Figura 7.8 | Áreas antropizadas na serra entre os municípios de Uibaí e Ibipeba | p. 77 |
| Figura 7.9 | Áreas de vegetação natural na serra entre os municípios de Uibaí e Ibipeba | p. 77 |
| Figura 7.10 | Região próxima ao sul do Parque Estadual de Morro do Chapéu | p. 78 |
| Figura 7.11 | Proximidades ao norte do Parque Estadual de Morro do Chapéu | p. 78 |
| Figura 7.12 | Serra do Estreito | p. 79 |
| Figura 7.13 | Serra do Estreito, vista para o norte | p. 79 |
| Figura 7.14 | Área no município de Campo Formoso | p. 80 |
| Figura 7.15 | Sul do município de Campo Formoso | p. 81 |
| Figura 7.16 | Área antropizada ao norte do município de Campo Formoso | p. 81 |
| Figura 7.17 | Município de Mirangaba | p. 81 |
| Figura 7.18 | Complexo Eólico Alto Sertão, em Caetité | p. 82 |
| Figura 7.19 | Sul do município de Caetité | p. 83 |
| Figura 7.20 | Nordeste do município de Pindaí | p. 83 |
| Figura 7.21 | Nordeste do município de Riacho de Santana | p. 83 |
| Figura 7.22 | Região montanhosa do município de Ibitiara | p. 84 |
| Figura 7.23 | Região do município de Novo Horizonte | p. 85 |
| Figura 7.24 | Região do município de Ibitiara | p. 85 |
| Figura 7.25 | Região do município de Rodelas, nordeste do Estado da Bahia | p. 85 |
| Figura 7.26 | Usinas Eólicas Pedra Branca, São Pedro do Lago e Sete Gameleiras | p. 87 |

O ESTADO DA BAHIA

- 1.1 Caracterização Geográfica
- 1.2 Demografia e Consumo de Energia Elétrica
- 1.3 Infraestrutura



FIGURA 1.1 Complexo Eólico Alto Sertão, em Caetitê.

1.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Localizado na região Nordeste, entre os paralelos 08° 31' 58" S e 18° 20' 55" S e os meridianos 46° 37' 02" W e 37° 20' 28" W^[60], o Estado da Bahia é formado por 417 municípios, ocupando uma área total de 564.733 km² (6,63% do território nacional)^[65]. Seus limites são formados pelo Oceano Atlântico ao leste, os Estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Piauí ao norte, Tocantins e Goiás a oeste, Minas Gerais e Espírito Santo ao sul.

O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. Cerca de 90% do território situa-se acima dos 200 m de altitude, com as maiores elevações na região central do Estado, ao longo da Serra do Espinhaço e da Chapada Diamantina.

Na faixa litorânea, a mais extensa entre os estados da federação (1.183 km), predomina o relevo de planícies com altitudes não maiores que 300 m. Na porção sudeste dessa faixa, a vegetação é formada por floresta primária e secundária, com áreas de cultivo de cacau. Na faixa litorânea centro-norte, a cobertura vegetal caracteriza-se por um mosaico de áreas antropizadas e remanescentes de Mata Atlântica.

A área central do Estado é composta por depressões e chapadas. Nestas, as altitudes estão acima dos 1.000 m, como na Chapada Diamantina, e podem superar os 1.500 m, como na Serra das Almas e na Serra do Barbado, onde está o ponto culminante do Estado (aproximadamente 2.033 m)^[60]. Nos locais de altitu-

de, a vegetação predominante é a do tipo cerrado, com áreas de campos e arbustos baixos. A planície do rio São Francisco cruza o centro do Estado no sentido sul-norte e, na hidrografia, destacam-se os rios Paraguaçu, Jacuípe e de Contas, que nascem na região da Chapada Diamantina e têm suas fozes no litoral.

A região nordeste do Estado caracteriza-se por tabuleiros e depressões do médio-baixo rio São Francisco, com altitudes variando entre 300 e 500 m. A vegetação característica é a do tipo caatinga (*stricto sensu*) e caatinga arbórea.

A vegetação sobre o vale do rio São Francisco é caracterizada por áreas de cerrado, caatinga, veredas e campos úmidos. Ao norte da planície encontra-se o reservatório de Sobradinho, um dos maiores lagos artificiais do planeta e de fundamental importância para regulação e geração de energia elétrica no Nordeste brasileiro.

No Chapadão Ocidental da Bahia, a oeste da planície do São Francisco, onde há extensas áreas agrícolas, a altitude varia entre 800 e 1.000 m. A vegetação natural é composta por áreas de cerrado intercaladas com formações de veredas sobre as linhas de drenagem.

A Figura 1.3 apresenta uma síntese das características geográficas do Estado da Bahia, por meio do mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+ sobreposto ao relevo.



FIGURA 1.2 Limites geográficos do Estado da Bahia.

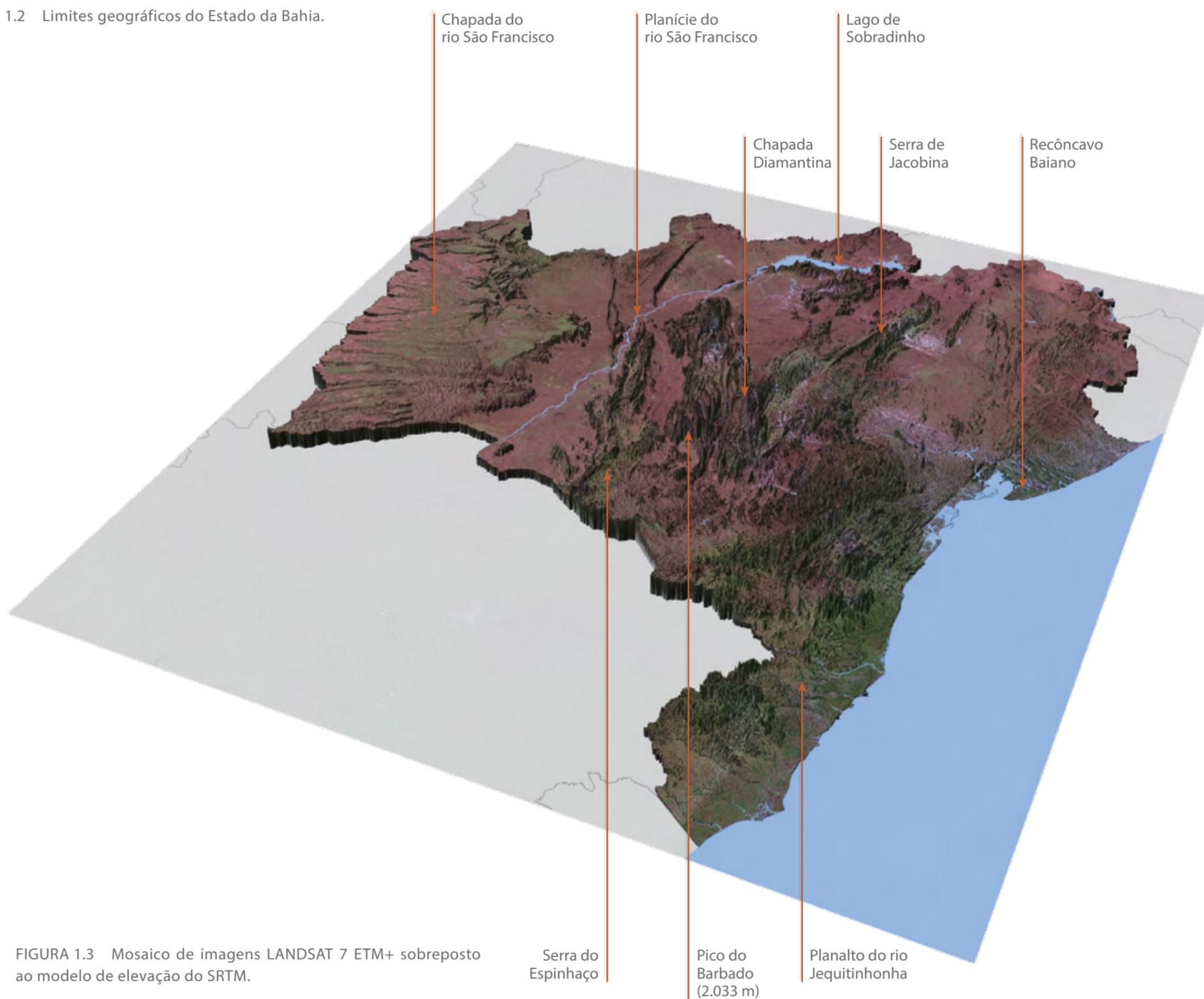


FIGURA 1.3 Mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+ sobreposto ao modelo de elevação do SRTM.

1.2 DEMOGRAFIA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE^[65], a população do Estado da Bahia era de 14.016.906 habitantes em 2010, registrando taxa de crescimento de 0,7% a.a. no período 2000-2010. Essa foi a segunda menor taxa de crescimento do país, superior apenas à registrada pelo Estado do Rio Grande do Norte.

O consumo de energia elétrica na Bahia foi de 14,58 TWh durante o ano de 2010. Desse montante, 68,6% foi destinado aos setores residencial, comercial e público, resultando em um consumo médio de 713,2 kWh/ano por habitante^[106]. No que se refere à taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica, foi registrado no período 2004-2011 o valor de 6,1% a.a., em um ritmo de desaceleração médio de 0,25 pontos percentuais ao ano^[33].

Com tendência similar à observada na maioria dos estados brasileiros, a população da Bahia está fortemente concentrada em áreas urbanas: 39,6% reside em um dos 16 municípios com mais de 100.000 habitantes, ou seja, sob um ambiente de densidade populacional equivalente a 166,9 hab/km², ao passo que a distribuição verificada nos demais 401 municípios (60,36% da população estadual) é de 15,9 hab/km²; os dados demonstram a

disparidade entre o povoamento do interior baiano e os principais centros urbanos^[63].

O consumo médio per capita de energia elétrica (residencial, comercial e público somados) nesses 16 grandes centros também é maior que nas áreas rurais: 1.081,1 kWh/ano, contra 474,8 kWh/ano por residente dos demais municípios^{[106]*}.

O Produto Interno Bruto – PIB do Estado, avaliado em R\$ 154,3 bilhões em 2010 (4,3% do PIB brasileiro), cresceu a um ritmo de 4,02% a.a. no período 2002-2010, superior ao índice nacional, de 3,53% a.a., verificado no mesmo período^{[65][106]}. Os 20 municípios baianos com maior PIB em 2010, todos superiores a um bilhão de reais, concentram mais de dois terços (67,3%) da produção de riquezas^[106]. Nesses municípios, a renda média anual per capita é de R\$ 18.194,92, contra a média de R\$ 6.080,75 nos demais 397 municípios^[106]. As principais contribuições à economia baiana provêm da Indústria (15,9%), Comércio (14,3%), Construção Civil (8,4%) e Agropecuária (7,8%)^[106]. A evolução do consumo de energia elétrica^[101] e dos dados econômicos^[106], apurados no período 2002-2010, denota um incremento marginal médio de R\$ 5,4 bilhões ao PIB baiano a cada terawatt-hora consumido.

*O CONSUMO INDUSTRIAL NÃO FOI CONSIDERADO, COM O OBJETIVO DE EVITAR DISTORÇÕES PONTUAIS.

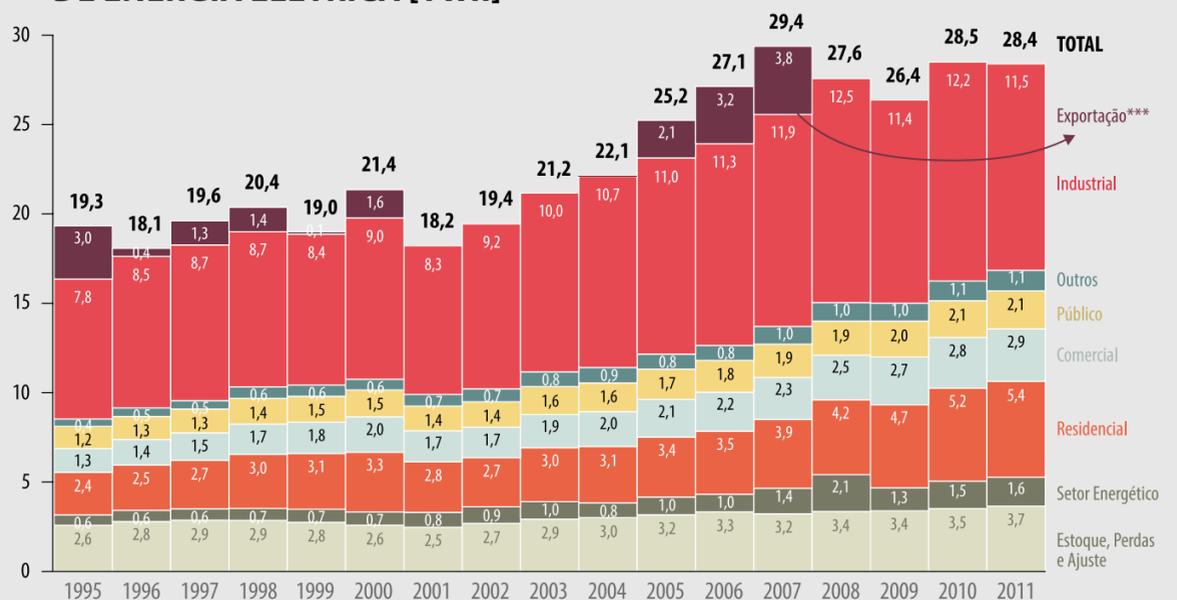
GRÁFICO 1.1 »

BAHIA: OFERTA TOTAL E IMPORTAÇÃO LÍQUIDA* DE ENERGIA ELÉTRICA (TWh)



GRÁFICO 1.2 »

BAHIA: CONSUMO TOTAL E EXPORTAÇÃO LÍQUIDA DE ENERGIA ELÉTRICA [TWh]



O FLUXO DA ENERGIA ELÉTRICA FOI ELABORADO A PARTIR DAS INFORMAÇÕES DA CHESF, COELBA, SULGIPE, BRASKEM E DIVERSOS AUTOPRODUTORES E PRODUTORES INDEPENDENTES. (*) PARA A ENERGIA HIDRÁULICA É CONSIDERADO COMO CONSUMO O VALOR CORRESPONDENTE À PRODUÇÃO BRUTA DE ENERGIA VERIFICADA NAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. NÃO É LEVADA EM CONSIDERAÇÃO A PARCELA RELACIONADA À ENERGIA VERTIDA. NA DETERMINAÇÃO DO VALOR DE PRODUÇÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA, DEIXOU-SE DE APLICAR O CRITÉRIO DE RATEIO IGUALITÁRIO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NAS USINAS HIDRELÉTRICAS FRONTEIRIÇAS - 1/2 DA ENERGIA GERADA EM PAULO AFONSO E ITAPARICA, E 1/3 DA DE APOLÔNIO SALES - ADOTADO NOS BALANÇOS ANTERIORES. ASSIM, CONSIDERA-SE PARA A BAHIA TODA A ENERGIA GERADA NO COMPLEXO DE PAULO AFONSO (I, II, III E IV). (**) AS IMPORTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA CORRESPONDEM À PARCELA DO MERCADO DA SULGIPE, QUE ATENDE AOS MUNICÍPIOS BAIANOS DE JANDAÍRA E RIO REAL, A ENERGIA COMPRADA PELA COELBA A OUTRAS CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS E A PARCELA FORNECIDA DIRETAMENTE PELA CHESF AOS GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIAIS. (***) O VALOR DAS EXPORTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA CORRESPONDE À SOMA DAS EXPORTAÇÕES VIA COELBA E CHESF.

FONTE: SEINFRA / BEEBA - 2012 (SÉRIE: 1995-2011)^[101]

O ESTADO DA BAHIA

20 MAIORES MUNICÍPIOS POR POPULAÇÃO

TABELA 1.1 »

| Municípios | Mesorregião | População 2010 | Área [km²] | Consumo Energia Elétrica 2010 [GWh]** |
|---------------------------|----------------------|--------------------|----------------|---------------------------------------|
| 1 Salvador | Metropolitana | 2 675 656 | 693 | 3 719 |
| 2 Feira de Santana | Centro-Norte Baiano | 556 642 | 1 338 | 737 |
| 3 Vitória da Conquista | Centro-Sul Baiano | 306 866 | 3 357 | 310 |
| 4 Camaçari | Metropolitana | 242 970 | 785 | 1 075 |
| 5 Itabuna | Sul Baiano | 204 667 | 432 | 280 |
| 6 Juazeiro | Vale São-Franciscano | 197 965 | 6 501 | 292 |
| 7 Ilhéus | Sul Baiano | 184 236 | 1 760 | 252 |
| 8 Lauro de Freitas | Metropolitana | 163 449 | 58 | 275 |
| 9 Jequié | Centro-Sul Baiano | 151 895 | 3 227 | 140 |
| 10 Alagoinhas | Nordeste Baiano | 141 949 | 752 | 170 |
| 11 Teixeira de Freitas | Sul Baiano | 138 341 | 1 164 | 123 |
| 12 Barreiras | Extremo Oeste Baiano | 137 427 | 7 859 | 315 |
| 13 Porto Seguro | Sul Baiano | 126 929 | 2 408 | 162 |
| 14 Simões Filho | Metropolitana | 118 047 | 201 | 337 |
| 15 Paulo Afonso | Vale São-Franciscano | 108 396 | 1 580 | 91 |
| 16 Eunápolis | Sul Baiano | 100 196 | 1 179 | 136 |
| 17 Santo Antônio de Jesus | Metropolitana | 90 985 | 261 | 81 |
| 18 Valença | Sul Baiano | 88 673 | 1 193 | 62 |
| 19 Candeias | Metropolitana | 83 158 | 258 | 336 |
| 20 Jacobina | Centro-Norte Baiano | 79 247 | 2 359 | 141 |
| TOTAL 20 MAIORES | | 5 897 694 | 37 366 | 9 034 |
| BAHIA | | 14 016 906 | 564 733 | 14 577 |
| BRASIL | | 190 755 799 | 8515767 | 419 016 |

20 MAIORES MUNICÍPIOS POR PRODUÇÃO DE RIQUEZA

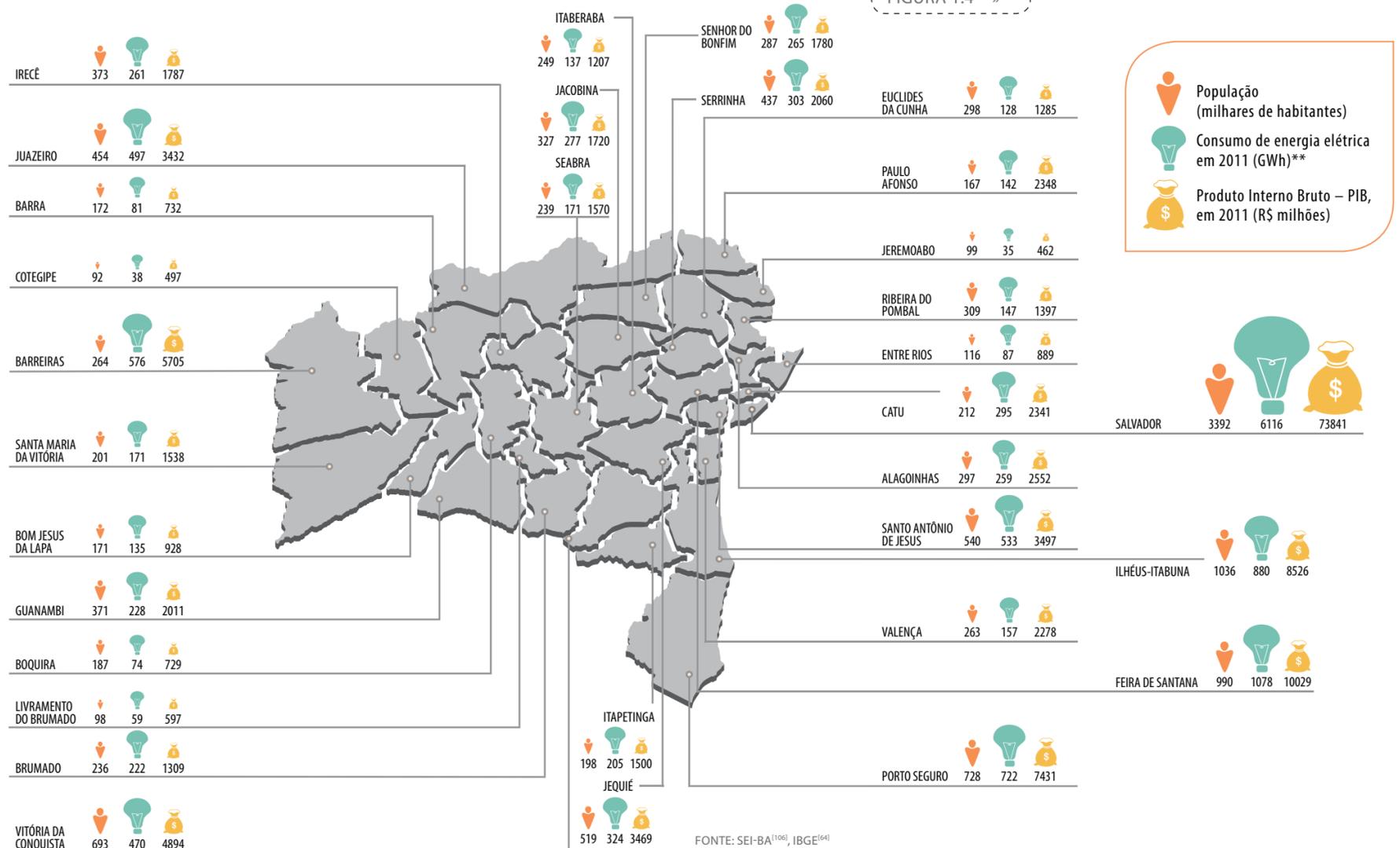
TABELA 1.2 »

| Municípios | Mesorregião | População 2010 | PIB 2010 [R\$ 1000] | Consumo Energia Elétrica 2010 [GWh]** |
|---------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 Salvador | Metropolitana | 2 675 656 | 36 744 670 | 3 719 |
| 2 Camaçari | Metropolitana | 242 970 | 13 379 554 | 1 075 |
| 3 São Francisco do Conde | Metropolitana | 33 183 | 9 848 259 | 34 |
| 4 Feira de Santana | Centro-Norte Baiano | 556 642 | 7 433 139 | 737 |
| 5 Candeias | Metropolitana | 83 158 | 4 204 817 | 336 |
| 6 Simões Filho | Metropolitana | 118 047 | 3 690 063 | 337 |
| 7 Vitória da Conquista | Centro-Sul Baiano | 306 866 | 3 469 179 | 310 |
| 8 Lauro de Freitas | Metropolitana | 163 449 | 3 156 015 | 275 |
| 9 Itabuna | Sul Baiano | 204 667 | 2 582 489 | 280 |
| 10 Ilhéus | Sul Baiano | 184 236 | 2 241 975 | 252 |
| 11 Dias d'Ávila | Metropolitana | 66 440 | 2 172 583 | 123 |
| 12 Paulo Afonso | Vale São-Franciscano | 108 396 | 2 111 521 | 91 |
| 13 Luís Eduardo Magalhães | Extremo Oeste Baiano | 60 105 | 2 101 470 | 108 |
| 14 Juazeiro | Vale São-Franciscano | 197 965 | 1 927 198 | 292 |
| 15 Barreiras | Extremo Oeste Baiano | 137 427 | 1 874 212 | 315 |
| 16 Jequié | Centro-Sul Baiano | 151 895 | 1 675 164 | 140 |
| 17 Alagoinhas | Nordeste Baiano | 141 949 | 1 616 466 | 170 |
| 18 Eunápolis | Sul Baiano | 100 196 | 1 284 837 | 136 |
| 19 Teixeira de Freitas | Sul Baiano | 138 341 | 1 272 166 | 123 |
| 20 Pojuca | Metropolitana | 33 066 | 1 009 945 | 29 |
| TOTAL 20 MAIORES | | 5 704 654 | 103 795 722 | 8 882 |
| BAHIA | | 14 016 906 | 154 340 456 | 14 590 |
| BRASIL | | 190 755 799 | 3764401366 | 419 016 |

FONTES: IBGE⁽⁶⁵⁾, SEI⁽¹⁰⁶⁾, EPE⁽⁴⁷⁾, ANEEL⁽⁷⁸⁾

BAHIA: POPULAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MICRORREGIÕES* DO IBGE

FIGURA 1.4 »



FONTES: SEI-BA⁽¹⁰⁶⁾, IBGE⁽⁶⁴⁾

*A DIVISÃO TERRITORIAL DO BRASIL EM MICRORREGIÕES ADOTADA PELO IBGE TEM FINS DE USO PRÁTICO EM ESTATÍSTICA, AGRUPANDO MUNICÍPIOS LÍMITROFES COM BASE EM SIMILARIDADES ECONÔMICAS E SOCIAIS. **VALORES DE CONSUMO DE ENERGIA DESAGREGADO POR MUNICÍPIO, CONTEMPLANDO APENAS O MERCADO CATIVO DA COELBA E SULGPIPE (QUE ATENDE AOS MUNICÍPIOS DE RIO REAL E JANDAÍRA); OS VALORES NÃO CONTEMPLAM, PORTANTO, AS INFORMAÇÕES PERTINENTES AO SUPRIMENTO DA CHEFE AO SEGMENTO DE GRANDES CLIENTES INDUSTRIAIS (EM TORNO DE 5 TWh/ANO), A AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA (APROXIMADAMENTE 3 TWh/ANO), OU O MERCADO DE CONSUMIDORES LIVRES NO ÂMBITO ESTADUAL (EM TORNO DE 3 TWh/ANO).

BARRA

FIGURA 1.5 a



FIGURA 1.5 b

**JUAZEIRO**

FIGURA 1.5 c

**SALVADOR**

FIGURA 1.5 Os setores residencial, comercial e público destacam-se como os maiores consumidores conjuntos de energia elétrica do Estado.

1.3 INFRAESTRUTURA

1.3.1 TRANSPORTE AQUAVIÁRIO

A estrutura de transporte aquaviário do Estado da Bahia tem como base os portos marítimos de Salvador, Aratu e Ilhéus^[34] e os portos das hidrovias dos rios São Francisco e Grande, em Ibotirama, Barreiras e Juazeiro^[2]. Destaca-se também a Eclusa de Sobradinho (Figura 1.6 c), com 120 metros de comprimento e 17 metros de largura^[78], que transpõe o desnível causado pela barragem.

1.3.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O Estado possui mais de 5.000 km de rodovias sob jurisdição exclusivamente federal^[44], 19.000 km de rodovias pertencentes à malha estadual e aproximadamente 100.000 km de vias sob jurisdição municipal^{[44][43]}. Há, ainda, mais de 14.000 km de estradas planejadas a serem implantadas por todas as esferas governamentais.

1.3.3 TRANSPORTE FERROVIÁRIO

A malha ferroviária baiana limita-se, atualmente, às linhas operadas pela companhia Ferrovia Centro-Atlântica^{[50][78]}, conectando os portos de Salvador e Aratu à cidade de Juazeiro, ao Estado de Sergipe e ao Estado de Minas Gerais, este através da mesorregião do Centro-Sul Baiano. Além dessas linhas, está em construção pelo Governo Federal a Ferrovia da Integração Oeste-Leste – FIOL, que conectará o porto de Ilhéus à Ferrovia Norte-Sul, no Tocantins, passando pelas cidades de Caetité e Barreiras, entre outras^[107].

1.3.4 SISTEMA ELÉTRICO

A Bahia conta 6.928 MW de potência instalada em seu parque de geração elétrica (considerando-se a metade da potência das hidrelétricas instaladas nas divisas do Estado), dos quais 68,3% são de fontes renováveis. 3.980 MW pertencem à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, e 233 MW são gerados a partir da energia dos ventos, fonte à qual irão se somar, nos próximos anos, outros 1.814 MW de capacidade já contratada^[3], conforme será discutido na Seção 4.1.1.

O sistema de transmissão do Estado operado pela CHESF está interligado ao Sistema Interligado Nacional – SIN basicamente através de dois pontos principais: uma linha de 500 kV, no sentido Leste-Oeste, conectando a Região Metropolitana de Salvador à linha de interconexão dos subsistemas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste; e uma linha também de 500 kV conectando o complexo hidroelétrico de Sobradinho e Paulo Afonso ao Sistema^{[4][90]}. A transmissão de energia dentro do território baiano está apoiada também em uma rede de 230 kV, com duas linhas principais: Barreiras-Juazeiro e Eunápolis-Salvador-Paulo Afonso^{[35][4][90]}. Uma rede nas tensões de 138 e 69 kV, operada pela COELBA, estende a infraestrutura de transmissão à maior parte dos municípios. Reforços e expansão do sistema são planejados para as regiões de potencial eólico promissor^[48].

O Mapa 1.1 apresenta o sistema de transmissão de 34,5 kV até 500 kV.

O ESTADO DA BAHIA

FIGURA 1.6 »

LINHA DE TRANSMISSÃO

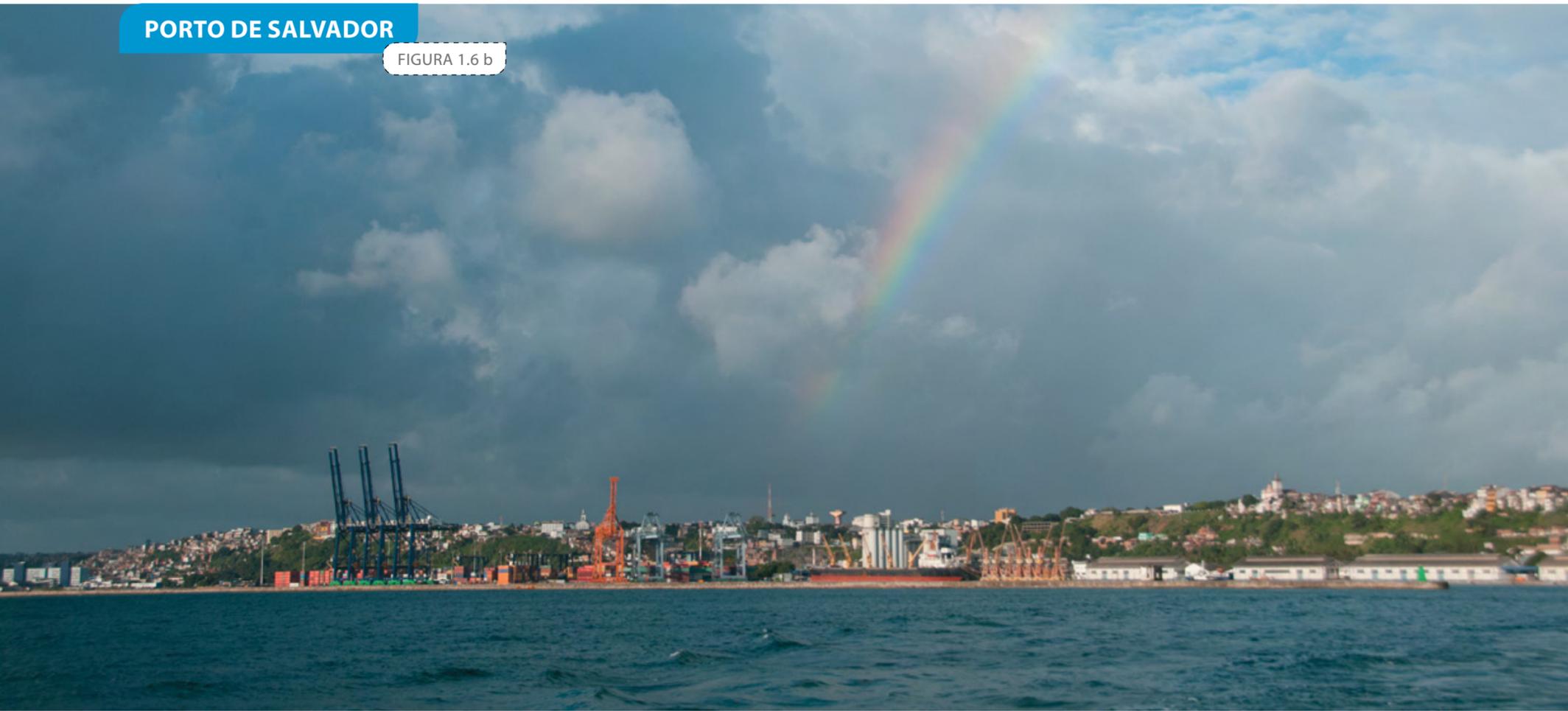
FIGURA 1.6 a



FOTOS ZIG KOCH

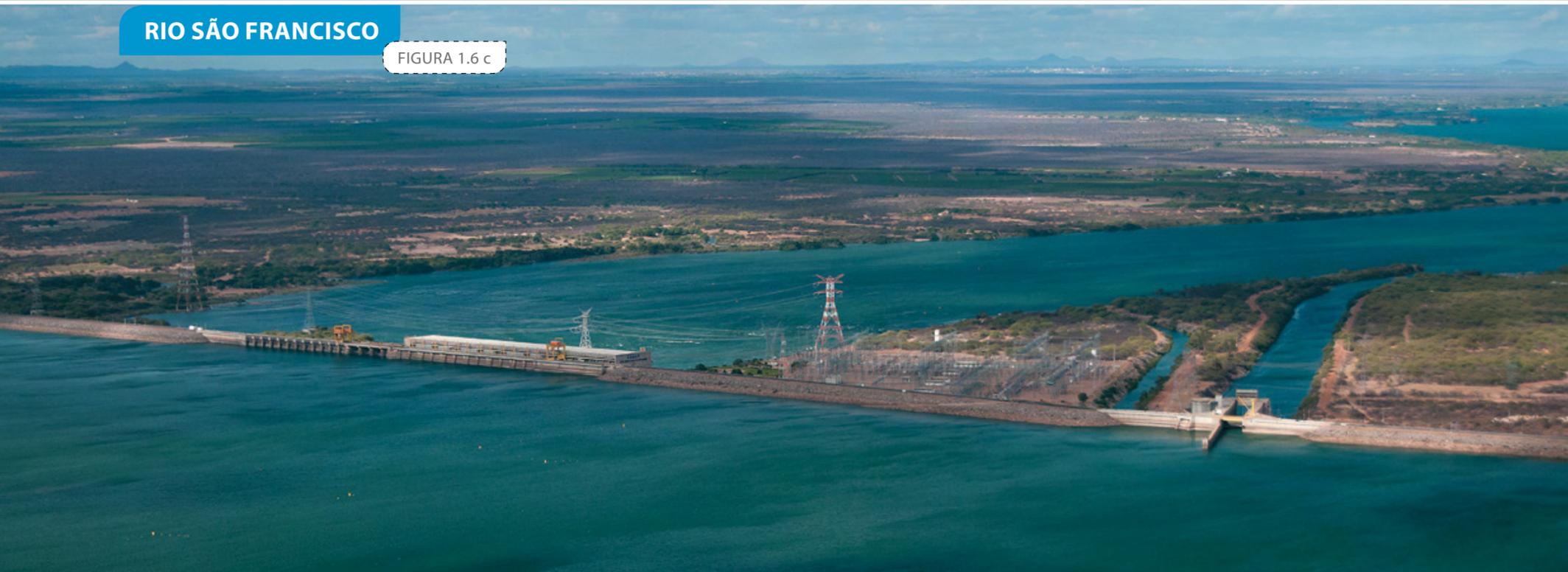
PORTO DE SALVADOR

FIGURA 1.6 b



RIO SÃO FRANCISCO

FIGURA 1.6 c



USINAS HIDRELÉTRICAS EM OPERAÇÃO

TABELA 1.3 »

| Usina | Rio | MW |
|-------------------------------------|-----------------|--------------|
| Paulo Afonso IV* | São Francisco | 1.231 |
| Sobradinho | São Francisco | 1.050 |
| Luiz Gonzaga (Itaparica)* | São Francisco | 740 |
| Paulo Afonso III* | São Francisco | 397 |
| Paulo Afonso II* | São Francisco | 222 |
| Apolônio Sales (Antiga Moxotó)* | São Francisco | 200 |
| Paulo Afonso I* | São Francisco | 90 |
| Piloto | São Francisco | 2 |
| Itapebi | Jequitinhonha | 456 |
| Pedra do Cavalo | Paraguaçu | 81 |
| Colino II | Córrego Colino | 16 |
| Colino I | Córrego Colino | 11 |
| Presidente Goulart | Correntina | 8 |
| Funil | das Contas | 30 |
| Pedra | das Contas | 20 |
| Sítio Grande | das Fêmeas | 25 |
| Alto Fêmeas I | das Fêmeas | 11 |
| Cachoeira da Lixa | Jucuruçu do Sul | 15 |
| Santa Cruz | Pedras | 4 |
| 12 Centrais Geradoras Hidrelétricas | Vários | 5 |
| TOTAL | | 4.617 |

*AS USINAS EM DIVISAS COM UM OUTRO ESTADO FORAM CONSIDERADAS COM METADE DA POTÊNCIA

USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO

TABELA 1.4 »

| Usina | Município | MW |
|---------------|-----------|------------|
| Pituaçu Solar | Salvador | 0,4 |
| TOTAL | | 0,4 |

USINAS EÓLICAS EM OPERAÇÃO

TABELA 1.5 »

| Usina | Município | MW |
|--------------------|--------------------|------------|
| Macaúbas | Brotas de Macaúbas | 35 |
| Novo Horizonte | Brotas de Macaúbas | 30 |
| Seabra | Brotas de Macaúbas | 30 |
| Pedra Branca | Sento Sé | 30 |
| São Pedro do Lago | Sento Sé | 30 |
| Sete Gameleiras | Sento Sé | 30 |
| Pedra do Reino | Sobradinho | 30 |
| Pedra do Reino III | Sobradinho | 18 |
| TOTAL | | 233 |

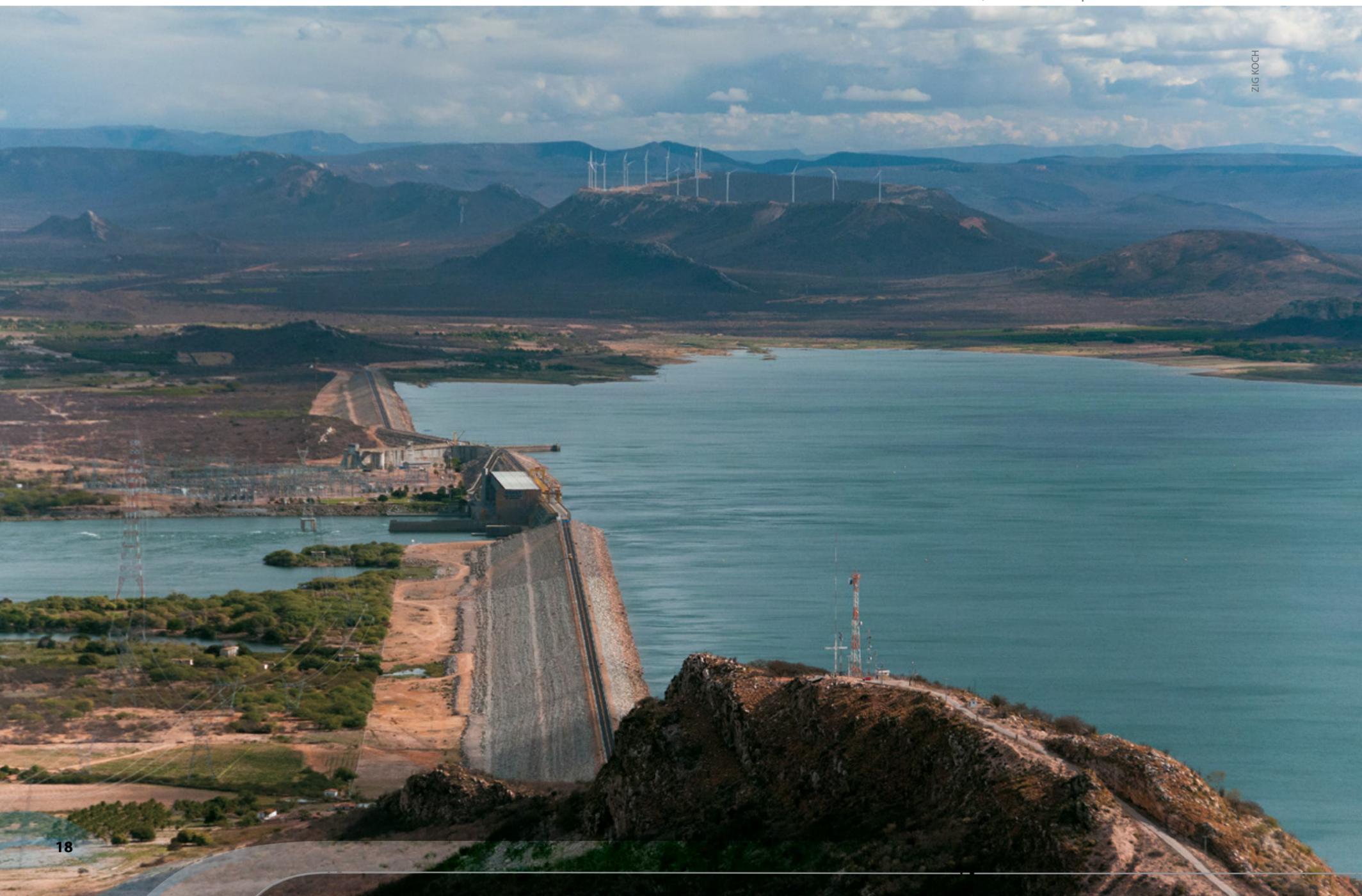
USINAS TERMELÉTRICAS EM OPERAÇÃO

TABELA 1.6 »

| Usina | Combustível | MW |
|---|--------------------------|--------------|
| Agrovale | Bagaço de Cana de Açúcar | 109 |
| Salvador | Biogás | 214 |
| Sykué I | Capim Elefante | 131 |
| Refinaria Landulpho Alves (RLAM) | Gás de Refinaria | 63 |
| Camaçari | Gás Natural | 20 |
| Celso Furtado (Antiga Termobahia Fase I) | Gás Natural | 186 |
| Rômulo Almeida Unidade I (Antiga Usina de Cogeração Camaçari) | Gás Natural | 347 |
| Camaçari | Gás Natural | 138 |
| Metalurgia Caraíba | Gás Natural | 18 |
| Suzano Mucuri (Antiga Bahia Sul) | Licor Negro | 32 |
| Veracel | Licor Negro | 13 |
| Bahia Pulp (Antiga Bacell) | Licor Negro | 14 |
| Camaçari Muricy I | Óleo Combustível | 117 |
| Camaçari Pólo de Apoio I | Óleo Combustível | 152 |
| Global I | Óleo Combustível | 150 |
| Global II | Óleo Combustível | 30 |
| Bahia I - Camaçari | Óleo Diesel | 149 |
| Brumado | Óleo Diesel | 149 |
| 39 outras usinas com menos de 10MW | Vários | 44 |
| TOTAL | | 2.078 |

FONTE: ANEEL⁵¹

FIGURA 1.7 À frente: Usina Hidrelétrica de Sobradinho; ao fundo: Complexo Eólico Pedra do Reino.



Atlas Eólico Bahia

INFRAESTRUTURA sistema elétrico e malha viária

MAPA 1.1

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾, ANEEL⁽⁴⁾, ONS⁽¹⁰⁾, GOOGLE EARTH⁽¹⁶⁾ E BRASIL ENERGIA⁽¹⁷⁾.

- | | | | |
|--|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| ● Subestações | — LT 500 kV | ▭ Corpos de água | — Estradas pavimentadas |
| ▲ Usinas hidrelétricas | - - - LT 500 kV planejada | ▬ Rios | - - - Estradas não pavimentadas |
| ▲ Pequenas centrais hidrelétricas | — LT 230 kV | ▬ Divisas municipais | — Ferrovias |
| ■ Usinas térmicas | - - - LT 230 kV planejada | ▬ Divisas estaduais | ○ Sedes municipais |
| ⚡ Usinas eólicas em operação ou construção | — LT 138 kV | ⚓ Ancoradouros | ● Vilas e povoados |
| ⚡ Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL | — LT 69 kV | ⚓ Portos | |
| | — LT 34,5 kV | ✈ Aeroportos campos de pouso | |

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 25 50 75 100 125km



Bahia
GOVERNO
TERRA DE TODOS NÓS

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

FIEB **SENAI**
Parceria das Instituições do Estado da Bahia

CIMATEC

CAMARGO SCHUBERT

CLIMATOLOGIA

- 2.1 Circulação Atmosférica
- 2.2 Regimes de Vento da Bahia
- 2.3 Chuvas
- 2.4 Temperaturas



2.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

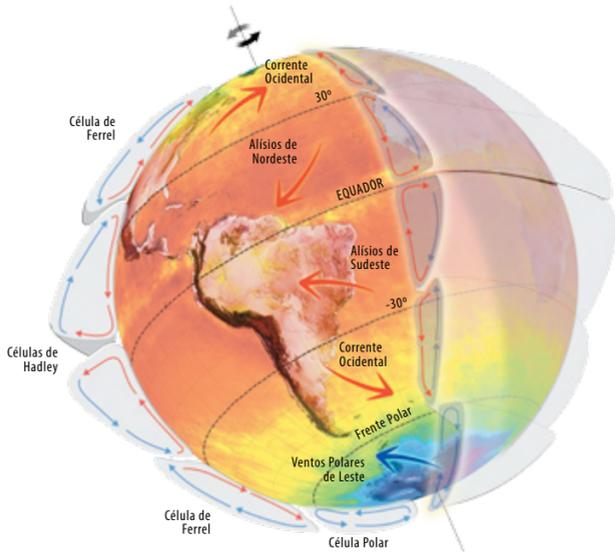


FIGURA 2.2 Circulação atmosférica.

O vento tem sua origem no aquecimento desigual da superfície terrestre. A grande variedade de tipos de cobertura dessa superfície (e.g. gelo, florestas dos mais variados tipos, areia e massas de água), aliada aos ciclos temporais de exposição ao sol (dia-noite e estações do ano), originam essas variações de aquecimento. Os estudiosos das ciências atmosféricas são capazes, até certo ponto, de prever e calcular esses movimentos de massas de ar sobre o planeta.

Espacialmente, o vento varia em escala global (macroescala), devido ao aquecimento desigual entre o Equador e os Polos (células de circulação, Figura 2.2), que juntamente com efeitos causados pela rotação da Terra (e.g. Efeito Coriolis) geram o chamado vento geostrófico; na escala regional (mesoescala), devido às diferenças de temperatura entre cordilheiras e vales (ventos catabáticos) ou entre o mar e a terra (brisa marítima); e na escala local (microescala), devido a variados fatores, como a presença de chapadas e morros, a variação da cobertura vegetal e até mesmo esteiras de aerogeradores.

Temporalmente, a velocidade do vento apresenta flutuações desde intervalos de tempo inferiores a um minuto (turbulência atmosférica) até intervalos de anos ou décadas (regimes sazonais). Enquanto as primeiras tem caráter fortemente aleatório, as segundas seguem tendências bem definidas para um dado local e

possuem baixa variabilidade, possibilitando a previsão da velocidade média de longo prazo em locais para onde existem medidas. No Gráfico 2.1, apresenta-se o espectro de energia do vento^[108]. Nele, percebem-se dois picos: um à direita (intervalos de poucos minutos), relativo à turbulência atmosférica e outro à esquerda (intervalos de poucos dias), relativo à passagem de núcleos de alta ou baixa pressão – as chamadas frentes. No centro, está um vale onde o conteúdo de energia cinética do vento não apresenta forte variação. A “janela espectral” começa por volta dos 10 minutos e vai até aproximadamente 5 horas e separa claramente o que são variações turbulentas e o que são variações diárias. É por essa razão que o intervalo de 10 minutos é o escolhido para se registrar as médias de vento em campanhas de medições anemométricas.

Os ventos próximos da superfície terrestre, de interesse para a geração de energia, sofrem influência do atrito com a superfície terrestre e desaceleram quanto mais próximos do solo. Isso gera o que se denomina “perfil de camada-limite”, que é uma função cuja forma depende da rugosidade do terreno e da estabilidade térmica vertical. Na Figura 5.4, são ilustrados diferentes perfis de camada-limite e também a estratificação da atmosfera próxima da superfície terrestre. Conforme ilustra o Gráfico 2.2, é a interação entre o terreno e a atmosfera que é responsável pelos efeitos regionais ou de mesoescala do vento, os quais se combinam com efeitos globais.

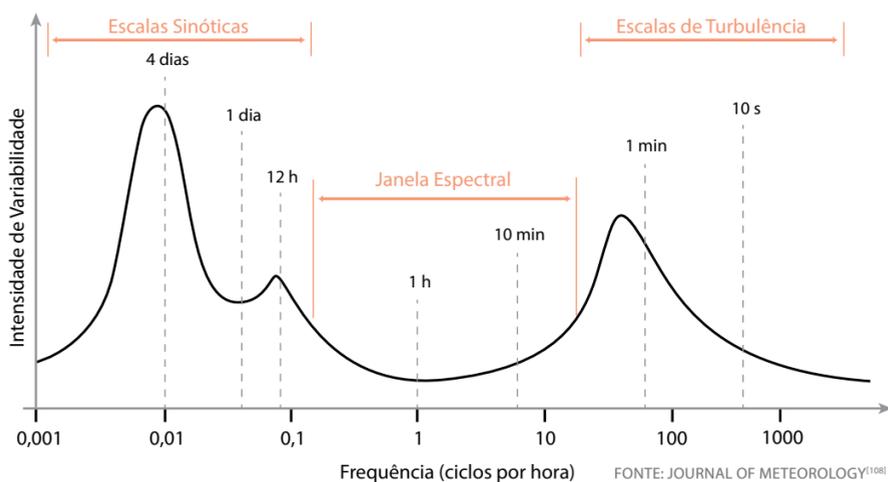


GRÁFICO 2.1 Diagrama de Van Der Hoven, escalas temporais de variabilidade do vento.

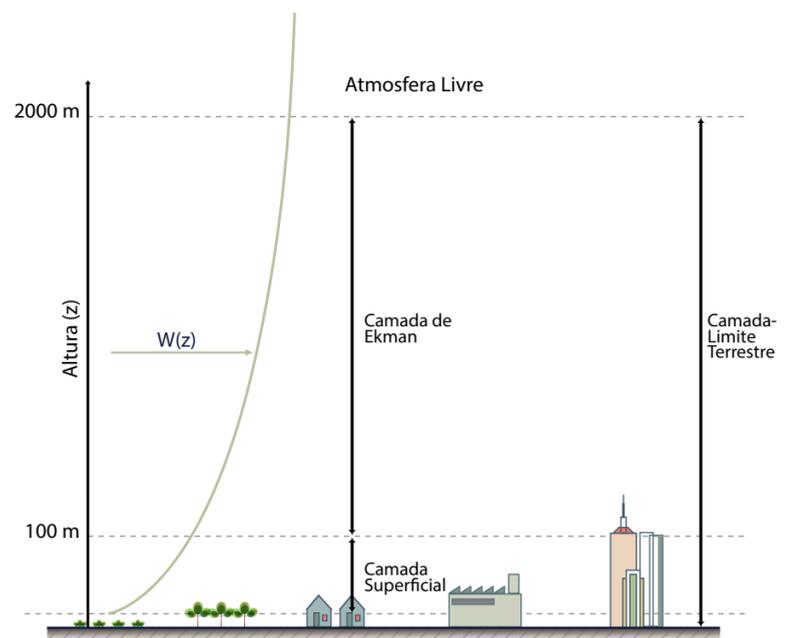


GRÁFICO 2.2 Elementos da camada-limite terrestre.

2.2 REGIMES DE VENTO DA BAHIA



FIGURA 2.3 Regimes de vento de escala sinótica incidentes sobre o Estado da Bahia.

Os regimes de vento resultam da sobreposição de mecanismos atmosféricos sinóticos (globais) e de mesoescala (regionais)^[99]. No que se refere aos regimes sinóticos, predomina na Bahia a influência de dois mecanismos: ao sul, o Anticiclone Subtropical do Atlântico, perturbado pela dinâmica intermitente das ondas de massas polares; ao norte, os ventos alísios, caracterizados por um regime constante. A direção desses mecanismos converge, resultando em ventos predominantes vindos de nordeste, leste e sudeste, conforme se observa na Figura 2.3.

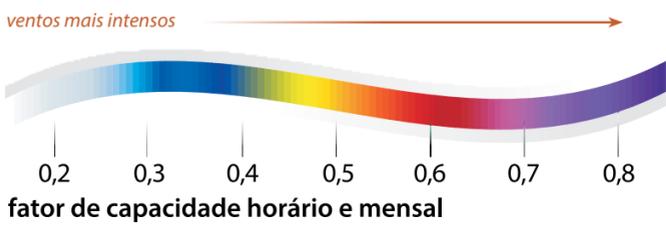
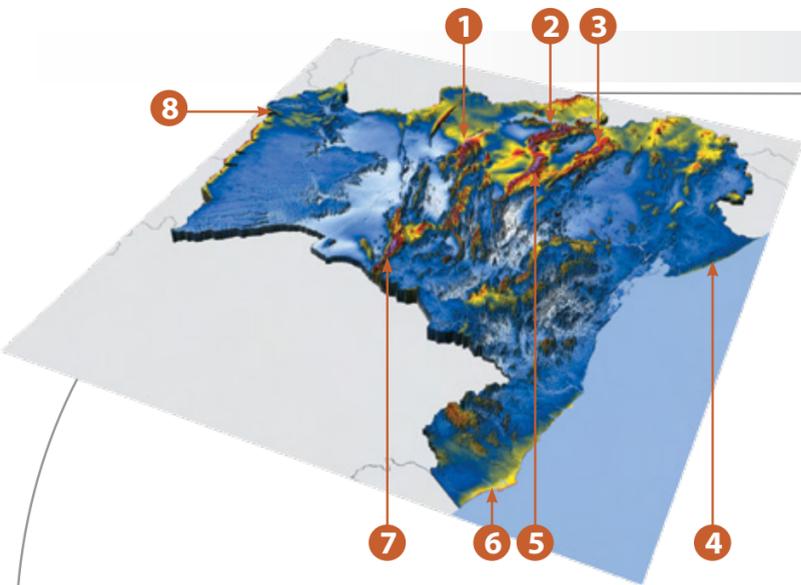
No que diz respeito aos mecanismos de mesoescala, exercem importante influência na Bahia as brisas marinhas e terrestres, as brisas montanha-vale e os jatos noturnos. Na região das chapadas, no centro do Estado, assim como nas demais regiões elevadas, verifica-se uma complexa interação entre o deslocamento atmosférico e as formações montanhosas.

A seguir, apresenta-se um resumo das principais características do regime de ventos em atividade sobre o território da Bahia, elaborado a partir das observações em superfície ou das simulações atmosféricas que foram objeto do presente trabalho.

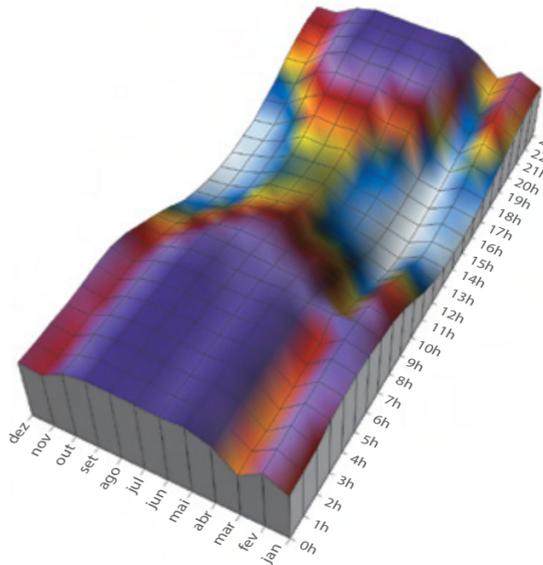
REGIMES HORÁRIOS E MENSAIS

FIGURA 2.4 »

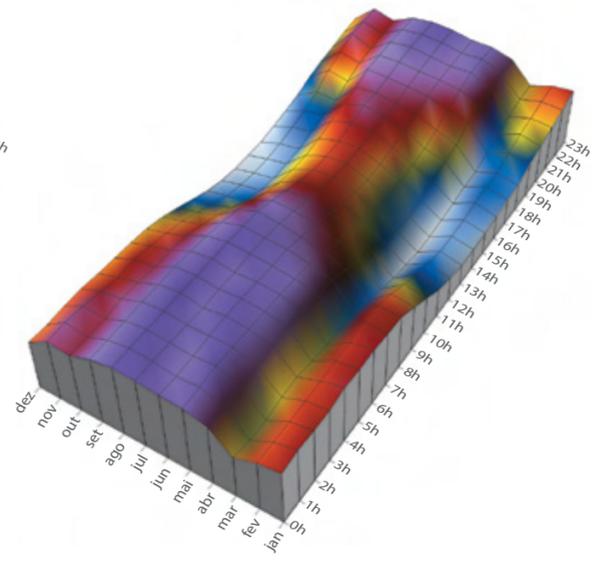
Regimes diurnos médios, para cada mês do ano, do fator de capacidade líquido esperado para aerogeradores em distintas regiões da Bahia a 100 m de altura, estimado a partir de medições nas melhores áreas e curvas de potência médias de aerogeradores no estado da arte.



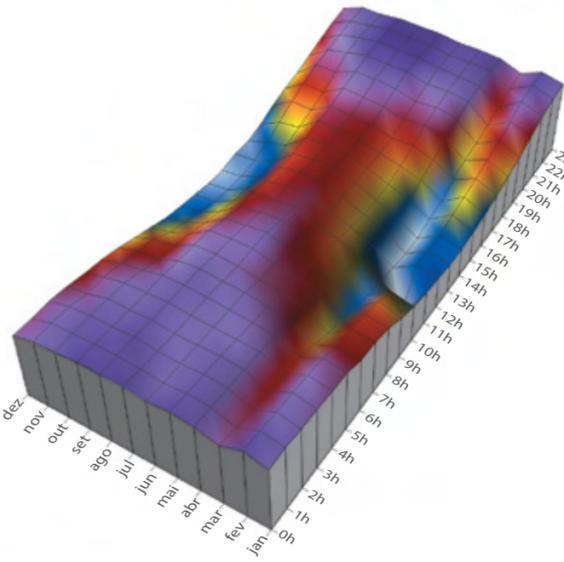
1 XIQUE-XIQUE



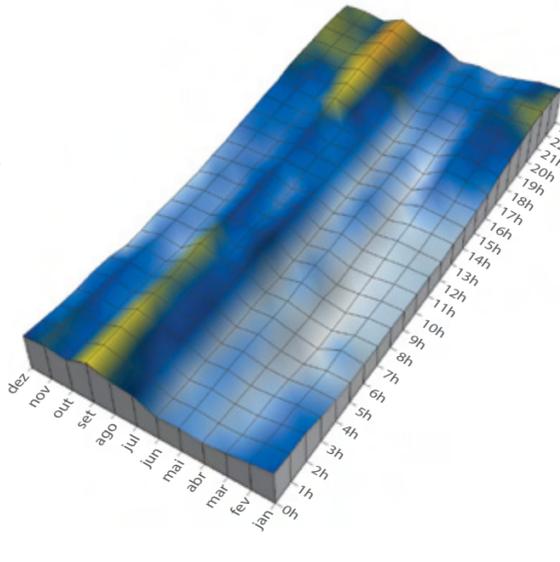
2 SENTO SÉ



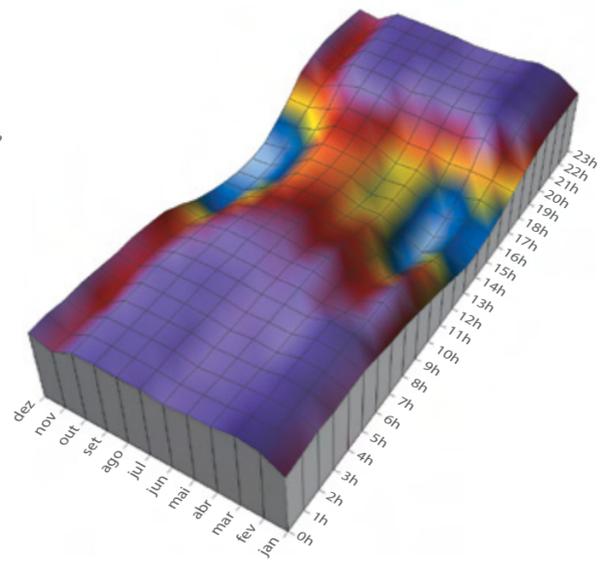
3 JACOBINA



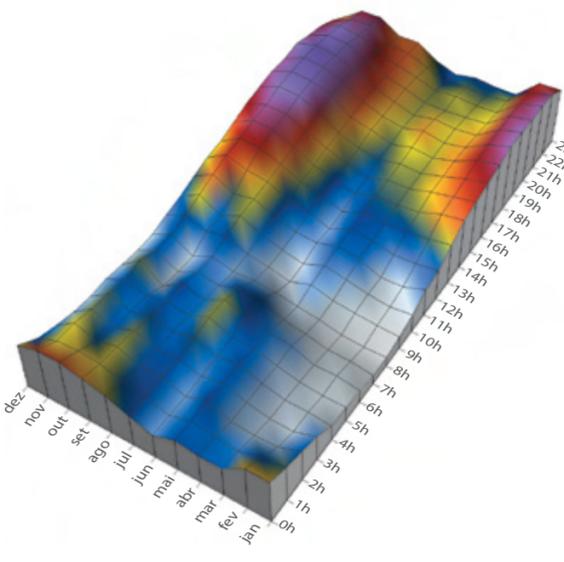
4 LITORAL NORTE



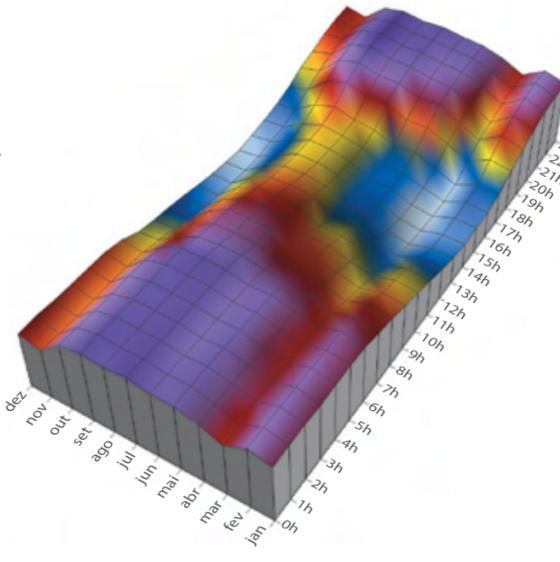
5 MORRO DO CHAPÉU



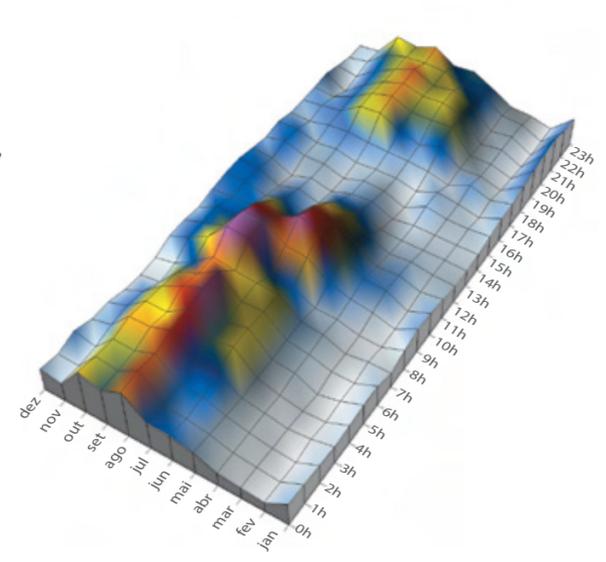
6 LITORAL SUL



7 CAETITÉ



8 BARREIRAS



CLIMATOLOGIA

REGIMES INTERANUAIS

Variações interanuais da velocidade média do vento, período: jan/1993 a dez/2012.

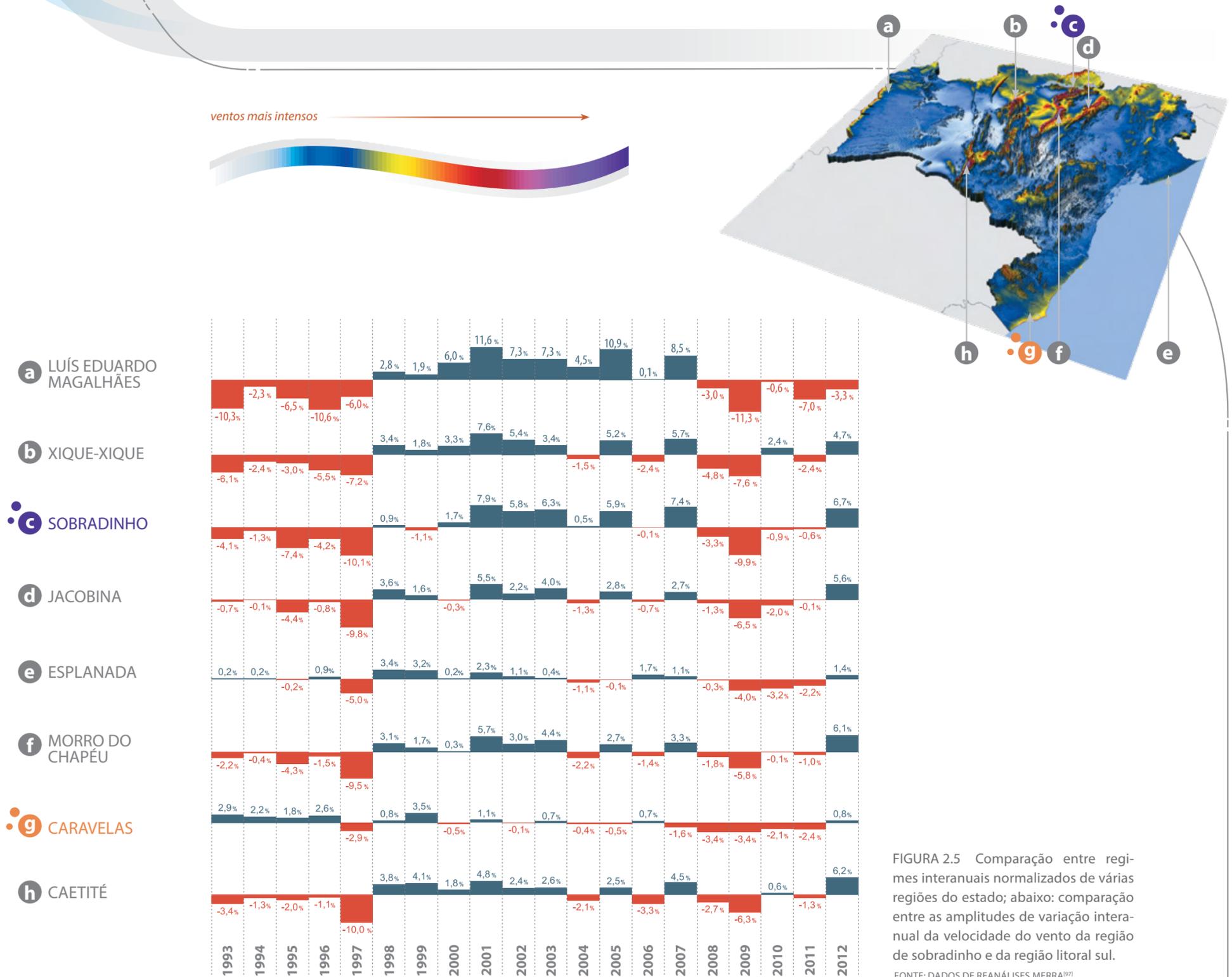
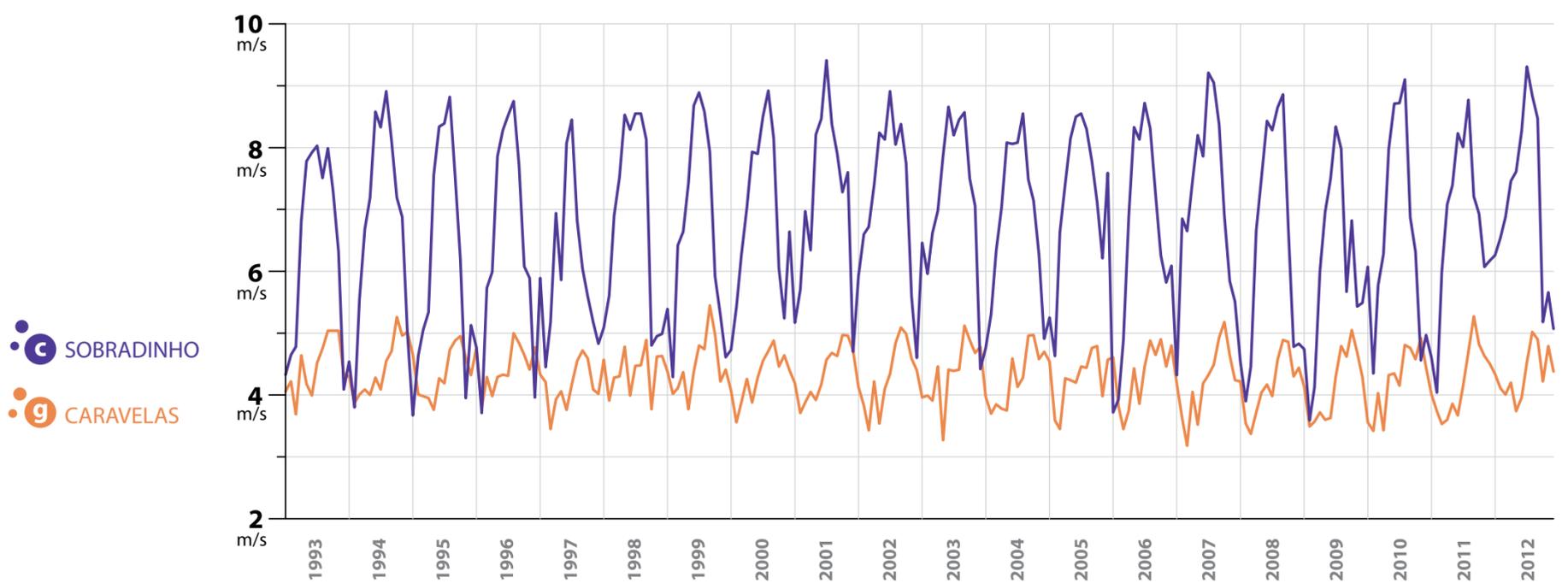


FIGURA 2.5 Comparação entre regimes interanuais normalizados de várias regiões do estado; abaixo: comparação entre as amplitudes de variação interanual da velocidade do vento da região de sobradinho e da região litoral sul.

FONTE: DADOS DE REANÁLISES MERRA⁷⁹¹

VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO A 50 m DE ALTURA



2.2.1 REGIMES HORÁRIOS

As brisas marinhas e terrestres e as brisas montanha-vale, com ciclos tipicamente diurnos, tendem a aumentar a intensidade do vento no final do dia nas regiões próximas ao litoral e, durante a noite, nas chapadas e montanhas no interior do Estado.

Nos locais mais promissores para aproveitamentos eólicos (Item 7.2), observou-se, a partir dos resultados dos mapas e das medições, que os ventos mais intensos ocorrem a sotavento das plataformas elevadas e, em alguns casos, nas baixadas, também a sotavento, resultado da aceleração produzida pela diferença de temperatura entre montanha e vale. Durante a noite, quando a atmosfera encontra-se estavelmente estratificada, essa tendência acentua-se, como é visível pela comparação entre os mapas dia/noite (Mapa 6.11). O fenômeno ocorre na maioria das serras do eixo Norte-Sul central do Estado, como a Serra da Mangabeira (Campo Formoso); a Serra do Estreito (Buritirama), ao norte; e a Serra do Espinhaço (Caetité), no sul do Estado. Por outro lado, percebe-se que no litoral o regime se inverte, principalmente no sul, com maior incidência de ventos durante o dia e predomínio ao final da tarde e cair da noite, devido à influência das brisas marinhas.

2.2.2 REGIMES MENSAIS E SAZONAIS

Quanto à sazonalidade, todo o Estado apresenta ventos máximos no segundo semestre (inverno e primavera), com um deslocamento desses picos para o início do verão no litoral. Visando pesquisar a relação do regime de ventos com a cobertura vegetal e a possível influência desse fenômeno na estimativa do potencial de geração de energia, foram produzidos, para este Atlas, mapas eólicos parciais considerando dados dos períodos seco e úmido. O critério de separação desse regime seco e úmi-

do levou em consideração as medições anemométricas conhecidas no centro do Estado, tendo sido delimitado como período seco os meses de abril a agosto, e como úmido os meses de outubro a março. Constatou-se nesses mapas que no interior do Estado os ventos mais intensos concentram-se no período seco, ao contrário do que acontece no litoral.

A direção dos ventos que sopram sobre a Bahia varia relativamente pouco, predominando o sentido leste-oeste, com raríssimos registros no sentido oposto, geralmente associados a velocidades muito baixas.

No Capítulo 6, são apresentados mapas comparativos entre as médias de velocidade do vento entre dia e noite e períodos seco e úmido. Os gráficos da Figura 2.4 representam os regimes de vento horário e mensal de várias regiões do Estado, obtidos a partir de medições nas melhores áreas. Para uma visualização mais didática, os gráficos de velocidade do vento foram convertidos em fatores de capacidade, a partir de curvas de potência de aerogeradores comercializados nos últimos anos, considerando-se também outros pressupostos (iguais aos descritos no Item 7.1), de modo que a proporção dos gráficos já corresponde ao regime energético do vento.

Nota-se que, para um dado ponto de medição, as tendências e padrões de variabilidade horários e sazonais são também influenciados pelas características locais, tais como topografia e vegetação circundante. Como consequência, o estudo das medições de uma torre específica pode, por vezes, revelar comportamentos atípicos, quando comparados àqueles esperados levando em conta somente efeitos sinóticos e de mesoescala.

Ainda no Capítulo 6, são apresentados os mapas eólicos sazonais para as quatro estações do ano, para as alturas de 80, 100, 120 e 150 m.

2.2.3 REGIMES INTERANUAIS

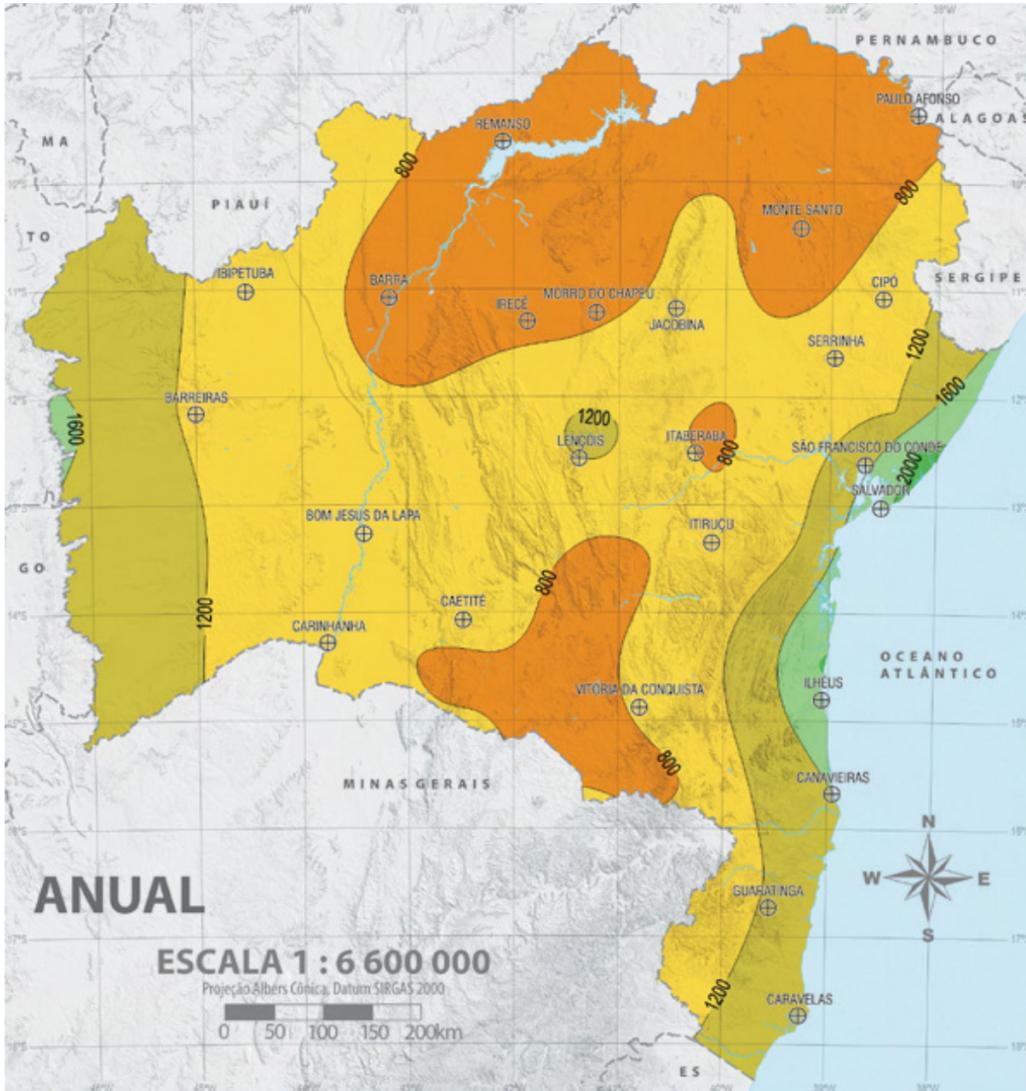
A literatura associa vários fenômenos à variação interanual do clima sobre o Nordeste brasileiro. Variações anuais na temperatura do Oceano Pacífico, como os fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, alteram a circulação global, ocasionando irregularidades no clima do Nordeste, principalmente nos eventos relacionados a precipitação e secas extremas^{[96][98]}. Essas irregularidades acarretam alterações regionais no regime sazonal da umidade relativa do ar, pressão e temperatura, o qual por sua vez influencia os regimes de vento.

Estimativas de potencial eólico que se destinem à previsão energética de usinas com vida útil de pelo menos algumas décadas devem levar em consideração essas variações climáticas. É por essa razão que as estimativas deste Atlas buscam representar um período maior que 10 anos.

Ainda que os dados anemométricos utilizados para validação e eventuais ajustes dos mapas sejam representativos de apenas alguns anos, observam-se no Nordeste brasileiro variações sensíveis da velocidade do vento nesta escala temporal, conforme demonstra a Figura 2.5. Por esse motivo, o modelamento *MesoMap*^[7] faz uma amostragem de dados meteorológicos de reanálises de quinze anos, que é um período representativo do tempo de operação de uma usina eólica. Por esse mesmo motivo, conforme descrição no Capítulo 5, os dados anemométricos amostrados neste Atlas foram confrontados com bases de referência de longo prazo, a fim de validar a sua representatividade climatológica.

FIGURA 2.6 Complexo Eólico Alto Sertão, em Igarorã.



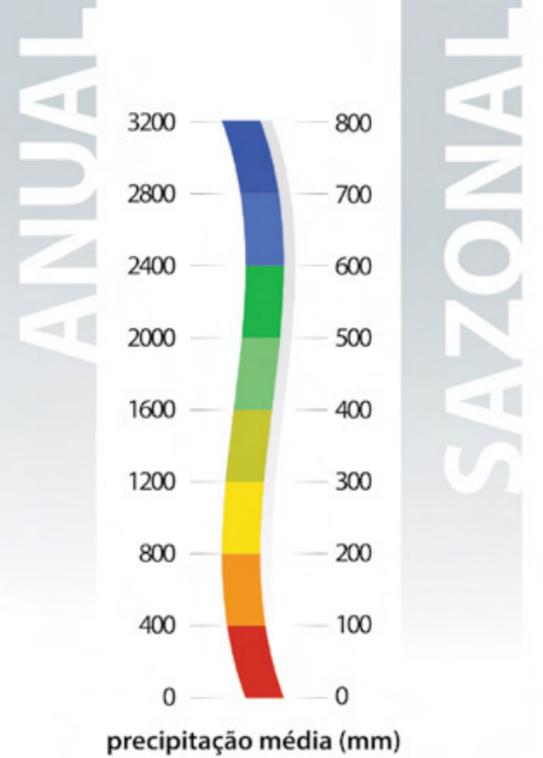


PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

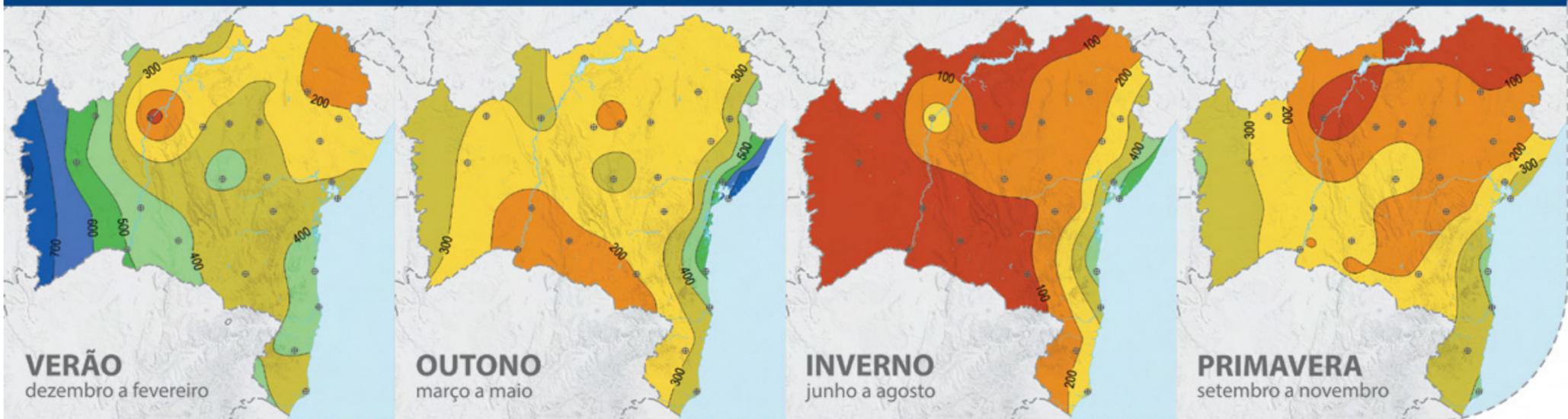
MAPA 2.1 »

Mapas desenvolvidos a partir de dados climatológicos coletados em 30 estações do INMET no período de 1961 a 1990^[70].

- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais



PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL



O clima predominante no Estado da Bahia é o tropical, com médias de temperaturas anuais elevadas e máximas acima dos 30°C. No sertão, o clima é semiárido, com pluviosidade anual acumulada abaixo dos 800 mm. A estação chuvosa é irregular, com eventos de secas prolongadas no interior. Na faixa litorânea, a umidade é maior e a precipitação acumulada anual ultrapassa os 1600 mm em algumas regiões.

2.3 CHUVAS

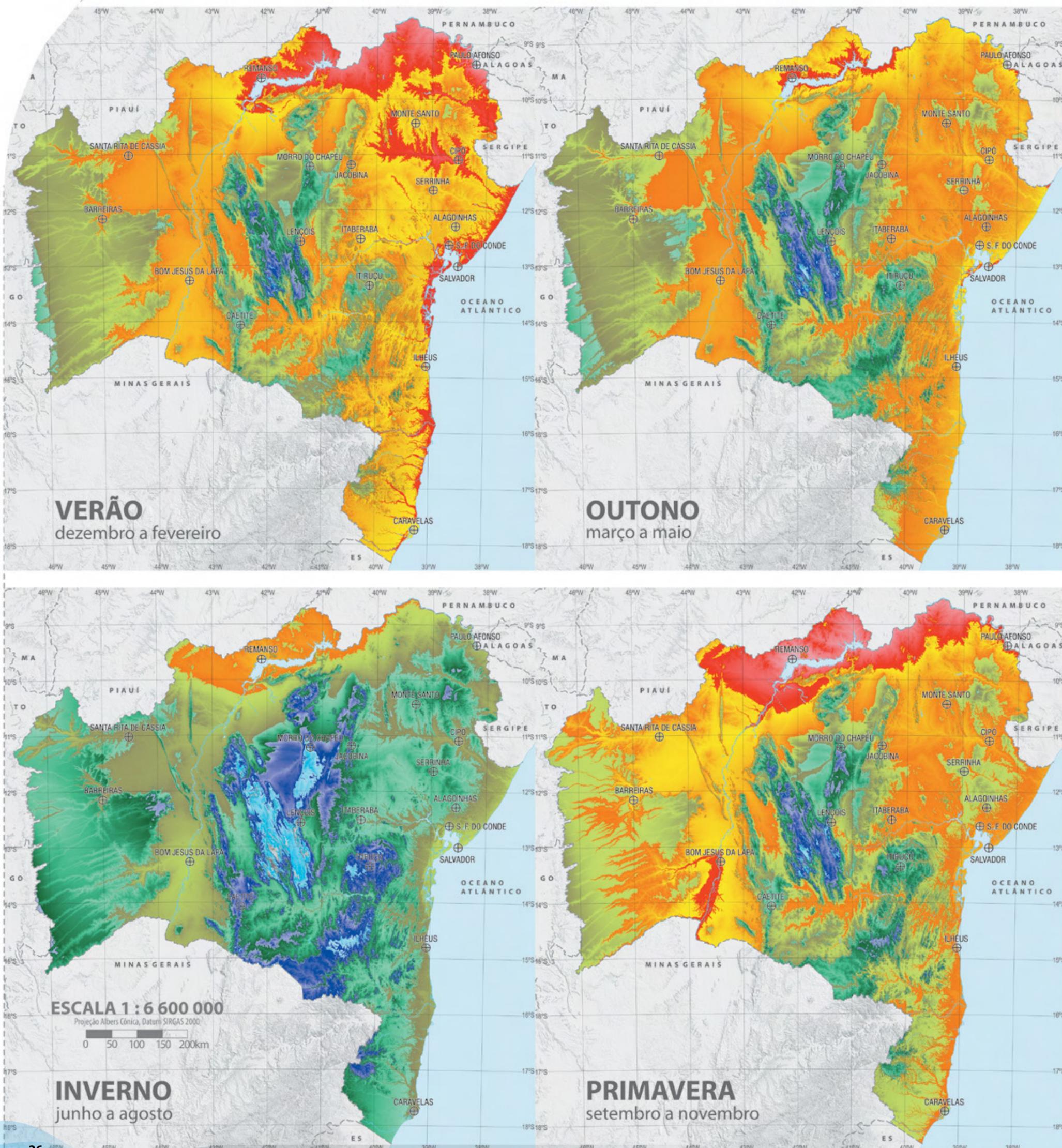
Na Bahia, os regimes interanuais de precipitação caracterizam-se por uma variabilidade espacial. Nas regiões centro-oeste e norte, o clima é o típico semiárido do sertão nordestino, com longos períodos de estiagem. Há, no entanto, pontos isolados no centro do Estado, em áreas de maior altitude, e também nas chapadas no extremo oeste que apresentam uma sazonalidade bem definida, com verão muito chuvoso, chuvas ocasionais na primavera e seca no restante do ano, apresentando uma precipitação anual média acima de 1200 mm e um clima muito úmido. Já nas áreas costeiras, o regime pluviométrico anual é mais intenso, ultrapassando os 1200 mm.

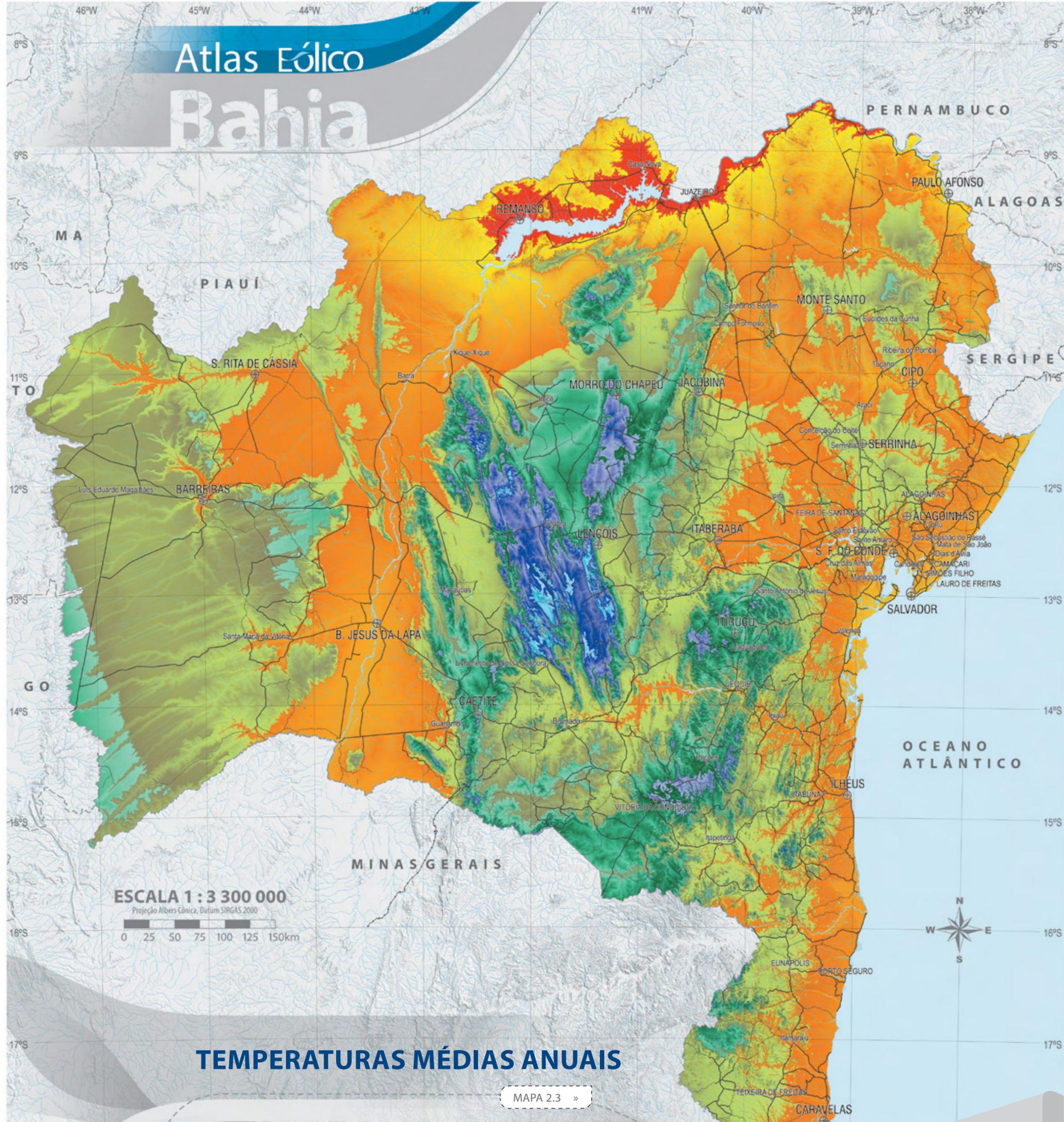
2.4 TEMPERATURAS

A distribuição espacial das temperaturas está relacionada à topografia do Estado, com as temperaturas mais elevadas na região centro-oeste, acompanhando o vale do rio São Francisco, região de menor altitude e localizada a oeste das grandes chapadas. Os Mapas 2.2 e 2.3 apresentam as temperaturas sazonais e anuais calculadas para o Estado da Bahia.

TEMPERATURAS MÉDIAS SAZONAIS

MAPA 2.2 »



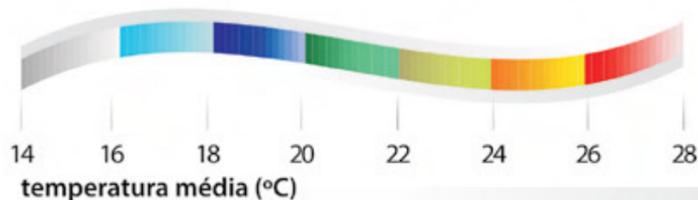


TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS

MAPA 2.3 »

- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Cidades com mais de 40 mil habitantes

Mapas criados a partir de dados climatológicos coletados em 26 estações do INMET entre 1961 e 1990^[70], ajustados para altitude conforme equações da atmosfera padrão ISA^[87].



ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE

3.1 Legislação Ambiental

3.2 Áreas de Proteção no Estado da Bahia

3.3 Aproveitamento Eólico Marítimo - *Offshore*



FIGURA 3.1 Parque Nacional da Chapada Diamantina.

3.1 LEGISLAÇÃO 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. O não atendimento a prazos ou a certas exigências, mesmo que aparentemente de segunda relevância, em processos licenciatórios, podem levar a grandes prejuízos ou até mesmo à inviabilização de empreendimentos. Apesar 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 nos últimos anos a passos firmes. 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^[3]. 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 no Estado da Bahia que gerenciam os processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos eólicos são, na esfera federal, o Ministério de Meio Ambiente através do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA e, na esfera estadual, a Secretaria de Meio Ambiente – SEMA, tendo como órgão executor o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. A base da legislação ambiental vigente inclui o novo Código Florestal Brasileiro^[14], a Política Nacional do Meio Ambiente^[25], as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA^{[37][38][39][40]} e a Política de Meio Ambiente do Estado da Bahia^[13], entre outros. No Estado da Bahia, os processos também são guiados pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente – CEPRAM, por meio de um marco regulatório específico^[36] que estabelece critérios e procedimentos para subsidiar o licenciamento ambiental.

Desde 2001, o Licenciamento Ambiental de empreendimentos de infraestrutura elétrica com pequeno potencial de impacto ambiental é regulado pela Resolução CONAMA 279, que prevê a apresentação do Relatório Ambiental Simplificado – RAS por parte do interessado, com prazo máximo de sessenta dias para a tramitação do processo^[40]. Na Bahia, a emissão das licenças de localização é realizada pelo INEMA, que conta com a colaboração da Comissão Técnica de Garantia Ambiental – CTGA da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração. Tal iniciativa tem o objetivo de acelerar o processo de licenciamento inicial para habilitação de empreendimentos eólicos na participação de leilões de energia promovidos pelo Governo Federal.

3.2 ÁREAS DE PROTEÇÃO NO ESTADO DA BAHIA

O Estado da Bahia é caracterizado por quatro grandes biomas: Mata Atlântica na porção sudeste e leste, Cerrado a oeste, Caatinga na região central e norte do Estado e o Bioma Marinho na costa. A cobertura vegetal inclui mais de 20 tipologias, tais como florestas ombrófilas, florestas estacionais, restinga, mangues, caatinga arbórea, caatinga parque, cerrado, cerradão, campo cerrado, veredas, entre outras. Ao longo da faixa litorânea, há uma grande diversidade costeira e marinha^[77], com uma parcela abrigada no primeiro parque nacional marinho do Brasil, o arquipélago dos Abrolhos, instituído em 1983^[20], um marco para a conservação marinha no país. Para proteger o seu patrimônio natural, o Estado da Bahia, em conjunto com o Governo Federal, mantém 164 Unidades de Conservação – UCs: 128 Unidades de Uso Sustentável – UUS e 36 Unidades de Proteção Integral – UPI, as quais ocupam aproximadamente 12,45 % do território.

O enquadramento de um projeto eólico ao processo de licenciamento simplificado está restrito a alguns condicionantes: o empreendimento não deve remover população ou inviabilizar comunidades com sua implantação; não intervir em Unidade de Conservação de Proteção Integral, rotas de aves migratórias ou sítios com ocorrência de fauna e/ou flora endêmica; não interferir, em qualquer fase do empreendimento, em cavidades naturais subterrâneas, dunas móveis, mangues; entre outros. Empreendimentos que, contrariamente, sejam considerados de significativo potencial de impacto ambiental exigem a apresentação dos respectivos Estudo e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA^[40].

A geração de energia eólica é reconhecida como uma 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^[32]. Dentre os principais impactos normalmente identificados no planejamento de parques eólicos estão: a alteração da paisagem; os deslocamentos de terra; os desmatamentos e alterações da drenagem do terreno devido à abertura e/ou melhoria de acessos; os efeitos socioeconômicos em escala micro e macroeconômica; a geração de ruído e efeito *flicker* (cintilação) nas proximidades dos parques e o afugentamento da fauna. Esses impactos são limitados, sobretudo, à fase de instalação dos parques, sendo em parte recuperados durante sua 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. É importante observar que, 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 a pecuária e a agricultura.

As UCs são áreas de preservação regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC^[24] e classificadas em categorias de manejo, de acordo com sua importância e objetivos. Conforme as restrições impostas, as categorias são agrupadas em UUSs e UPIs. Nas UPIs, é permitido apenas o “uso indireto dos seus recursos naturais”. Nas UUSs, permite-se a utilização parcial dos recursos naturais, podendo-se admitir inclusive a presença de parques eólicos, em conformidade com o plano de manejo^[24].

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 são listadas as principais UUSs e UPIs do Estado da Bahia. A localização das UCs é representada no Mapa 3.1, do qual se excluiu apenas as Reservas Particulares do Patrimônio Natural. As figuras a seguir ilustram algumas UCs, a partir de fotografias realizadas durante a campanha de documentação elaborada no decorrer deste projeto. Destacam-se o Parque Nacional da Chapada Diamantina e o Parque Estadual Morro do Chapéu, localizados na Chapada Diamantina, próximos a regiões de grande potencial eólico.



FIGURA 3.2 Parque Nacional da Chapada Diamantina.

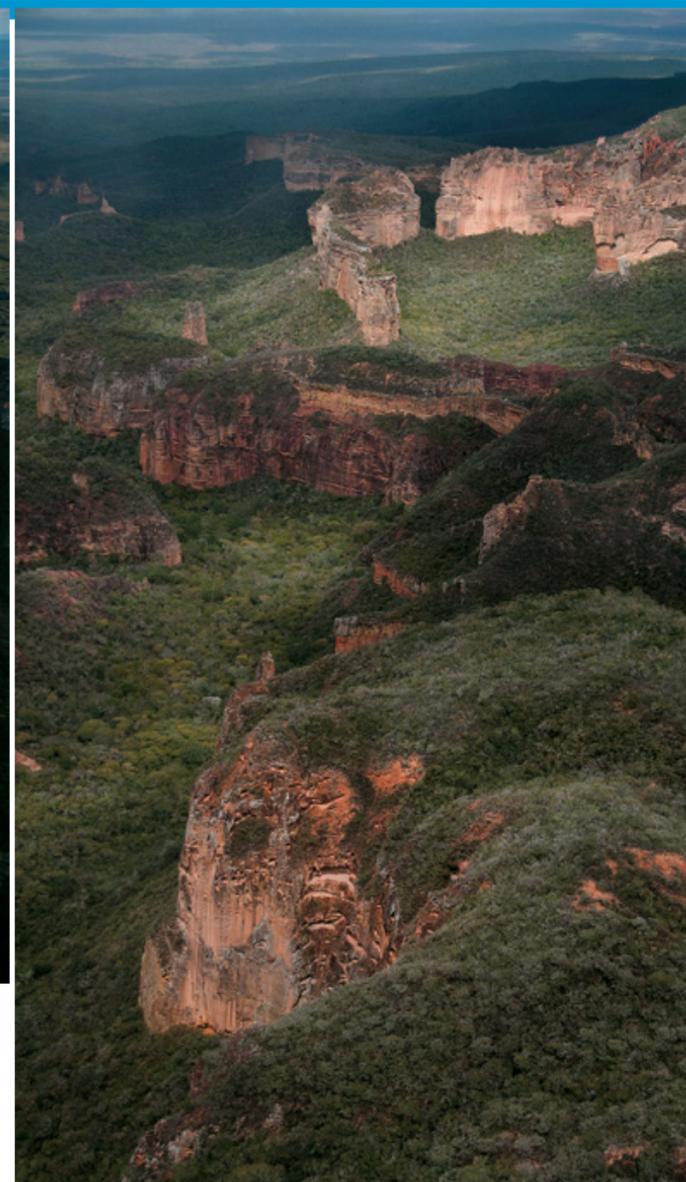


FIGURA 3.3 Estação Ecológica Raso da Catarina.

3.2.1 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO BOQUEIRÃO DA ONÇA E MORRO DO CHAPÉU

Dado o notável potencial eólico calculado sobre algumas áreas de caatinga classificadas como prioritárias para conservação, faz-se fundamental observar, compreender e respeitar o histórico e as premissas que conduziram à instalação destas Unidades de Conservação.

Criado em 1998^[9] com o objetivo de proteger áreas de relevante interesse por sua flora e fauna endêmicas, centenas de nascentes, raras formações geológicas e sítios arqueológicos

com registros de pinturas rupestres que compõem sua destacada beleza cênica^{[103][68]}, o Parque Estadual do Morro do Chapéu passa atualmente por processo de estudos para revisão de seus limites^{[11][9][12][53][69][81]}.

A Unidade de Conservação do Boqueirão da Onça, em fase de estudos de implantação desde 2002^[103], atualmente compõe-se de um mosaico de áreas com distintas definições legais: uma Área de Proteção Ambiental – APA, um Parque Nacional e um Monumento

Natural, com área total aproximada entre 8.500 e 10.000 km²^{[31][55]}, sobrepondo-se parcialmente à APA Estadual do Lago de Sobradinho^[10]. Alguns dos atributos que justificam a proteção deste sítio são os endemismos de fauna e flora, a ocorrência de vastos sistemas de cavernas, sítios arqueológicos e locais de grande beleza cênica, além do fato de tratar-se de vazios demográficos com vegetação nativa bem conservada e com ocorrência de populações remanescentes de espécies ameaçadas, como a arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*)^[5] e a onça pintada (*panthera onca*)^[103].



FIGURA 3.4 Parque Estadual do Morro do Chapéu.



FIGURA 3.5 Área de interesse para criação de Unidade de Conservação na região do Boqueirão da Onça.



FIGURA 3.6 Parque Nacional da Serra dos Montes Altos.



FIGURA 3.7 Assentamento agrário e vila em Iraquara.

3.3 APROVEITAMENTO EÓLICO MARÍTIMO – OFFSHORE

No contexto legal, não existe até o momento um marco regulatório no Brasil para a exploração do potencial eólico marítimo (*offshore*) que trate de questões tais como licenciamento ambiental, implementação, modelo de concessão ou modo de exploração das áreas. No campo ambiental, há, igualmente, pouca pesquisa sobre esse assunto, como por exemplo, os im-

3.2.2 TERRAS INDÍGENAS, QUILOMBOS E ASSENTAMENTOS AGRÍCOLAS

O Estado da Bahia possui hoje uma diversidade de quinze povos indígenas, com população estimada de 40 mil pessoas que habitam 33 territórios espalhados por 27 municípios em cerca de 100 comunidades locais^[100]. Já os 17 Quilombos do Estado ocupam 1.515 km² e os 480 Assentamentos Agrícolas (em diversos estágios de demarcação) somam 12.786 km² ^[76], sendo que alguns destes sobrepõem-se a Unidades de Uso Sustentável. O Mapa 3.1 apresenta a distribuição dessas áreas especiais. A Tabela 3.4 apresenta o nome e os municípios onde se encontram as Terras Indígenas e a Tabela 3.3 lista os Quilombos do Estado da Bahia.

O aproveitamento eólico em terras indígenas é dependente de decreto do Presidente da República a título de realização de obra pública que interesse ao desenvolvimento nacional^[22]. Conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988, esta competência de “demarcar, proteger e fazer respeitar todos os bens e direitos dos povos indígenas^[16]” (neste caso, o uso do solo) pertence à União.

Em territórios quilombolas, a titularidade fundiária, em nome da associação de moradores, é coletiva e inalienável^[15]. Tais sítios, por se tratarem de reminiscências históricas, são tombados^[18], fato este que impõe restrições a todo tipo de empreendimento com qualquer potencial para causar impactos ao quilombo, estando localizado dentro de seu perímetro ou em área vizinha^[21].

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^[23].

pactos esperados sobre atividades pesqueiras ou mesmo sobre a biologia marinha. Por se tratarem de áreas pertencentes à União, é necessário que ocorram definições sobre os modelos de inventário, delimitação das áreas, concessão e exploração. A definição de um marco regulatório será fundamental para a divisão dos *royalties* advindos das receitas de geração de energia.



FIGURA 3.8 Parque Nacional Marinho de Abrolhos.

TABELA 3.1 »

| | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO | DIPLOMA LEGAL |
|---|--|----------------------------------|
| ESTADUAL | 1 APA DO RIO PRETO | D.E. nº 10.019 de 06/06/2006 |
| | 2 APA BACIA DO RIO DE JANEIRO | D.E. nº 7.971 de 05/06/2001 |
| | 3 APA DUNAS E VEREDAS DO BAIXO MÉDIO SÃO FRANCISCO | D.E. nº 6.547 de 20/07/1997 |
| | 4 APA LAGOA ITAPARICA | D.E. nº 6.546 de 18/07/1997 |
| | 5 APA LAGO DE SOBRADINHO | D.E. nº 9.957 de 31/03/2006 |
| | 6 APA GRUTAS DOS BREJÕES VEREDAS DO ROMÃO GRAMACHO | D.E. nº 32.487 de 14/11/1985 |
| | 7 APA DE SÃO DESIDÉRIO | D.E. nº 10.020 de 06/06/2006 |
| | 8 APA SERRA BRANCA / RASO DA CATARINA | D.E. nº 7.972 de 06/06/2001 |
| | 9 APA MARIMBUS / IRAQUARA | D.E. nº 2.216 de 15/06/1993 |
| | 10 ARIE SERRA DO OROBÓ | D.E. nº 8.267 de 06/06/2002 |
| | 11 ARIE NASCENTE DO RIO DE CONTAS | D.E. nº 7.968 de 06/06/2001 |
| | 12 APA SERRA DO BARBADO | D.E. nº 2.183 de 08/06/1993 |
| | 13 APA LAGO DE PEDRA DO CAVALO | D.E. nº 6.548 de 18/07/1997 |
| | 14 APA MANGUE SECO | D.E. nº 605 de 06/11/1991 |
| | 15 APA LITORAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA | D.E. nº 1.046 de 17/03/1992 |
| | 16 APA PLATAFORMA CONTINENTAL DO LITORAL NORTE | D.E. nº 8.553 de 06/06/2003 |
| | 16 APA LAGOAS DE GUARAJUBA | Res. CEPRAM nº 387 de 27/02/1991 |
| | 17 APA RIO CAPIVARA | D.E. nº 2.219 de 14/06/1993 |
| | 18 APA JOANES / IPITANGA | D.E. nº 7.596 de 05/06/1999 |
| | 19 APA LAGOAS E DUNAS DO ABAETÉ | D.E. nº 351 de 23/09/1987 |
| | 20 APA BACIA DO COBRE / SÃO BARTOLOMEU | D.E. nº 7.970 de 06/06/2001 |
| 21 APA BAÍA DE TODOS OS SANTOS | D.E. nº 7.595 de 05/06/1999 | |
| 22 APA DE GUAIBIM | D.E. nº 1.164 de 11/05/1992 | |
| 23 APA CAMINHOS ECOLÓGICOS DE BOA ESPERANÇA | D.E. nº 8.552 de 05/06/2003 | |
| 24 APA ILHAS DE TINHARÉ E BOIPEBA | D.E. nº 1.240 de 05/06/1992 | |
| 25 APA PRATIGI | D.E. nº 8.036 de 20/09/2001 | |
| 26 APA BAÍA DE CAMAMU | D.E. nº 8.175 de 28/02/2002 | |
| 27 APA COSTA DE ITACARÉ/ SERRA GRANDE | D.E. nº 2.186 de 08/06/1993 | |
| 28 APA LAGOA ENCANTADA | D.E. nº 2.217 de 15/06/1993 | |
| 29 APA DA SERRA DO OURO | D.E. nº 10.194 de 28/12/2006 | |
| 30 APA SANTO ANTÔNIO | D.E. nº 3.413 de 01/09/1994 | |
| 31 APA COROA VERMELHA | D.E. nº 2.184 de 07/06/1993 | |
| 32 APA CARAÍVA / TRANCOSO | D.E. nº 2.215 de 15/06/1993 | |
| 33 APA PONTA DA BALEIA / ABROLHOS | D.E. nº 2.218 de 15/06/1993 | |
| 34 RESEX DE CASSURUBÁ | Decreto S/N de 05/06/2009 | |
| 35 RESEX CORUMBAU | Decreto S/N de 22/09/2000 | |
| 36 RESEX DE CANAVIEIRAS | Decreto S/N de 05/06/2006 | |
| 37 FLONA DE CONTENDAS DO SINCORÁ | Decreto S/N de 21/09/1999 | |
| 38 RESEX MARINHA DA BAÍA DE IGUAPE | Decreto 12.058 de 13/10/2009 | |
| 39 PAE SAO FRANCISCO | Em levantamento | |
| 40 ARIE COROBÓBÓ | Res. CONAMA nº 5 de 05/06/1984 | |
| 41 FLONA DE CRISTÓPOLIS | Decreto S/N de 18/05/2001 | |
| 42 APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO | Decreto S/N de 27/09/2001 | |
| RPPN BELAS ARTES | Portaria SEMA nº 48 de 04/06/2009 | |
| RPPN REFÚGIO DO GUIGÓ I E II | Portaria SEMA nº 133 de 08/10/2010 | |
| RPPN BRONZON | Portaria SEMA nº 134 de 08/10/2010 | |
| RPPN BOZI | Portaria SEMA nº 135 de 08/10/2010 | |
| RPPN RENASCER | Portaria SEMA nº 142 de 05/11/2010 | |
| RPPN LEMBRANÇA | Portaria SEMA nº 143 de 10/11/2010 | |
| RPPN ENGELHARDT | Portaria SEMA nº 51 de 03/05/2011 | |
| RPPN PIANISSOLI | Portaria SEMA nº 52 de 03/05/2011 | |
| RPPN DEMUNER | Em levantamento | |
| RPPN NOVA ANGÉLICA | Em levantamento | |

TABELA 3.3 »

| | QUILOMBO | MUNICÍPIO |
|------|--|-------------------------|
| Q-01 | ARAÇA, CARIACA, PATO, PEDRAS, RETIRO | BOM JESUS DA LAPA |
| Q-02 | MANGAL E BARRO VERMELHO | BOM JESUS DA LAPA |
| Q-03 | NOVA BATALHINHA | BOM JESUS DA LAPA |
| Q-04 | PIRANHAS | BOM JESUS DA LAPA |
| Q-05 | LAGOAS DO PEIXE | BOM JESUS DA LAPA |
| Q-06 | SÃO FRANCISCO DO PARAGUAÇU | CACHOEIRA |
| Q-07 | CAONGE, DENDE, ENGENHO DA PONTE E OUTRAS | CACHOEIRA |
| Q-08 | MATA DO SAPÊ | MACAÚBAS |
| Q-09 | PARATECA E PAU D'ARCO | MALHADA |
| Q-10 | SALAMINA E PUTUMUJU | MARAGOGIPE |
| Q-11 | FAZENDA JATOBA | MUQUÉM DO SÃO FRANCISCO |
| Q-12 | AGRESTE | SEABRA |
| Q-13 | OLHOS D'ÁGUA DO BASÍLIO | SEABRA |
| Q-14 | TIJUAÇU | SENHOR DO BONFIM |
| Q-15 | DANDÁ | SIMÕES FILHO |
| Q-16 | VELAME | VITÓRIA DA CONQUISTA |
| Q-17 | RIACHO DA SACUTIABA E SACUTIABA | WANDERLEY |

TABELA 3.2 »

| | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO | DIPLOMA LEGAL |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| ESTADUAL | A ESEC RIO PRETO | D.E. nº 9.441 de 06/06/05 |
| | B PARQUE ESTADUAL DO MORRO DO CHAPÉU | D.E. nº 7.413 de 18/08/1998 |
| | C MONA CACHOEIRA DO FERRO DOIDO | D.E. nº 7.412 de 18/08/1998 |
| | D PARQUE ESTADUAL DAS SETE PASSAGENS | D.E. nº 7.808 de 25/05/2000 |
| | E MONA DOS CANIONS DO SUBAÉ | D.E. nº 10.018 de 06/06/2006 |
| | F ESEC WENCESLAU GUIMARÃES | D.E. nº 6.228 de 22/02/1997 |
| | G PARQUE ESTADUAL DA SERRA DO CONDURU | D.E. nº 6.227 de 22/02/1997 |
| | H REVIS DA SERRA DOS MONTES ALTOS | D.E. nº 12.487 de 30/11/2010 |
| | I PARNA GRANDE SERTÃO VEREDAS | Decreto S/N de 21/05/2004 |
| | J REVIS DAS VEREDAS DO OESTE BAIANO | Decreto S/N de 13/12/2002 |
| | K ESEC SERRA GERAL DO TOCANTINS | Decreto S/N de 27/09/2001 |
| | L PARNA DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA | Decreto S/N de 16/07/2002 |
| | M ESEC RASO DA CATARINA | Portaria MMA nº 373 de 11/12/2001 |
| | N MONA DO RIO SÃO FRANCISCO | Decreto S/N de 05/06/2009 |
| | O PARNA DA CHAPADA DIAMANTINA | Decreto nº 91.655 de 17/09/1985 |
| | P PARNA DE BOA NOVA | Decreto S/N de 11/06/2010 |
| | Q PARNA DE SERRA DAS LONTRAS | Decreto S/N de 11/06/2010 |
| | R REBIO DE UNA | Decreto nº 85.463 de 10/12/1980 |
| | S PARNA DO ALTO CARIRI | Decreto S/N de 11/06/2010 |
| | T PARNA PAU BRASIL | Decreto S/N de 11/06/2010 |
| | U REVIS DO RIO DOS FRADES | Decreto S/N de 21/12/2007 |
| V PARNA HISTÓRICO DO MONTE PASCOAL | Decreto nº 242 de 29/11/1961 | |
| W PARNA DO DESCOBRIMENTO | Decreto S/N de 20/04/1999 | |
| X PARNA MARINHO DOS ABROLHOS | Decreto nº 88.218 de 06/04/1983 | |
| Y REBIO DO CÔRREGO GRANDE (ES) | Decreto nº 97.657 de 12/04/1989 | |

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL

ESTADUAL

FEDERAL

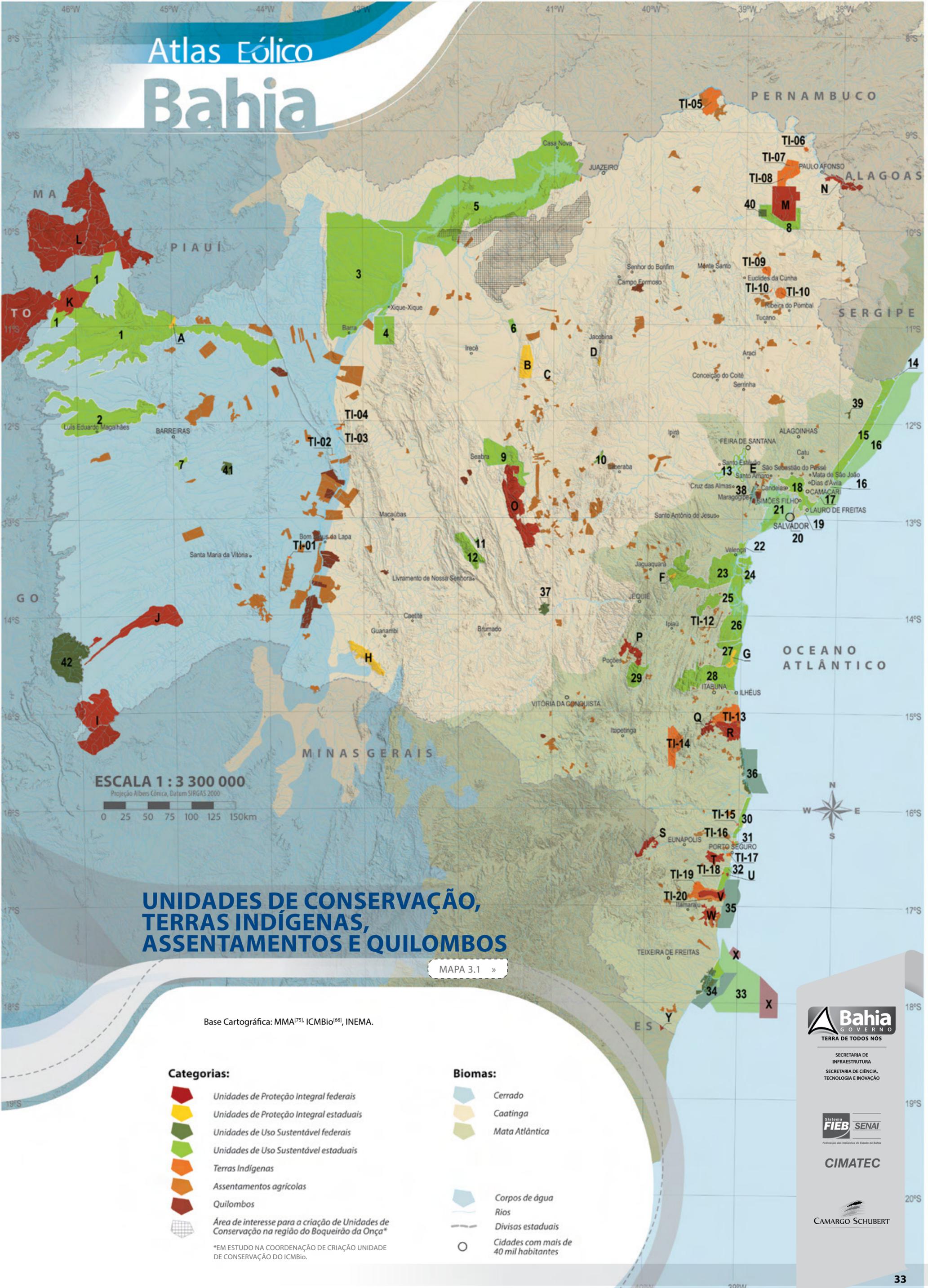
SIGLAS UTILIZADAS

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

TABELA 3.4 »

| | TERRA INDÍGENA | MUNICÍPIO | |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|--|
| EM ESTUDO | TI-01 | VARGEM ALEGRE | SERRA DO RAMALHO |
| | TI-02 | FAZENDA REMANSO | MUQUÉM DE SAO FRANCISCO |
| | TI-03 | BARRA | MUQUÉM DE SAO FRANCISCO |
| | TI-04 | IBOTIRAMA | IBOTIRAMA |
| | TI-05 | TUMBALALÁ | ABARÉ, CURAÇÁ |
| | TI-06 | KANTARURÉ | GLÓRIA |
| | TI-07 | BREJO DO BURGO | GLÓRIA, PAULO AFONSO, RODELAS |
| | TI-08 | PANKARARÉ | GLÓRIA, PAULO AFONSO, RODELAS |
| | TI-09 | MASSACARA | EUCLIDES DA CUNHA |
| | TI-10 | FAZENDA SÍTIO | BANZAÊ |
| | TI-11 | KIRIRI | BANZAÊ, QUIJINGUE, RIBEIRA DO POMBAL, TUCANO |
| | TI-12 | FAZENDA BAHIANA | CAMAMU |
| | TI-13 | TUPINAMBÁ DE OLIVENÇA | BUERAREMA, ILHÉUS, UNA |
| | TI-14 | CARAMURU/PARAGUASSU | CAMACAN, ITAJU DO COLÔNIA, PAU BRASIL |
| | TI-15 | MATA MEDONHA | SANTA CRUZ CABRÁLIA |
| | TI-16 | COROA VERMELHA | PORTO SEGURO, SANTA CRUZ CABRÁLIA |
| | TI-17 | ALDEIA VELHA | PORTO SEGURO |
| | TI-18 | IMBIRIBA | PORTO SEGURO |
| | TI-19 | BARRA VELHA | ITAMARAJU, PORTO SEGURO, PRADO |
| | TI-20 | AGUAS BELAS | PRADO |
| | TUXÁ | RODELAS | |
| | QUIXABA | GLÓRIA | |
| | TUPINAMBÁ DE BELMONTE | BELMONTE | |
| | MATA MEDONHA | SANTA CRUZ CABRÁLIA | |
| | COROA VERMELHA | PORTO SEGURO, SANTA CRUZ CABRÁLIA | |
| | IMBIRIBA | PORTO SEGURO | |
| | CAHY/PEQUI | PRADO | |

FONTE: MMA^[73], ICMBio^[66], INEMA



UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, TERRAS INDÍGENAS, ASSENTAMENTOS E QUILOMBOS

MAPA 3.1 »

Base Cartográfica: MMA⁽⁷⁵⁾, ICMBio⁽⁶⁶⁾, INEMA.

Categorias:

- Unidades de Proteção Integral federais
- Unidades de Proteção Integral estaduais
- Unidades de Uso Sustentável federais
- Unidades de Uso Sustentável estaduais
- Terras Indígenas
- Assentamentos agrícolas
- Quilombos
- Área de interesse para a criação de Unidades de Conservação na região do Boqueirão da Onça*

*EM ESTUDO NA COORDENAÇÃO DE CRIAÇÃO UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DO ICMBio.

Biomias:

- Cerrado
- Caatinga
- Mata Atlântica
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Cidades com mais de 40 mil habitantes



SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



CIMATEC



TECNOLOGIA

- 4.1 Histórico
- 4.2 Tecnologias no Brasil e Bahia
- 4.3 Prospecção do Recurso Eólico

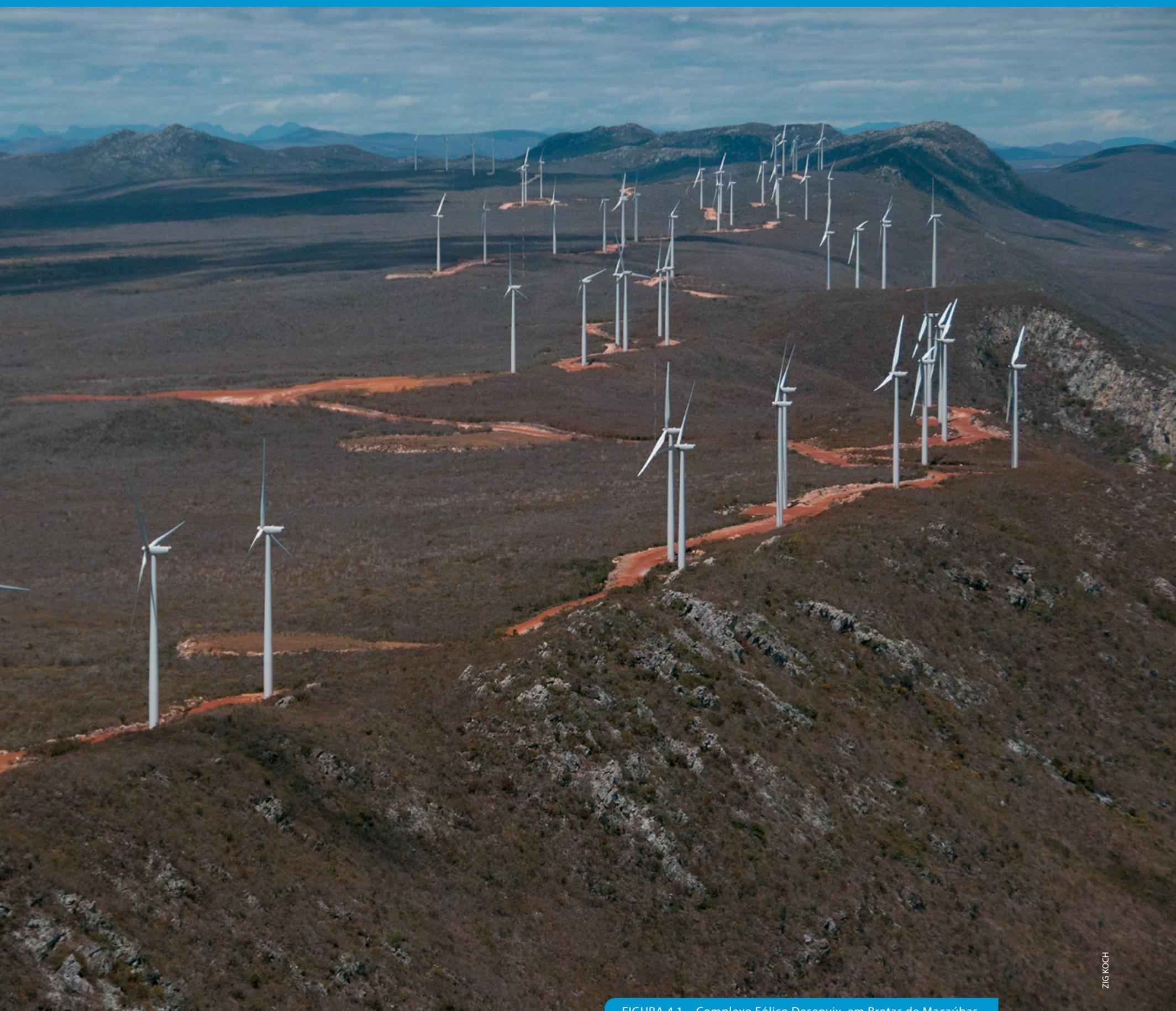


FIGURA 4.1 Complexo Eólico Desenvix, em Brotas de Macaúbas.

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^[102]. Eram de máquinas de eixo vertical usadas para a moagem de grãos, que utilizavam a força de arrasto para mover velas parcialmente protegidas por paredes, como exemplificado na Figura 4.3. O vento dessa região, famoso pela sua intensidade (podia chegar a 45 m/s) e por sua constância, pois soprava por quatro meses entre a primavera e o verão, fornecia condições naturais para o aproveitamento da energia eólica pelos povos antigos^[102].

Outros registros de moinhos de vento similares criados no Oriente vêm da China, por volta do início do século XIII. Não há explicação por que esse tipo de moinho (com eixo vertical e propulsão por arrasto) não tenha se espalhado pela Europa Ocidental durante a Idade Média. Ao invés disso, no noroeste do continente europeu (Alemanha, França, Inglaterra e Países Baixos) desenvolveram-se, sem nenhuma aparente relação com os desenvolvimentos antigos da Pérsia, os moinhos de eixo horizontal, mais complexos e eficientes^[102], utilizando a força de sustentação, que é 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 que permitiam o alinhamento com o vento predominante.

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 quanto à posição da longarina (viga de sustentação principal), que passou da metade dos perfis para próximo ao bordo de ataque – ponto em que a carga aerodinâmica é mais reduzida – e também quanto ao desempenho, com o emprego da torção da pá, ou seja, a variação do ângulo entre a raiz e a ponta. Mecanismos engenhosos semelhantes a venezianas 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 produz trabalho e por meio de um mecanismo de engrenagens gira 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.

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. Um notável exemplo da escala de utilização desses cataventos é apresentado na Tabela 4.1, transcrita do *U.S. Statistical Abstract* de 1919, reportando à evolução na geração de empregos e faturamento da indústria de cataventos multipás nos EUA ao longo de 40 anos.

INDÚSTRIA DE CATAVENTOS NOS EUA^[42]

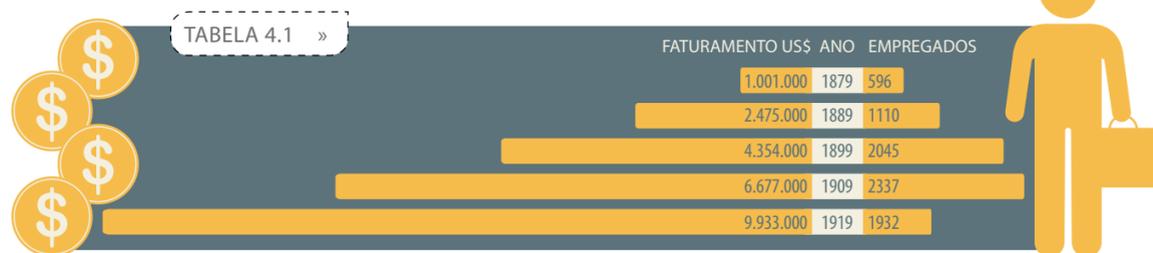


FIGURA 4.2 Usina Eólica Guirapá.



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. Na Dinamarca, o professor Poul la Cour adaptou moinhos de 4 pás para geração de corrente contínua em Askov^[102].

A partir da década de 1930, nos Estados Unidos, iniciou-se uma 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 também 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 eolielétricos com geração de eletricidade em grande escala, alimentando de forma complementar o sistema elétrico através do emprego de turbinas eólicas de grande porte, foram realizados durante as décadas de 1940-1950, também nos Estados Unidos (Figura 4.3) e Dinamarca (Gedser). Pode-se dizer que o precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha, com Ulrich Hütter em 1955^[58], já com pás fabricadas com materiais compostos e com controle de passo e torre tubular esbelta.

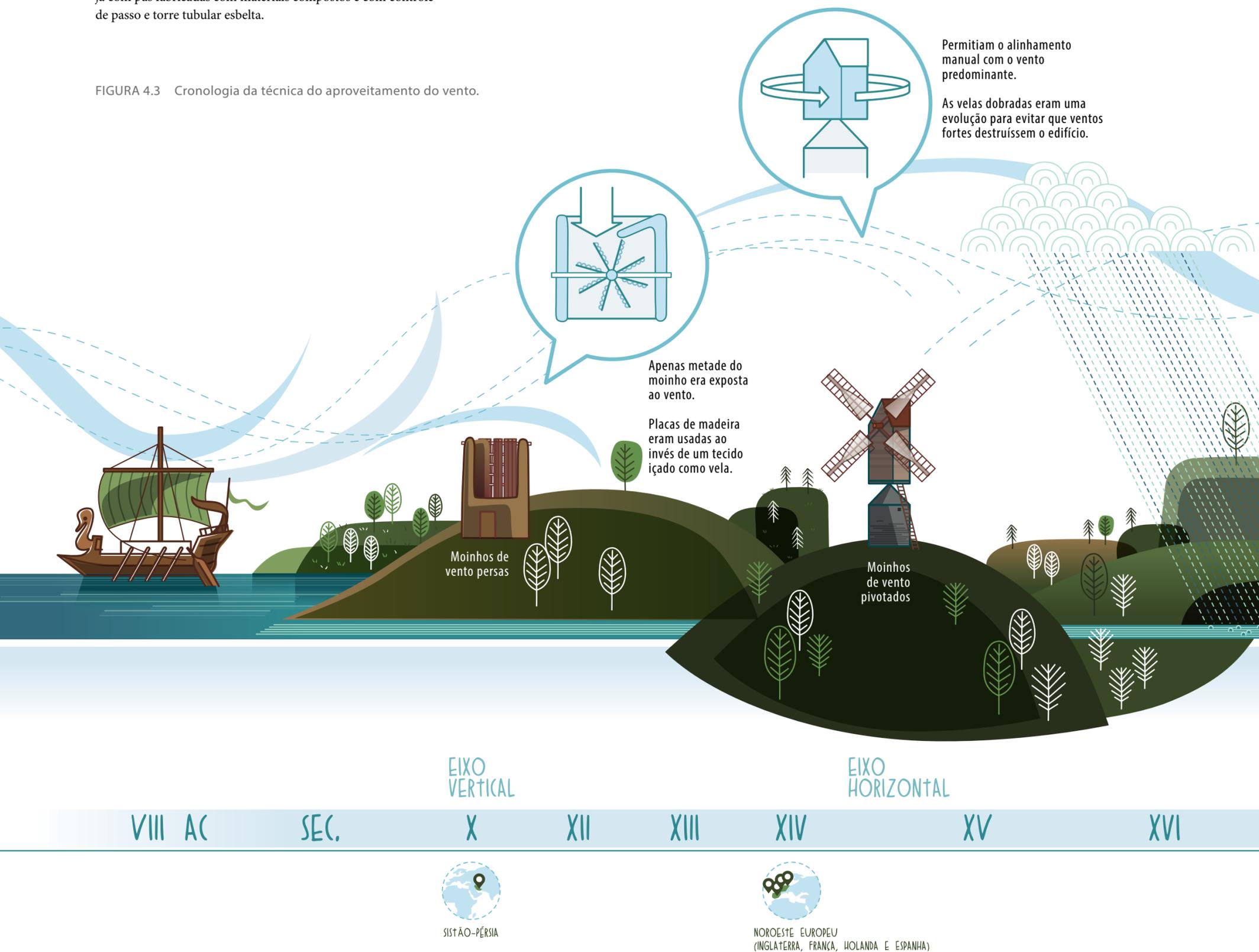
Desde a década de 1970 até meados da década de 1980, após a primeira grande crise de preços do petróleo, diversos países – incluindo o Brasil – dispenderam esforços na pesquisa da energia eólica para a geração elétrica. É dessa época a turbina DEBRA 100kW (Deutsche-Brasileira), desenvolvida em conjunto pelos Institutos de Pesquisa Aeroespacial do Brasil (CTA) e da Alemanha (DLR).

Experiências de estímulo ao mercado, realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), permitiram que o aproveitamento eolielétrico 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) devido à modularidade, o investimento em geração elétrica passou a ser acessível a uma nova e ampla gama de investidores; (b) devido à produção em escalas industriais crescentes, ao aumento da capacidade unitária das turbinas e às

novas técnicas construtivas, houve reduções graduais e significativas no custo por quilowatt instalado e, conseqüentemente, no custo de geração. O principal problema ambiental inicial – colisão de pássaros nas pás – praticamente desapareceu com as turbinas de grande porte, graças às menores velocidades angulares dos rotores.

A característica de fonte de energia pouco ofensiva ao meio ambiente^[32] favoreceu, ainda, a geração eólica no âmbito dos estudos de impacto ambiental, que são bem mais simples e rápidos que os requeridos por fontes tradicionais de geração elétrica, conforme discutido no Item 3.1. Este fato, aliado às escalas industriais de produção e montagem de turbinas com custos progressivamente decrescentes, fez da energia do vento a fonte energética com maiores taxas de crescimento em capacidade geradora nos últimos anos, apresentando crescimento médio de 25% ao ano entre 2002 e 2012^[111].

FIGURA 4.3 Cronologia da técnica do aproveitamento do vento.



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^[19], com o objetivo de aumentar a participação no sistema de energia produzida por empreendimentos da fonte eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas^[80]. O programa resultou na contratação de 1100 MW para a fonte eólica, dos quais 79% encontram-se hoje em operação ou em construção.

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 uma contratação de 1.805 MW em todo o país, dos quais o equivalente a 390 MW destinavam-se a projetos na Bahia^[49]. No ano seguinte, o MME promoveu mais dois leilões abertos à fonte eólica: um Leilão de Energia de Reserva e um Leilão de Fontes Alternativas. Nos anos subsequentes, a participação das usinas eólicas em leilões ocorreu por meio de três outros certames promovidos em

2011, um em 2012 e, até o momento desta publicação, um leilão em 2013, totalizando uma contratação equivalente a 8,5 GW, para todos os leilões promovidos entre 2009 e 2013, dos quais 2,2 GW destinam-se a projetos na Bahia.

Este grande fomento à fonte eólica resultou no aumento da competitividade do mercado, com progressiva redução do custo no Brasil. Alguns fatos associados a essa redução foram: (a) o aumento, nos últimos anos, do parque industrial nacional para fabricação de equipamentos; (b) eventos ligados à dinâmica da economia global, favorecendo os preços de importação desses equipamentos.

É notável, no desenvolvimento da energia eólica no Brasil durante esta década, a dinâmica do foco de interesse dos inves-

tidores. 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^[7]), foram fundamentais para orientar os investidores, contribuindo para esse crescimento.

A torção nas pás resultou em maior eficiência aerodinâmica.

O *fantail* alinhava automaticamente o moinho com o vento predominante.

Exemplo do primeiro catavento multipás patenteado.

Tornou-se um sucesso na colonização do semiárido oeste americano, fazendo o bombeamento de água.

Após a primeira grande crise de preços do petróleo, entre 1970 e 1980, diversos países dispenderam esforços na pesquisa da energia eólica para a geração elétrica.

É dessa época a turbina DEBRA 100 kW (Deutsche-Brasileira).

Os primeiros aproveitamentos eolielétricos foram realizados durante as décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos.

Turbinas eólicas modernas

XVII

XVIII

XIX

XX

XXI



TODA A EUROPA



PAÍSES BAIXOS E DINAMARCA



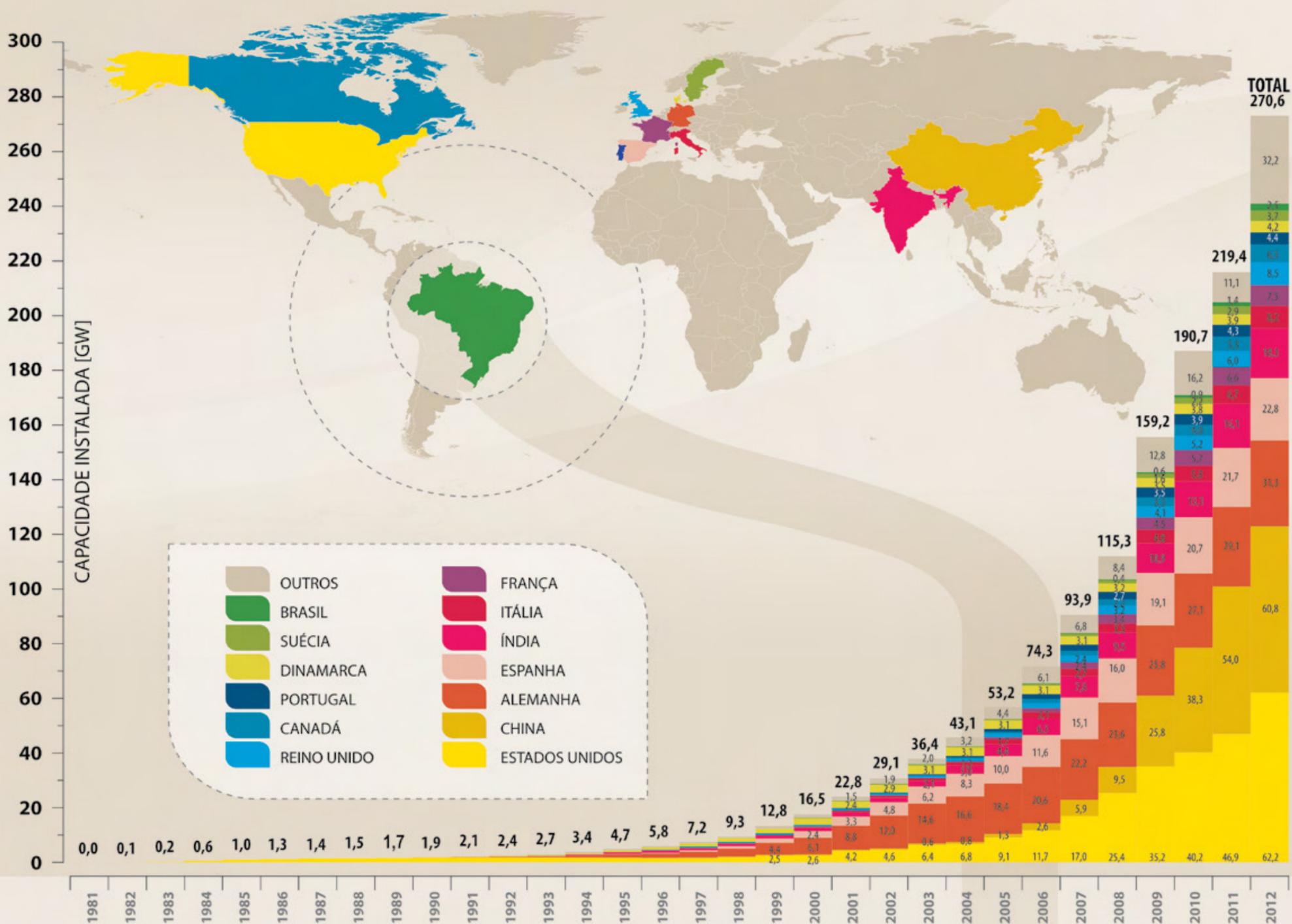
ESTADOS UNIDOS E EUROPA



GLOBAL

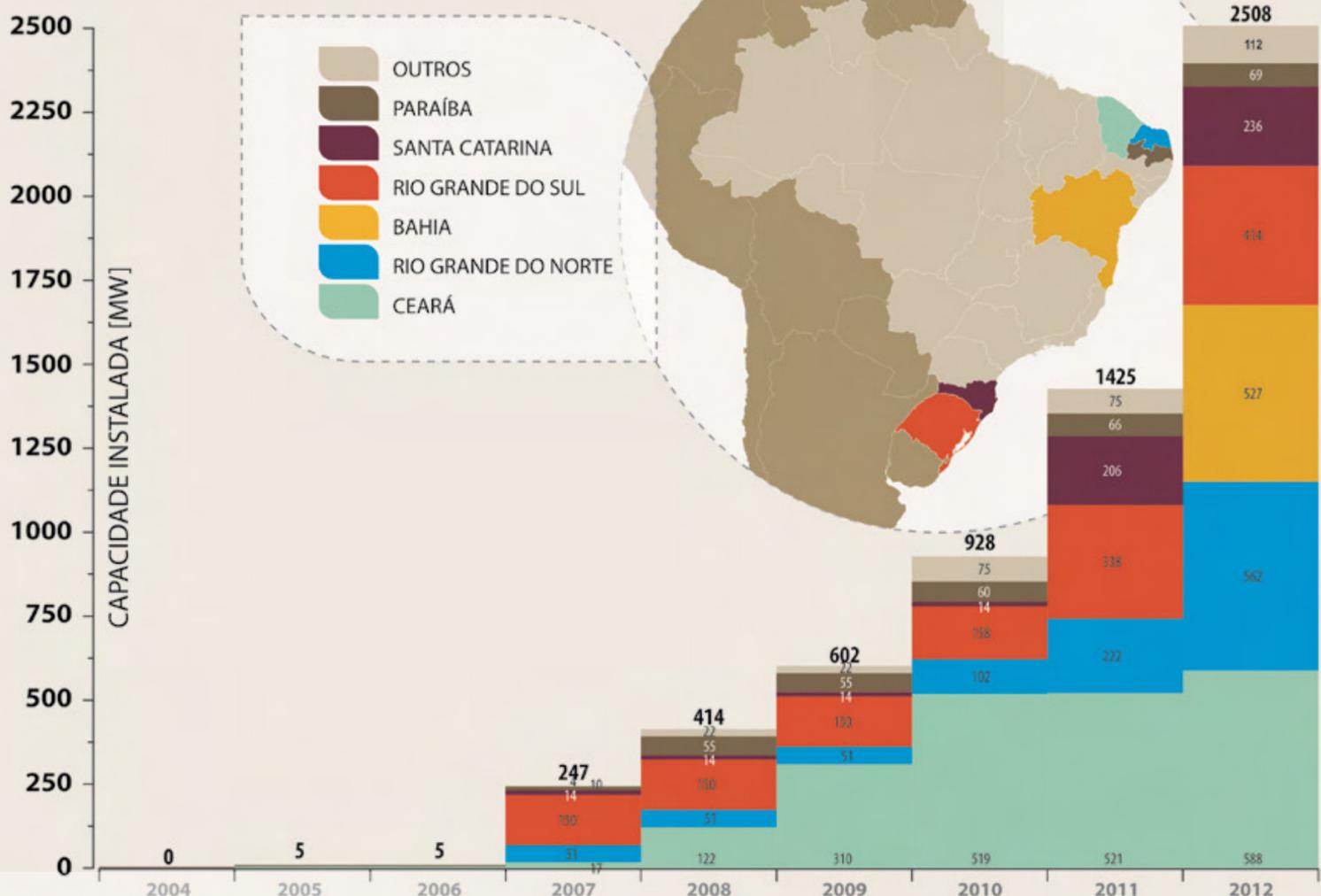
EVOLUÇÃO MUNDIAL DA CAPACIDADE EÓLICA INSTALADA

FIGURA 4.4 »



FONTE: WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE⁽¹¹¹⁾ E BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL⁽¹²⁾

EVOLUÇÃO BRASILEIRA DA CAPACIDADE EÓLICA INSTALADA



4.2 TECNOLOGIAS NO BRASIL E BAHIA

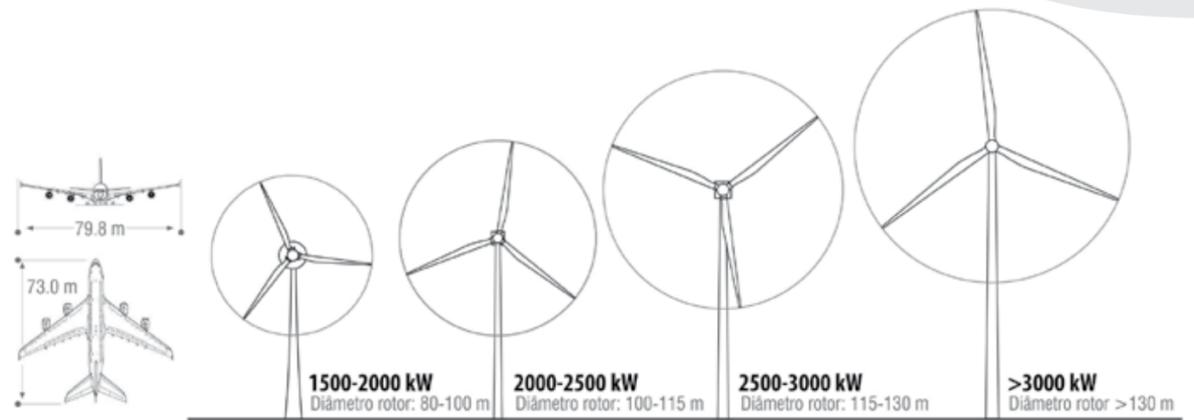


FIGURA 4.5 Dimensões típicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado atual, comparadas às da aeronave Airbus A380.

O acentuado crescimento do mercado mundial de geração eólica de energia elétrica deve-se, em grande parte, ao ciclo de sua efetivação, que envolve escala industrial em todas as principais etapas. 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. Uma das principais tendências é o aumento progressivo nas dimensões e capacidades das turbinas. As turbinas eólicas com potência nominal de até 3000 kW já estão tecnologicamente consolidadas, fato que é verificado pela quantidade de máquinas em operação ao redor do mundo. Na Figura 4.5, 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^[82] indicam uma tendência ao aumento da área de rotor (comprimento das pás) em relação à potência, com resultados favoráveis na viabilização econômica de projetos.

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 nacela. A localização e características dos principais componentes e sistemas encontrados na nacela, ilustrados na Figura 4.6, podem variar significativamente entre os diversos modelos de turbinas. A nacela 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.

A sequência de execução da obra de um parque eólico é ilustrada pela Figura 4.8. 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 isto se segue 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 alcançar 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.

Os rotores das turbinas eólicas são fabricados de materiais compostos, com tecnologia e requisitos de peso, rigidez e aerodinâmica típicos de estruturas aeronáuticas. O progressivo aumento nos diâmetros das turbinas traz aumentos generalizados no peso das máquinas. Uma estimativa da massa de cada pá em função de seu comprimento pode ser dada por^[51]:

$$massa (1 \text{ pá}) = 0,4948 R^{2,53}$$

Sendo assim, uma pá de uma turbina de 100 m de diâmetro pesaria 9,8 t, enquanto uma turbina de 120 m suportaria pás com 15,6 t. Com o contínuo aumento dos diâmetros, cresce também o peso de toda a nacela e, conseqüentemente, da torre. Em termos de produção de energia, esse incremento no diâmetro do rotor acrescenta aproximadamente 40% à produção de energia. Outro benefício é o aspecto social: o crescimento dos aerogeradores somado ao crescimento do próprio mercado resulta no aumento do consumo de materiais processados e de matéria-prima e, em última instância, na geração de empregos em todo o ciclo produtivo.

Como detentora de uma das maiores jazidas de vento do país, conforme este Atlas destina-se a documentar, a Bahia tem atraído indústrias de equipamentos que buscam, entre outras coisas, vantagens logísticas. Dentro da lista dessas indústrias, já se encontram em atividade as fábricas de aerogeradores Alstom e Gamesa, ambas inauguradas em 2011, além da fábrica de torres Torrebras. Estão também em fase de implantação duas instalações para produção de pás e acessórios, Tecsis e Acciona, em Camaçari.

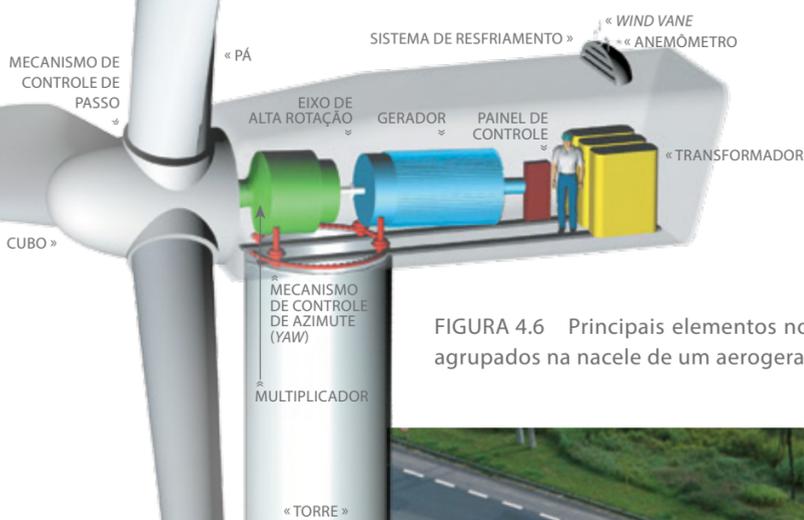


FIGURA 4.6 Principais elementos normalmente agrupados na nacela de um aerogerador.



FIGURA 4.7 Transporte de pás de rotor eólico de diâmetro superior a 100 m.

FIGURA 4.8 Montagem de um aerogerador em campo.



1

Fundação.

2

Agrupamento dos componentes.

3

Agrupamento de nacelle e cubo.

4.3 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 no escoamento para as regiões de topografia complexa.

Para se obterem essas 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, duas ou diversas alturas.

Os instrumentos que medem a velocidade do vento são chamados anemômetros. O anemômetro de copo, tipo até hoje considerado o mais adequado para campanhas de medição eólica com vistas à produção de energia^[93], foi inventado por volta de 1846 por Thomas Romney Robinson, diretor do observatório astronômico de Armagh, Irlanda^[30]. O anemômetro de Robinson possuía quatro copos, e foi posteriormente aperfeiçoado por John Patterson^[71], que demonstrou, entre outras coisas, que o anemômetro de três copos respondia mais rapidamente às mudanças do vento e que teria, portanto, uma calibração mais precisa^[71].

Recentemente, diversas outras tecnologias para medição da velocidade do vento vêm sendo colocadas em prática. Dentre esses novos avanços, destaca-se o emprego dos anemômetros sônicos, dos SODARs – *SOund Detection And Ranging* – e dos LIDARs – *LIght Detection And Ranging*. Os anemômetros sôni-

cos, 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 na 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 *wind vanes*, 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.

Todas 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 lidos 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).

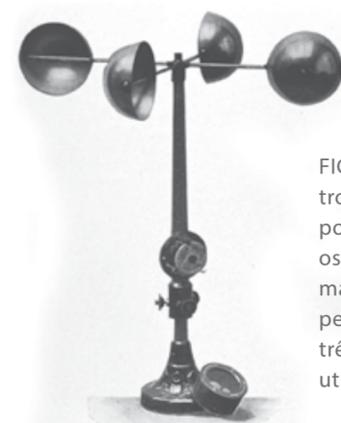


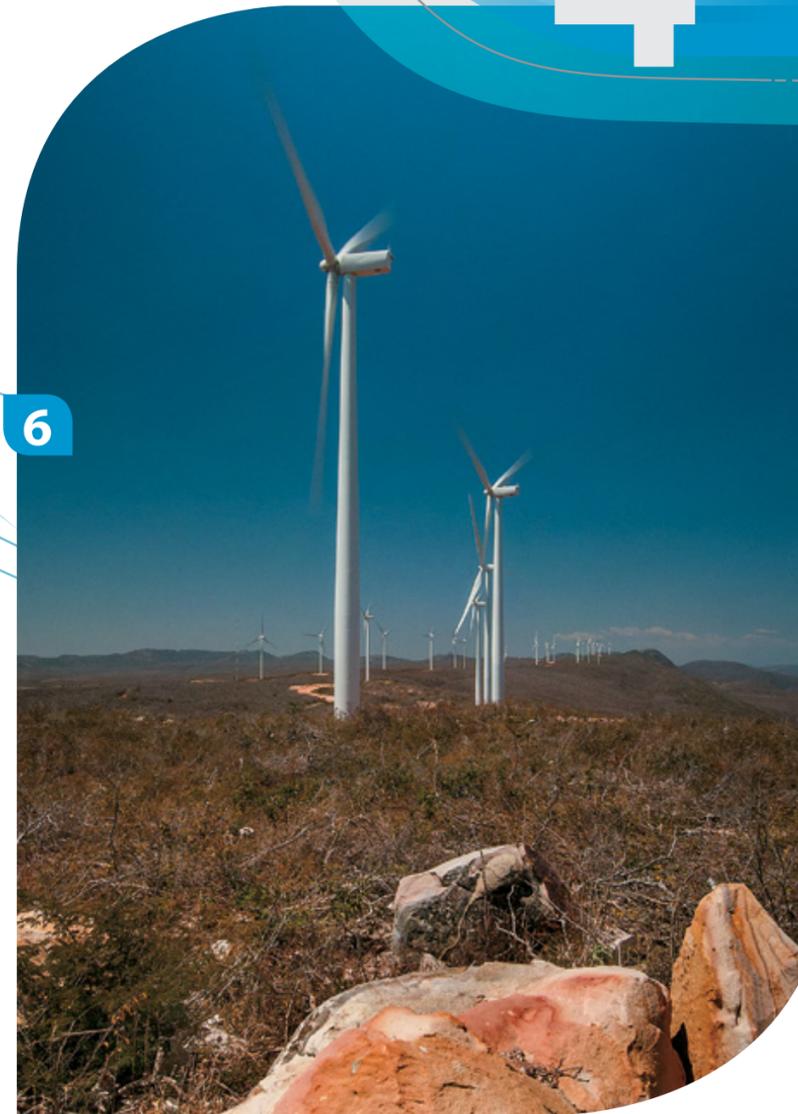
FIGURA 4.9 Anemômetro de copo inventado por Thomas R. Robinson; os quatro copos foram mais tarde substituídos pelos anemômetros com três copos atualmente utilizados na indústria.

FONTE: THE AIMS AND METHODS OF METEOROLOGICAL WORK^[1]



Montagem da torre.

Montagem da nacelle no topo da torre.



Aerogeradores montados, já em operação.



FIGURA 4.10 Equipamento LIDAR instalado sobre trailer de transporte em operação.

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, por exemplo, pré-investigações em regiões onde se supõe haver potencial eólico antes de se deslocar esforços e investimentos com torres anemométricas.

Alguns equipamentos, como os chamados LIDARs 3D, *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 de caráter experimental – em maior ou menor grau, dependendo do nível da tecnologia. Os resultados, embora promissores e adequados para auxiliar em tomada 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^[72].

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 até de alguns quilômetros – através 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 as radiações que retornam ao aparelho devido à retrodifusão (*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.



FIGURA 4.11 Panorama aéreo da região de medição e modelo digital do terreno com destaque para as medições remotas.

METODOLOGIA

5

- 5.1 O Sistema *MesoMap*
- 5.2 Modelos de Terreno
- 5.3 Medições Anemométricas
- 5.4 Incertezas da Velocidade do Vento



FIGURA 5.1 Torres anemométricas na Serra do Tombador, em Jacobina.

5.1 O SISTEMA MESOMAP

O Mapeamento do Potencial Eólico do Estado da Bahia foi realizado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (AWS Truepower LLC), balizado por medições anemométricas registradas em 156 torres de propriedade de empreendedores com projetos em desenvolvimento ou em construção no território do Estado, e que autorizaram o uso de seus dados para este trabalho. As simulações de mesoescala foram executadas primeiramente

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^[7].

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. Uma 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^[83], ou *WindMap* - NOABL)^{[81][95]} 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* recreia as condições reais climáticas de 366 dias escolhidos ale-

na resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, com posterior interpolação para a resolução final de 200 m x 200 m. Na interpolação final, utilizou-se o modelo de relevo da base topográfica *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (NASA/CGIAR) e os modelos de rugosidade elaborados por meio de metodologia aperfeiçoada durante o escopo do projeto, que permitiu a consideração da influência da variação fenológica da vegetação.

atorialmente 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 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^[26], 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 B.

A Figura 5.2 é uma representação sucinta do processo completo.

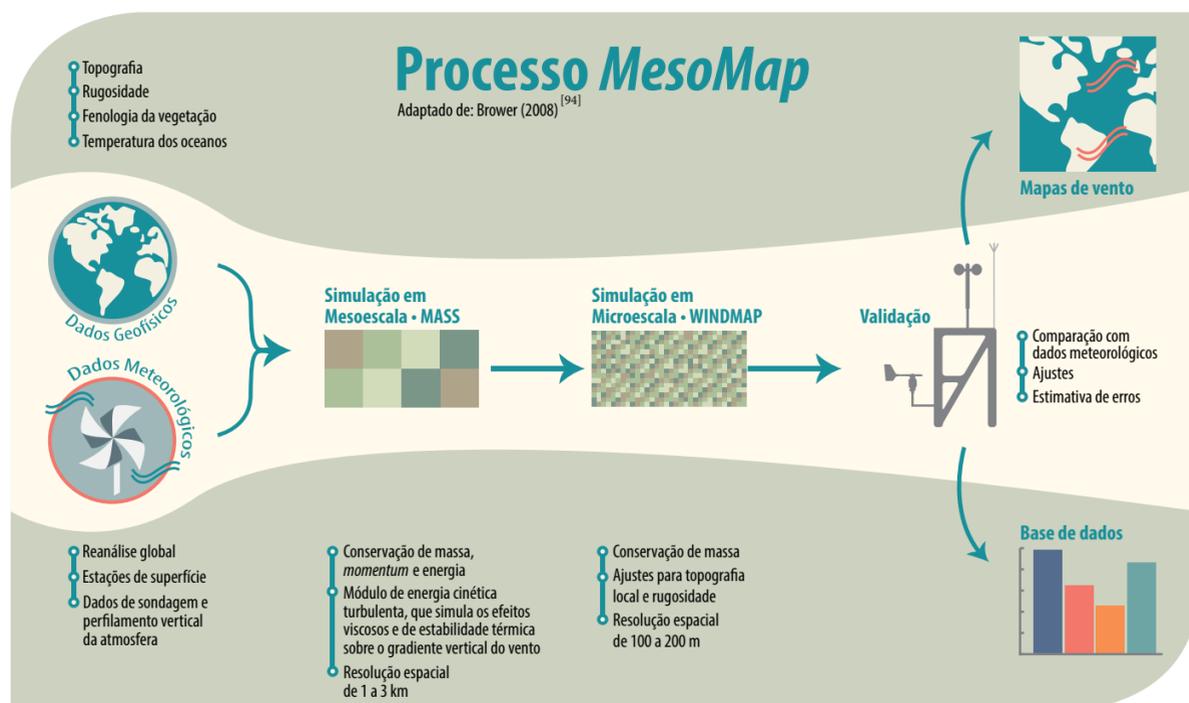


FIGURA 5.2 Representação esquemática do processo *MesoMap*.

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 através do 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 Bahia 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 Bahia foi subdividido em cinco grandes áreas, enquanto para as simulações *WindMap*, em resolução de 200 m x 200 m, foram necessárias 38 subdivisões. Além disso, para caracterizar com melhor precisão as estatísticas de potencial eólico, as simulações *MASS* e *WindMap* foram separadas em cinco casos característicos (anual, período seco, período úmido, dia e noite), para cada um dos quais foram aplicados parâmetros de estabilidade térmica vertical da atmosfera estimados com base nas estatísticas das medições

anemométricas conhecidas. Além disso, as simulações dos casos *período seco* e *período úmido* foram realizadas com modelos de rugosidade distintos.

Considerando todas as 38 subdivisões e os cinco casos característicos, foram necessárias aproximadamente 3 mil horas de processamento apenas para as simulações *WindMap*. O trabalho também envolveu a otimização desse processo, com o desenvolvimento de rotinas e ferramentas de automatização das etapas intermediárias, tais como a manipulação de mapas com grande volume de dados, a compilação final dos dados ou o controle remoto dos *softwares*.

No Capítulo 6 são apresentados os mapas eólicos já ajustados pelas medições anemométricas, inclusive os mapas que consideram os dados desmembrados nos casos característicos dia, noite, seco e úmido. Esses mapas foram utilizados complementarmente nos cálculos de integração do potencial eólico do Estado (Capítulo 7), tanto com o intuito de revalidar a metodologia como de proporcionar informações adicionais relevantes, uma vez que um melhor conhecimento da intensidade do vento nessas diferentes situações é de interesse para o setor elétrico.

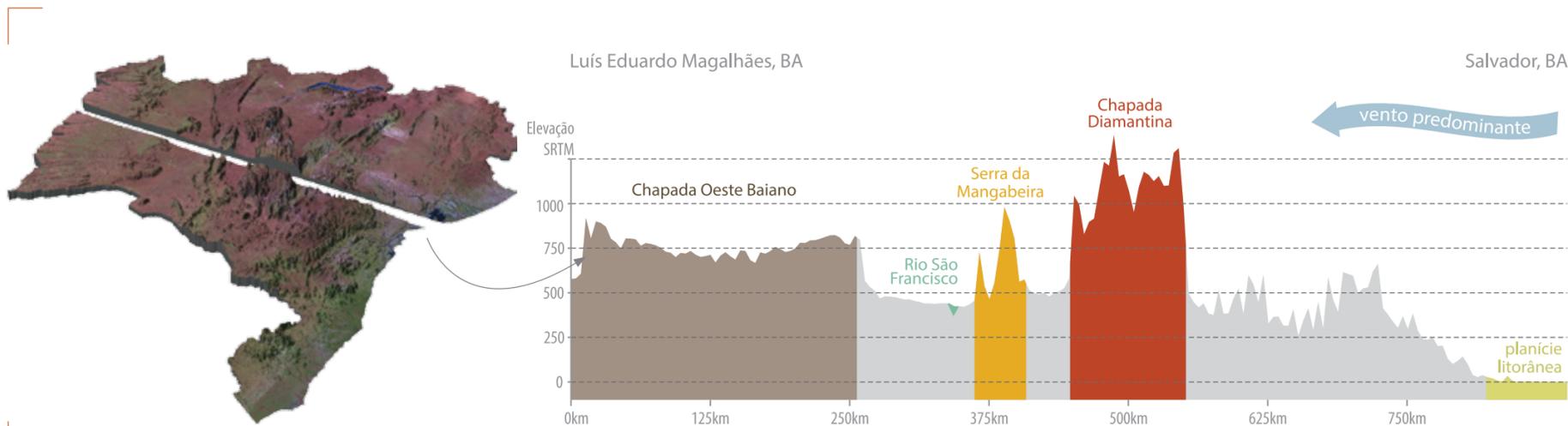


FIGURA 5.3 Perfil da elevação na direção oeste para leste, extraído do modelo de terreno do SRTM.

5.2 MODELOS DE TERRENO

5.2.1 MODELO DIGITAL DE RELEVO

O Modelo Digital de Relevo do Estado da Bahia foi elaborado a partir de dados coletados pela missão SRTM. Essa missão, executada em fevereiro de 2000 pela 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 de um ônibus espacial – o *Endeavour*. O posterior processamento dos dados coletados nas bandas X e C⁽⁴¹⁾ 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 confiável 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, a extrapolação da densidade do ar e a avaliação da adequabilidade dos sítios eólicos quanto à complexidade do relevo (Item 7.1). 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 de oeste para leste da elevação, ao longo de todo Estado da Bahia na direção do vento predominante, permitindo a visualização dos principais elementos do relevo.

O modelo digital de relevo do Estado da Bahia é apresentado no Mapa 5.2

5.2.2 MODELO DE RUGOSIDADE

A rugosidade aerodinâmica, ou comprimento de rugosidade aerodinâmica z_0 , é a parametrização das características do uso e cobertura da terra na 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⁽⁷⁴⁾. A estimativa correta dos valores de rugosidade aerodinâmica é importante nos projetos de engenharia eólica, tendo em vista ser relevante para os mesmos a modelagem do vento em alturas de até 100 m. Além da engenharia eólica, os métodos para o cálculo dos valores de z_0 podem interessar à química da baixa atmosfera, como na área de dispersão de poluentes, à agrometeorologia ou a qualquer outro segmento de 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

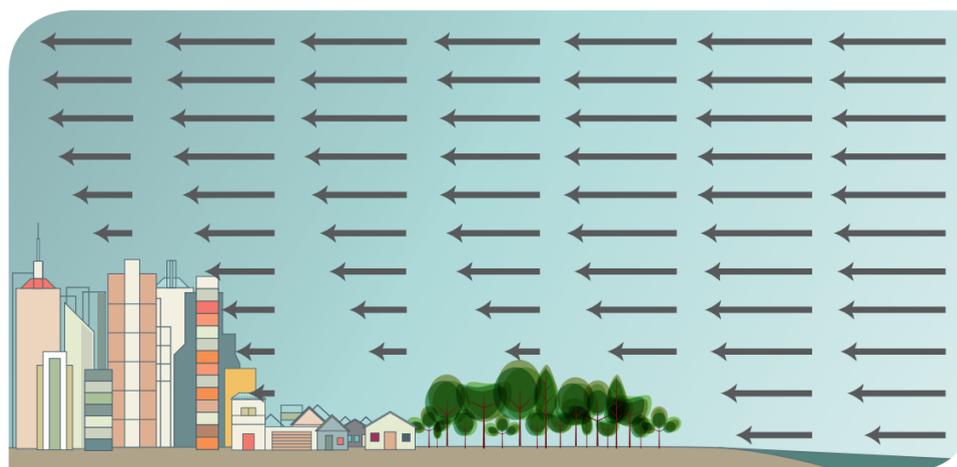


FIGURA 5.4 Gradiente de velocidade do vento em função da altura e tipo de cobertura do solo.

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, conforme é ilustrado na Figura 5.4. 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, sendo, portanto, o perfil de elevação influenciado pela altura da cobertura vegetal e pela sua distribuição espacial. Do ponto de vista prático, isso influencia na velocidade média do vento na altura do rotor das turbinas eólicas e, consequentemente, na quantidade de energia que poderá ser extraída, constituindo, 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 B 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 Bahia. 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.

VALORES TÍPICOS DE RUGOSIDADE ASSOCIADOS A CLASSES DE COBERTURA DO SOLO

TABELA 5.1 »

| Tipo de Cobertura e/ou Uso da Terra | Faixa de Rugosidade z_0 [m] |
|---|-------------------------------|
| Áreas urbanas | 0,4 – 3,0 |
| Florestas | 0,4 – 0,8 |
| Caatinga | 0,1 – 0,4 |
| Cerrado | 0,1 – 0,4 |
| Culturas agrícolas | 0,02 – 0,1 |
| Pastagens | 0,02 – 0,05 |
| Solo exposto | 0,001 – 0,01 |
| Corpos d'água (lagos, oceano) (sem vento de superfície) | 0,0002 – 0,001 |

FIGURA 5.5 a Terreno de rugosidade complexa.



FIGURA 5.5 c Cerrado.



FIGURA 5.5 e Pastagem.



FIGURA 5.5 d Caatinga.



FIGURA 5.5 f Solo exposto preparado para plantio em área agrícola.

FIGURA 5.5 Tipos de uso e cobertura da terra.

FOTOS ZIG KOCH

5.2.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DO MODELO DE RUGOSIDADE

A metodologia para geração do modelo de rugosidade aerodinâmica proposta 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-existent, 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 derivadas do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* – MODIS^[54]. Esse sensor de observação da Terra está a bordo dos satélites *Terra* (NASA EOS AM-1) e *Aqua* (NASA EOS PM-1)^[86] e integra o programa de sistema 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 de vegetação *Enhanced Vegetation Index two band* – EVI2, por exemplo, ressaltam tanto o tipo de vegetação como os períodos em que a vegetação está fotossinteticamente ativa, ou seja, verde.

EXEMPLO DE VARIAÇÃO INTERANUAL DA VEGETAÇÃO EM UMA ÁREA DE CAATINGA

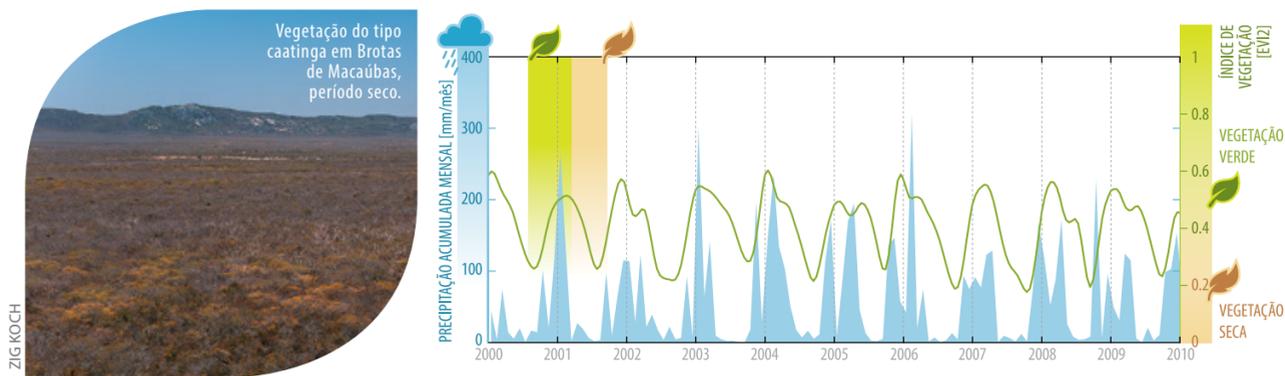


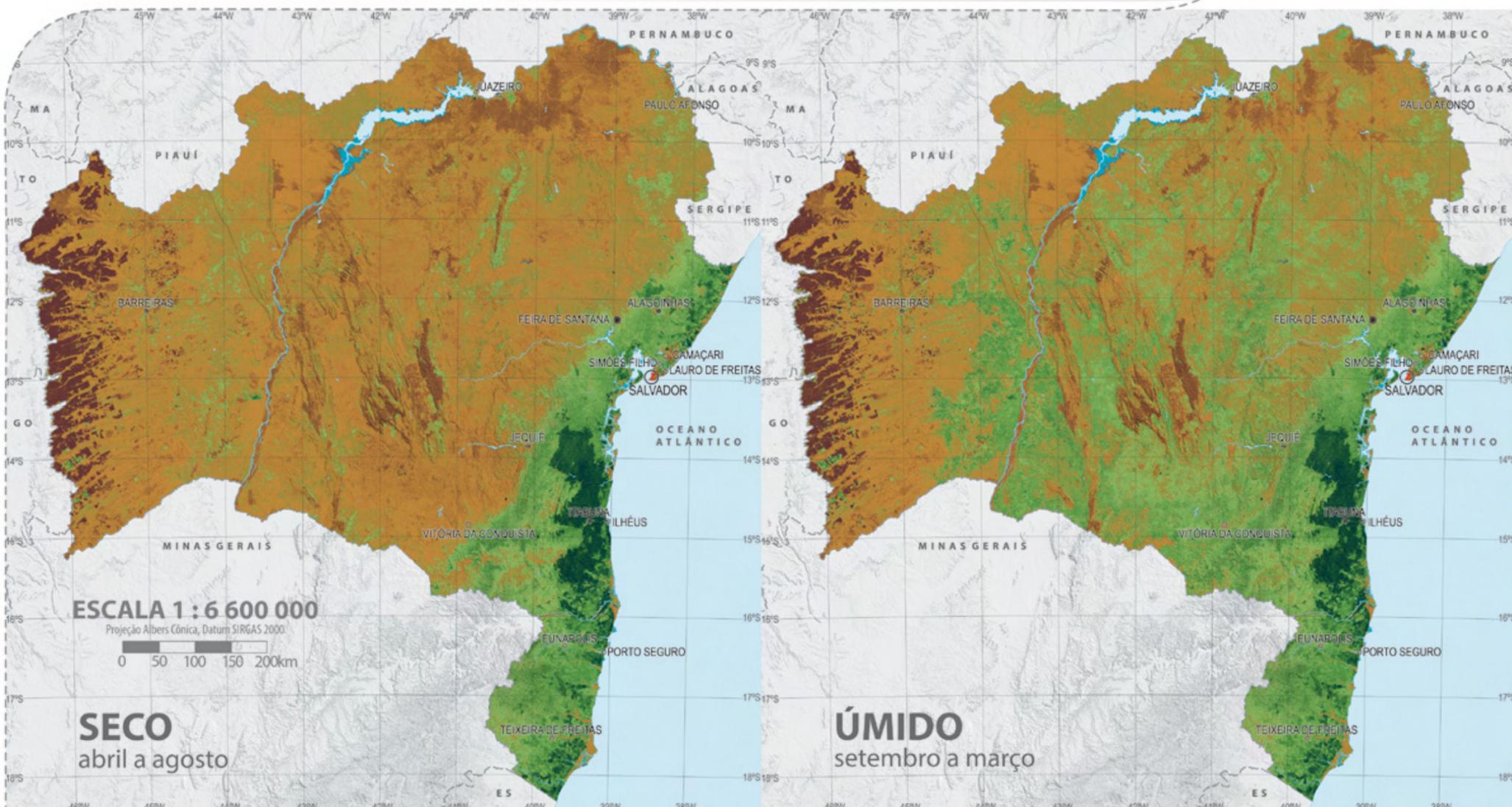
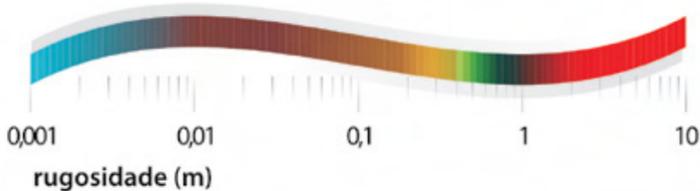
FIGURA 5.6 Variação interanual da precipitação e índice EVI2.

Um exemplo de série temporal de EVI2 para área de caatinga está apresentado na Figura 5.6. O gráfico de área representa a precipitação acumulada mensal, em que é possível definir os períodos secos e úmidos. No gráfico de índice de vegetação, é possível identificar os períodos fenológicos da vegetação, em resumo, quando existem folhas verdes ou quando a vegetação está seca. 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 uma imagem sintética representando a variabilidade espacial da cobertura vegetal, mostrada no Mapa 5.3. As diferentes cores representam os diversos padrões da cobertura vegetal do Estado. A partir do mapa de tipo de vegetação disponibilizado pelo INEMA^[67] e utilizando amostras de campo com fotografias aéreas e terrestres, elaborou-se um mapa de rugosidade anual (Mapa 5.4) associando os valores com base na tabela de referência.

Os valores médios de índices de vegetação de período seco e úmido foram ainda utilizados para ponderação do modelo de rugosidade nos locais em que a vegetação varia entre seca ou verde (fotossinteticamente ativa), resultando na elaboração de mais dois mapas de rugosidade: período seco e período úmido (Mapa 5.1). A comparação entre os dois modelos ressalta que a sazonalidade da vegetação é mais evidente nas coberturas da vegetação tipo cerrado, caatinga e transição caatinga-cerrado; nessas áreas, há um incremento de rugosidade no período úmido, ocasionado pelo aumento da biomassa. Conforme descrito no Item 5.1.1, durante o processo de mapeamento do potencial eólico do Estado da Bahia foram separados os dados dos períodos seco e úmido, permitindo que as simulações fossem executadas para cada caso característico com os respectivos mapas de rugosidade.

MODELOS DE RUGOSIDADE SAZONAIS

MAPA 5.1 »





ESCALA 1 : 3 300 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

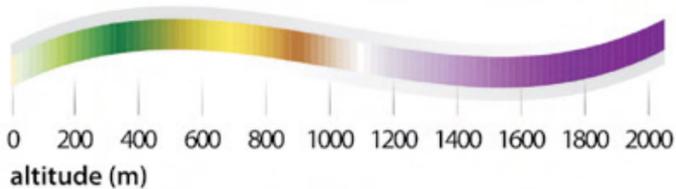
0 25 50 75 100 125 150km

MODELO DIGITAL DE RELEVO

MAPA 5.2 »

- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Cidades com mais de 40 mil habitantes

Elaborado a partir da base topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), versão 4.1 - NASA/USGS⁽⁴¹⁾.





ESCALA 1 : 3 300 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 25 50 75 100 125 150km



IMAGEM SINTÉTICA MODIS

MAPA 5.3 »

-  **Corpos de água**
-  **Rios**
-  **Divisas estaduais**
-  **Estradas pavimentadas**
-  **Estradas não pavimentadas**
-  **Ferrovias**
-  **Cidades com mais de 40 mil habitantes**

Elaborado a partir de imagens EVI2 do sensor MODIS⁽⁵⁴⁾ para ressaltar a variabilidade espacial do uso e cobertura do solo.



SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



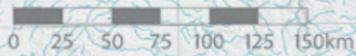
CIMATEC





ESCALA 1 : 3 300 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

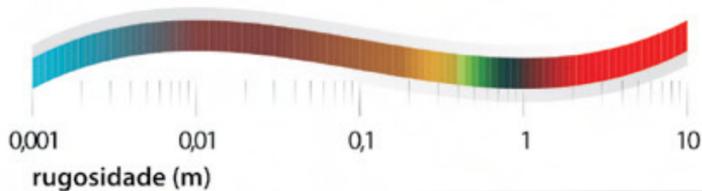


MODELO DE RUGOSIDADE

MAPA 5.4 »

- Corpos de água**
- Rios**
- Divisas estaduais**
- Estradas pavimentadas**
- Estradas não pavimentadas**
- Ferrovias**
- Cidades com mais de 40 mil habitantes**

Elaborado em resolução espacial de 250 m x 250 m, a partir de imagens MODIS EVI2, mapa de vegetação⁶⁷ e amostragens de campo.



5.3 MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS

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.

Para as análises do mapeamento eólico da Bahia, foi utilizada uma base de 156 torres anemométricas, das quais 5% possuíam alturas de até 60 m, 28% possuíam alturas entre 61 e 89 m, 59% entre 90 e 119 m e 8% possuíam alturas de 120 m ou mais. O uso desses dados foi autorizado por 14 empreendedores do setor público e privado, como informado na página de agradecimentos no início deste trabalho. A distribuição espacial das torres utilizadas, assim como as respectivas alturas aproximadas, estão indicadas no Mapa 5.5. Por solicitação de alguns empreendedores, a localização de algumas torres não é apresentada neste mapa. Conforme se observa no Gráfico 5.1, mais de 80% das torres possuíam um período de medição superior a um ciclo climatológico completo de doze meses.

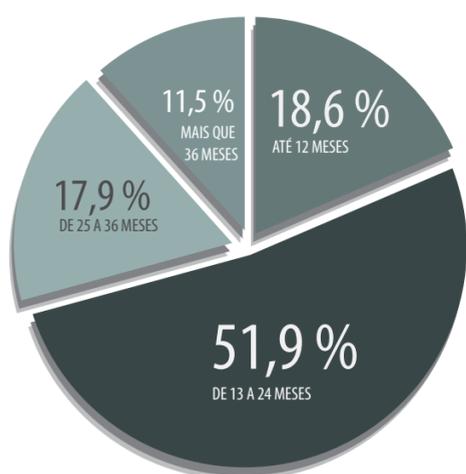


GRÁFICO 5.1 Torres anemométricas utilizadas para o mapeamento eólico da Bahia, agrupadas por tempo de medição.

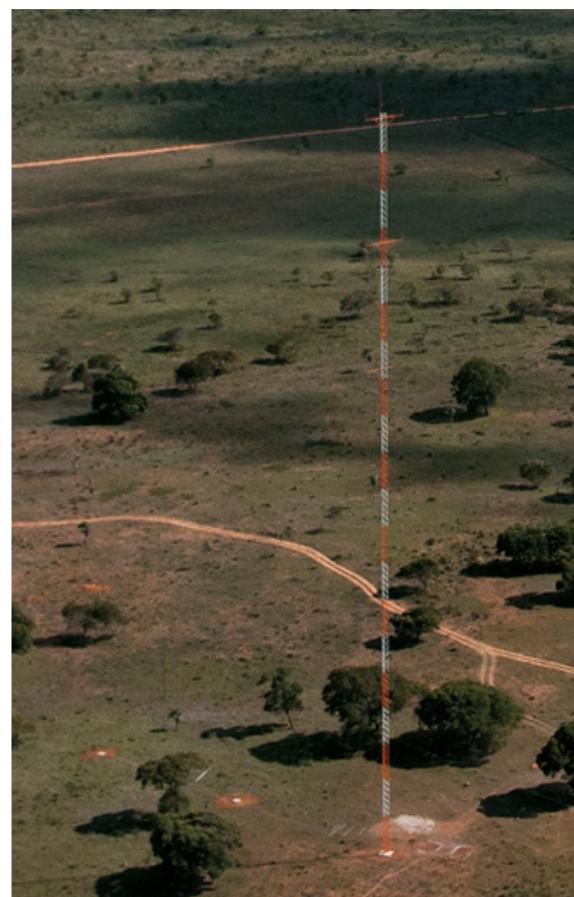
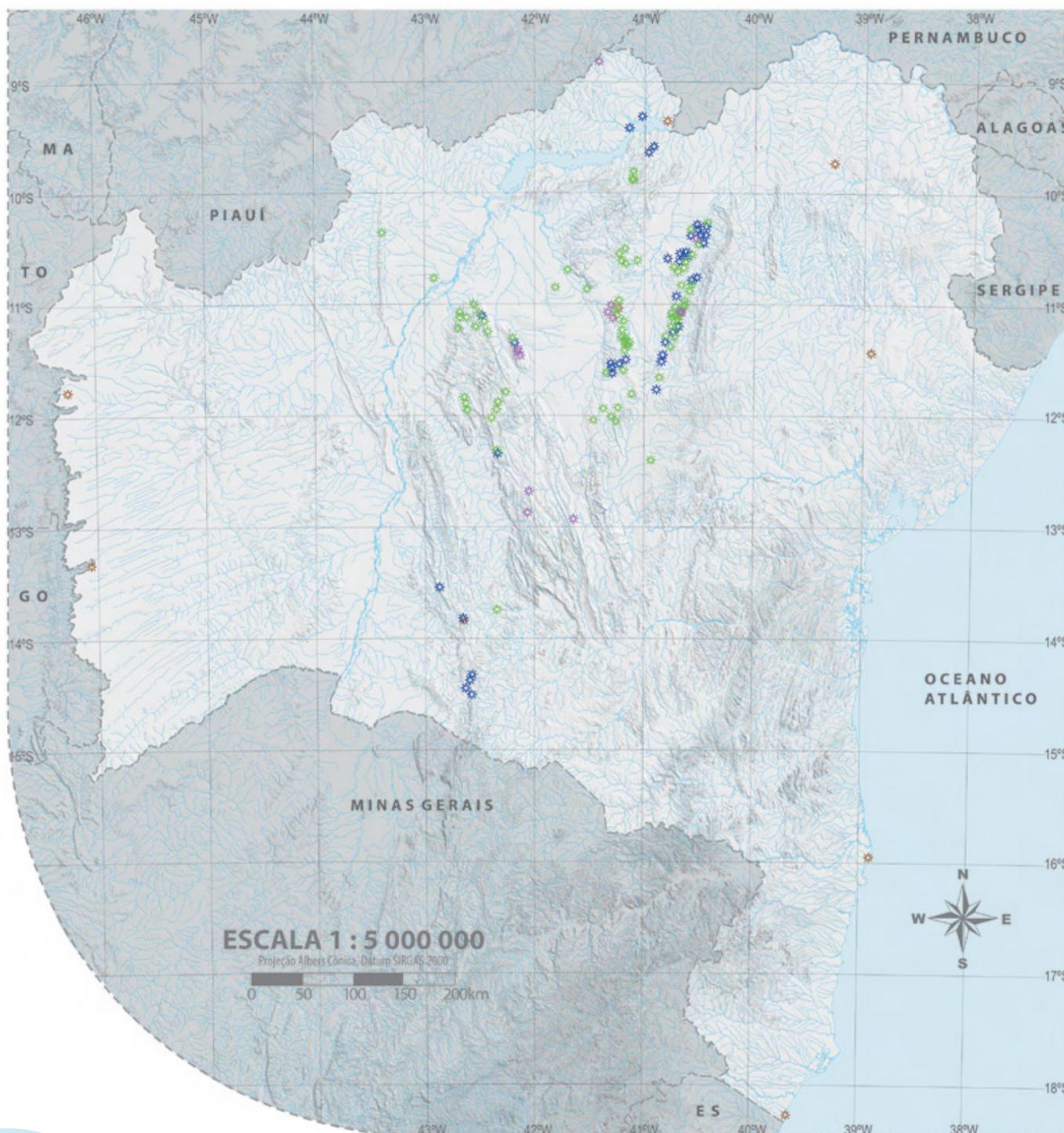


FIGURA 5.7 Torre anemométrica de 120 m de altura.



MAPA 5.5 Distribuição espacial das torres anemométricas utilizadas para o mapeamento do potencial eólico da Bahia

5.3.1 METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO

A diversidade de formatos e o volume de dados que constitui a base anemométrica para o mapeamento do Estado da Bahia requereu a elaboração e aperfeiçoamento de *software* para otimização dos processos de validação, filtragem e correção dos dados.

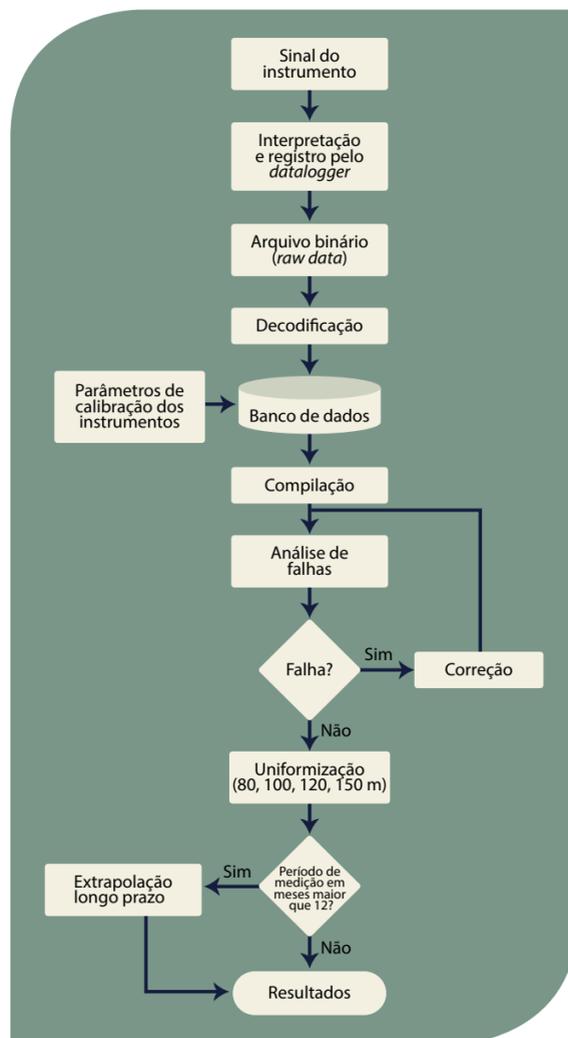
Os dados das estações meteorológicas são heterogêneos, provindos de estações equipadas com variados modelos e marcas de instrumentos instalados em alturas diversas. Os dados fundamentais são a velocidade do vento, medida pelo anemômetro e a indicação da direção, registrada pela *wind vane*. Essas variáveis físicas são traduzidas por esses equipamentos em sinais elétricos que são posteriormente interpretados e armazenados por *dataloggers* (Seção 4.3.1). Nos *dataloggers*, as medidas, normalmente amostradas a cada segundo, são gravadas em médias resultantes de cada dez minutos. O modo como são registrados os dados nos *dataloggers* depende de cada modelo e fabricante, mas, de uma maneira geral, produzem um arquivo em formato binário (*raw data*) por dia. Os arquivos binários são decodificados por *softwares* específicos em arquivos de séries temporais brutas, sem correção pelos parâmetros de calibração dos instrumentos que os geraram (os parâmetros de calibração são valores obtidos em ensaios de túneis de ventos, geralmente em certificadoras especializadas). Os registros gravados pelas *wind vanes*, por outro lado, embora não necessitem de parâmetros de calibração obtidos em túnel de vento para serem interpretados, necessitam de correção por um *offset*, que é um valor determinado pelas condições de instalação.

Esses parâmetros, juntamente com os dados anemométricos e as características físicas das estações anemométricas (coordenadas geográficas, altitude, dimensões e características da torre e altura dos instrumentos) foram compilados em um banco de dados organizado em blocos mensais. 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, que provinham, como dito anteriormente, de diferentes alturas de medição. Por meio dessa uniformização, os dados foram extrapolados para as alturas de 80, 100, 120 e 150 metros, que correspondem às alturas dos mapas eólicos.

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^[97], os valores de velocidade do vento foram correlacionados e ajustados para as torres com mais de 12 meses de medição. As torres com período de medição menor que 12 meses não foram consideradas nessa etapa do processamento.

Algumas das torres com período inferior a 12 meses, entretanto, foram reconsideradas complementarmente para valida-



ção dos mapas eólicos, nos casos em que era possível estabelecer referências com torres próximas, ou em que estavam localizadas em regiões sem torres. Neste último caso, a incerteza climatológica associada foi registrada para posterior consideração nas etapas subsequentes.

O fluxograma ao lado resume a metodologia adotada no processamento e tratamento dos dados para a elaboração do Atlas Eólico da Bahia.

5.3.2 EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO EM RELAÇÃO AO MAPEAMENTO REALIZADO EM 2002

O presente mapeamento representa um grande avanço na tecnologia de prospecção de vento no Estado da Bahia. Essa evolução se deve tanto à qualidade e quantidade dos dados de entrada quanto ao aperfeiçoamento em diversos aspectos da metodologia de processamento e modelamento. Um resumo dessas diferenças é apresentado na Tabela 5.2.

FIGURA 5.8 Fluxograma da metodologia adotada no processamento dos dados das torres anemométricas.

| COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS: ATLAS 2002 X ATLAS 2013 | | | |
|--|--|---|---|
| | nome do estudo e data de publicação | Atlas do Potencial Eólico da Bahia, 2002 | Atlas do Potencial Eólico da Bahia, 2013 |
| campanha anemométrica e análise de dados | altura média das torres | 30 a 40 m | 80 a 120 m |
| | quantidade de torres | 19 | 156 |
| | tipo mais comum de anemômetros | sem calibração | com calibração |
| | climatologia | sem análise climatológica | com análise climatológica, a partir de dados MERRA |
| metodologia de modelamento | base para modelo digital de relevo e resolução | Gtopo 30, 1 km x 1 km | SRTM 4.1, 90 m x 90 m |
| | base para modelo de rugosidade | imagens LandSat 5 | imagens multitemporais MODIS |
| | tipo de simulação | WindMap (conservação de massa) | MesoMap (mesoescala) / WindMap (conservação de massa), com estabilidade térmica validada pelas medições anemométricas |
| método de integração dos mapas eólicos | taxa de ocupação | 2 MW/km ² | taxa de ocupação variável, levando em consideração bases de estradas, rios, Unidades de Conservação, áreas de relevo complexo e validada por projetos reais |
| | curvas de potência | representativas de aerogeradores em uso no início da década de 2000 | representativas de aerogeradores em uso no início da década de 2010 |

TABELA 5.2 Comparação entre metodologias utilizadas para os mapeamentos realizados em 2002 e em 2013.

5.4 INCERTEZAS DA VELOCIDADE DO VENTO

A conversão da velocidade do vento em energia é sensível a variações. Pequenas variações na velocidade do vento resultam em grandes variações na energia gerada. Por essa razão, é importante o conhecimento das incertezas dos resultados do mapeamento apresentado neste Atlas e suas possíveis implicações para o futuro desenvolvimento de projetos. O cálculo das incertezas é um condicionante dos processos de financiamento de empreendimentos eólicos.

Embora o Atlas não se destine à validação de projetos, um mapa de incertezas da velocidade do vento foi elaborado com o propósito de orientar os usuários a respeito da confiabilidade dos mapas. O mapa de incertezas é apresentado no final Capítulo 6.

A metodologia adotada para o cálculo das incertezas foi similar à praticada rotineiramente em projetos pela indústria do setor eólico^[93], admitidas algumas simplificações devido ao grande volume de informações e da extensão da área mapeada.

Para o mapeamento das incertezas, foram combinadas as incertezas devidas à medição do vento, à extrapolação vertical, à extrapolação horizontal e à climatologia. Destas, a incerteza de extrapolação horizontal foi a que teve a maior contribuição, sendo inerente ao modelo de mapeamento. O método desenvolvido para avaliação das incertezas de extrapolação horizontal levou em consideração a densidade regional de torres anemométricas, a complexidade do terreno e a similaridade entre as condições de vento e de topografia.

MAPAS EÓLICOS

- 6.1 Rosas dos Ventos Anuais - Frequências x Direções
- 6.2 Rosas dos Ventos Anuais - Velocidades x Direções
- 6.3 Potencial Eólico Sazonal a 80 m de Altura
- 6.4 Potencial Eólico Anual a 80 m de Altura
- 6.5 Potencial Eólico Sazonal a 100 m de Altura
- 6.5 Potencial Eólico Anual a 100 m de Altura
- 6.7 Potencial Eólico Sazonal a 120 m de Altura
- 6.8 Potencial Eólico Anual a 120 m de Altura
- 6.9 Potencial Eólico Sazonal a 150 m de Altura
- 6.10 Potencial Eólico Anual a 150 m de Altura
- 6.11 Potencial Eólico dos Períodos Diurno e Noturno
- 6.12 Potencial Eólico dos Períodos Seco e Úmido
- 6.13 Densidade Média Anual do Ar
- 6.14 Fator de Forma de Weibull Anual
- 6.15 Potencial Eólico *Offshore*
- 6.16 Incertezas da Velocidade do Vento



FIGURA 6.1 Complexo Eólico Pedra do Reino (frente) e Usina Hidrelétrica de Sobradinho (fundo).

MAPAS EÓLICOS

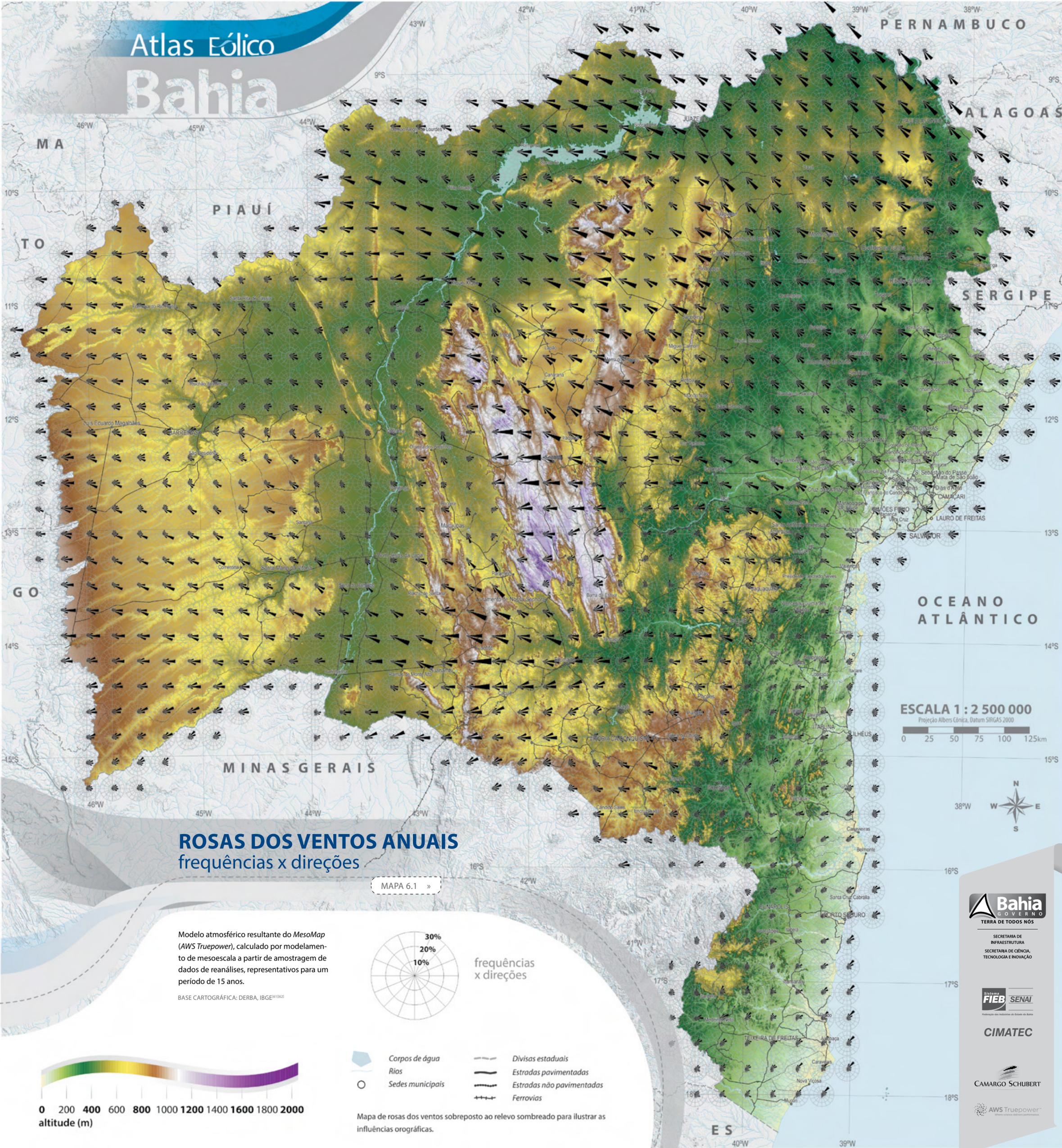


FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 6.2 Leste do município de Sento Sé, nas proximidades da divisa com o município de Sobradinho.



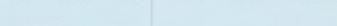
FIGURA 6.3 Região sul do município de Brotas de Macaúbas, nas proximidades da divisa com o município de Ibitiara.



OCEANO ATLÂNTICO

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



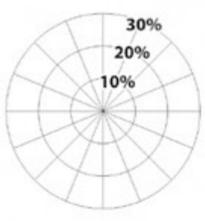
ROSAS DOS VENTOS ANUAIS

frequências x direções

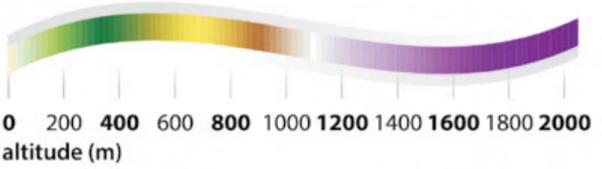
MAPA 6.1 »

Modelo atmosférico resultante do MesoMap (AWS Truepower), calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises, representativos para um período de 15 anos.

BASE CARTOGRÁFICA: DERBA, IBGE(611602)



frequências x direções



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

Mapa de rosas dos ventos sobreposto ao relevo sombreado para ilustrar as influências orográficas.



TERRA DE TODOS NÓS

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



Projeção dos Municípios do Estado da Bahia

CIMATEC



Atlas Eólico Bahia

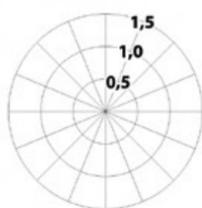
ROSAS DOS VENTOS ANUAIS velocidades normalizadas x direções

MAPA 6.2 »

Modelo atmosférico resultante do *MesoMap* (AWS Truepower), calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises, representativos para um período de 15 anos.

Velocidades normalizadas em relação às médias anuais locais.

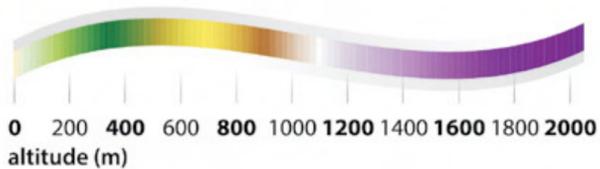
BASE CARTOGRÁFICA: DERBA, IBGE⁽¹⁰⁶²⁾



velocidades normalizadas x direções

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

Mapa de rosas dos ventos sobreposto ao relevo sombreado para ilustrar as influências orográficas.



ESCALA 1 : 2 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

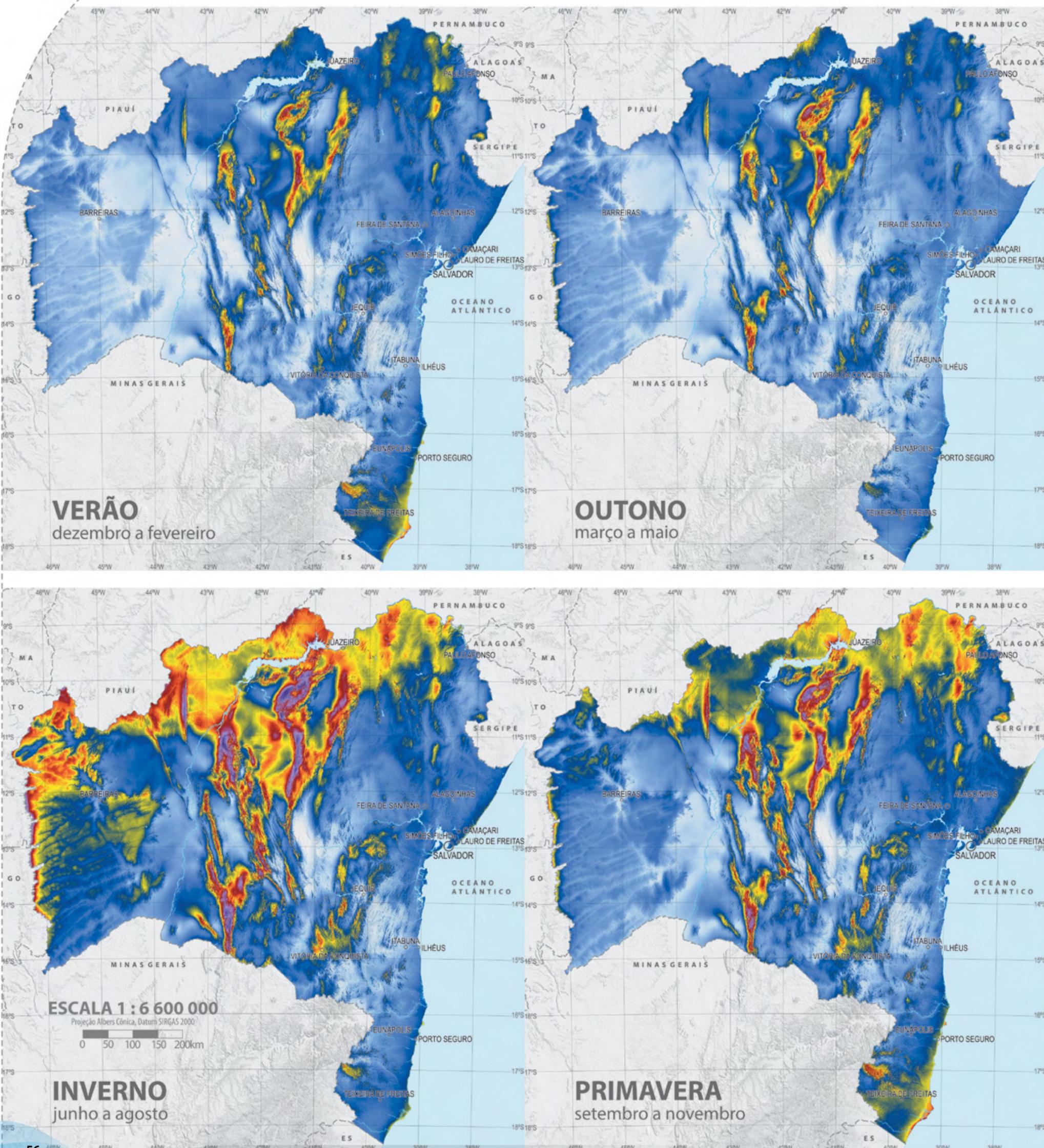


CIMATEC



POTENCIAL EÓLICO SAZONAL a 80 m de altura

MAPA 6.3 »



Atlas Eólico Bahia

POTENCIAL EÓLICO ANUAL a 80 m de altura

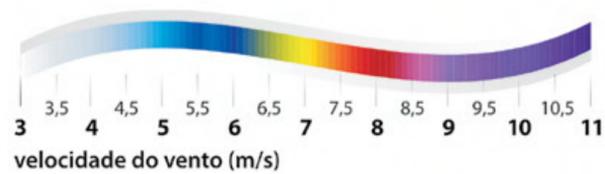
MAPA 6.4 »

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 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica WindMap.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE⁽¹⁾⁽²⁾, ANEEL⁽³⁾, ONS⁽⁴⁾, BRASIL ENERGIA⁽¹⁾⁽⁷⁾, INEMA, MMA⁽⁷⁾⁽⁸⁾ E GOOGLE EARTH⁽⁹⁾.

- Subestações
- ▲ Usinas hidrelétricas
- ▲ Pequenas centrais hidrelétricas
- Usinas térmicas
- Usinas eólicas em operação ou construção
- ▲ Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL
- Área de Proteção Integral
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos
- campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

- LT 500 kV
- - - LT 500 kV planejada
- LT 230 kV
- - - LT 230 kV planejada
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV



PERNAMBUCO

ALAGOAS

SERGIPE

OCEANO ATLÂNTICO

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



Bahia
GOVERNO
TERRA DE TODOS NÓS

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Sistema **FIAB SENAI**
Parceria das Indústrias do Estado de Bahia

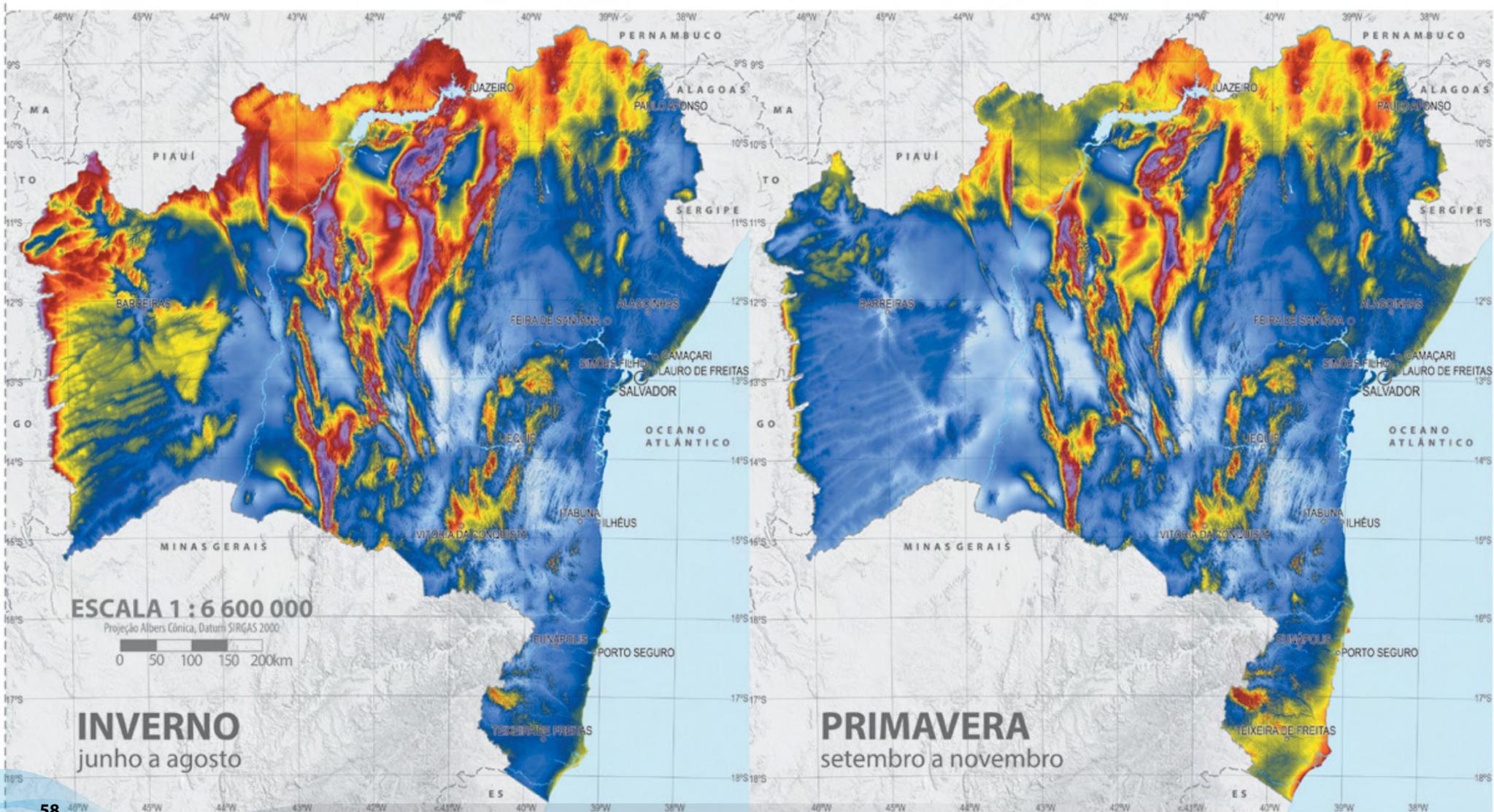
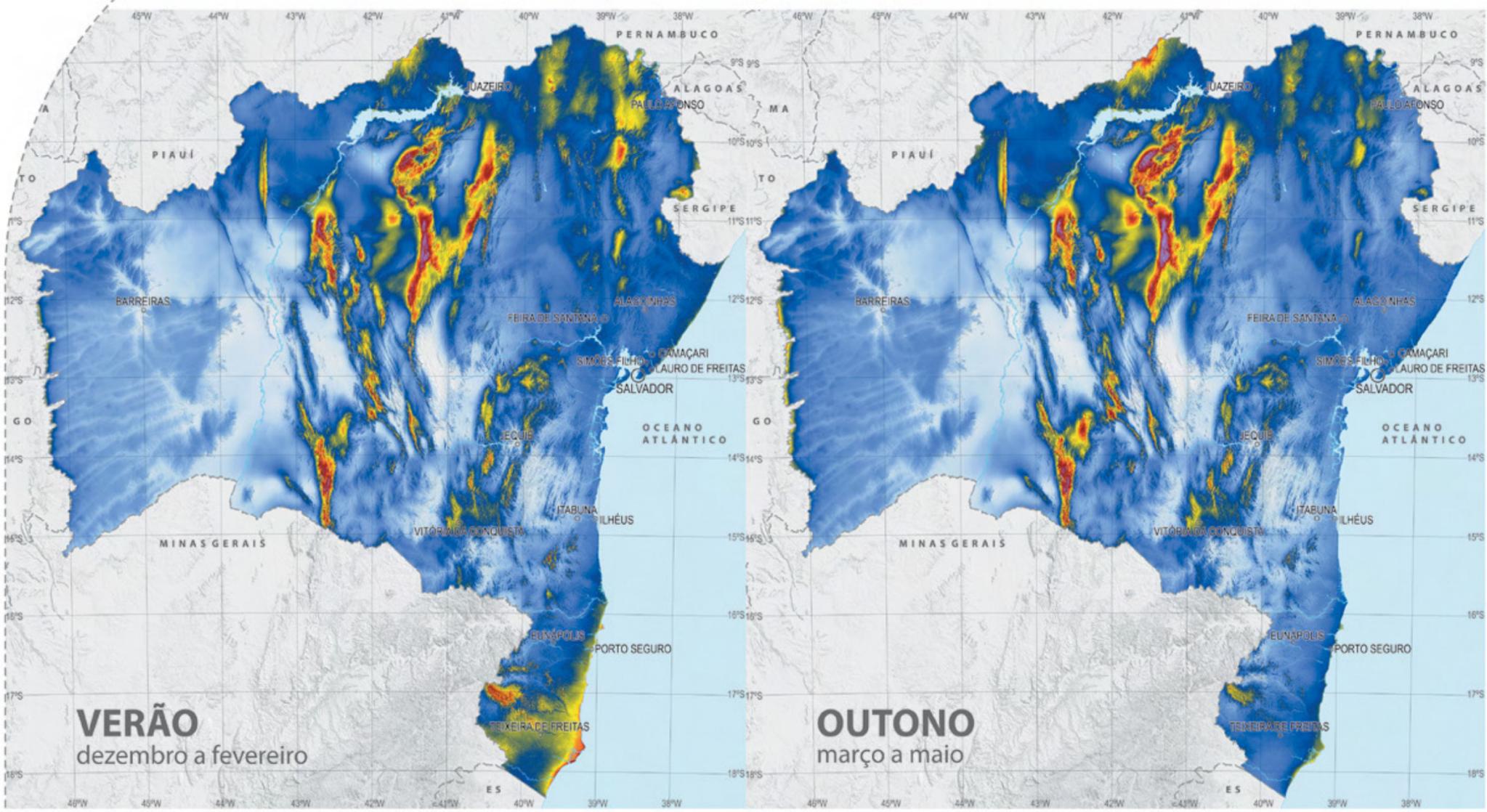
CIMATEC

CAMARGO SCHUBERT

AWS Truepower™
© 2014 AWS Truepower, Inc.

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL a 100 m de altura

MAPA 6.5 »



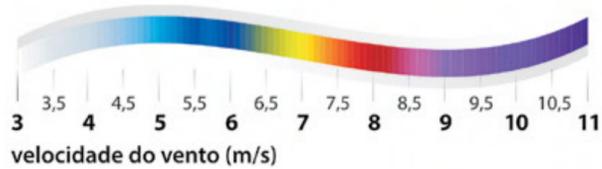
Atlas Eólico Bahia

POTENCIAL EÓLICO ANUAL a 100 m 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 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica WindMap.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE⁽¹⁾⁽²⁾, ANEEL⁽³⁾, ONS⁽⁴⁾, BRASIL ENERGIA⁽¹⁾⁽⁷⁾, INEMA, MMA⁽⁷⁾⁽⁸⁾ E GOOGLE EARTH⁽⁹⁾.



- Subestações
- ▲ Usinas hidrelétricas
- ▲ Pequenas centrais hidrelétricas
- Usinas térmicas
- Usinas eólicas em operação ou construção
- Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL
- Área de Proteção Integral
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos
- campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 500 kV
- - - LT 500 kV planejada
- LT 230 kV
- - - LT 230 kV planejada
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV

Bahia
GOVERNO
TERRA DE TODOS NÓS

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Sistema **FIAB SENAI**
Parceria das Indústrias do Estado de Bahia

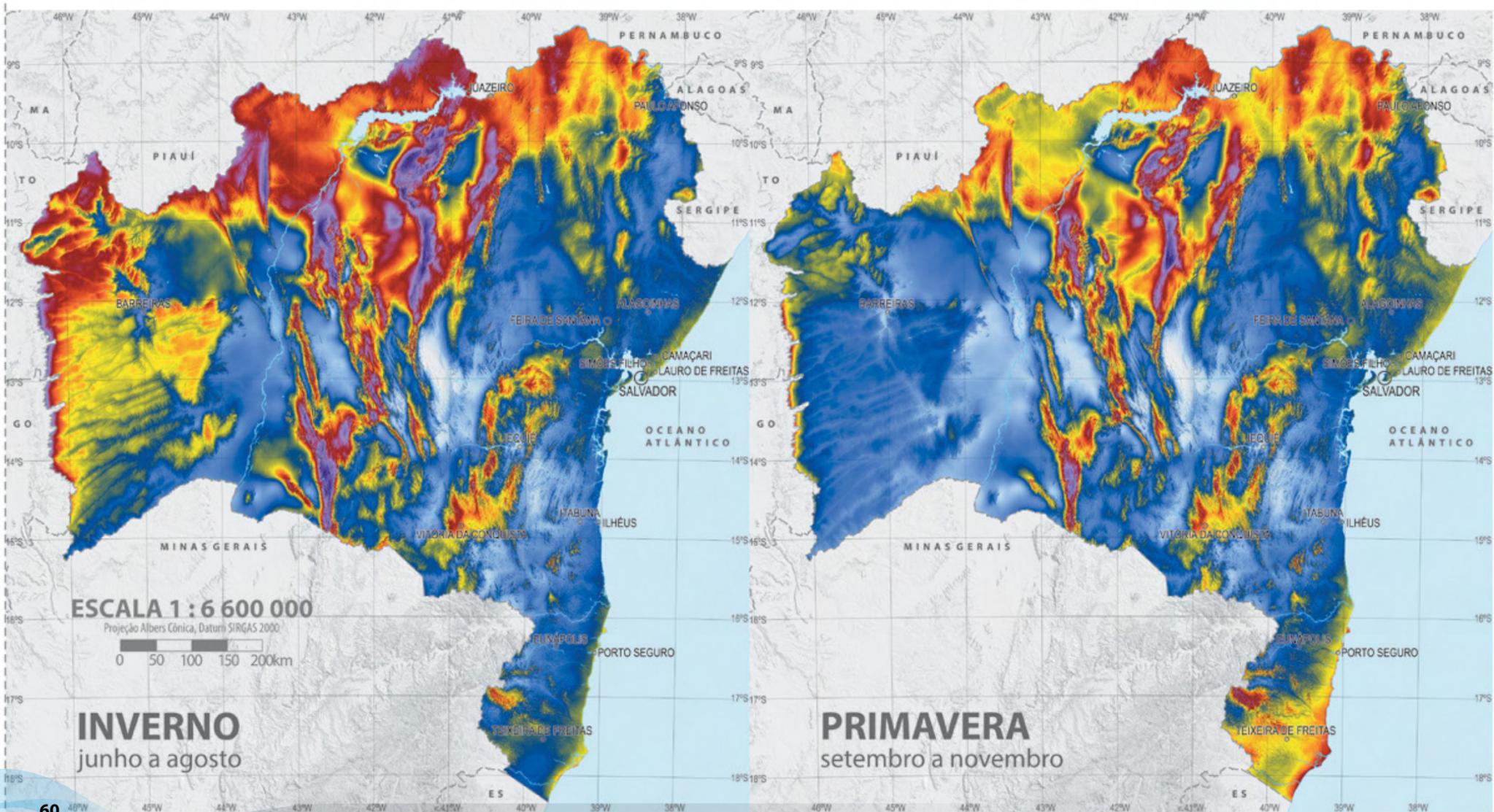
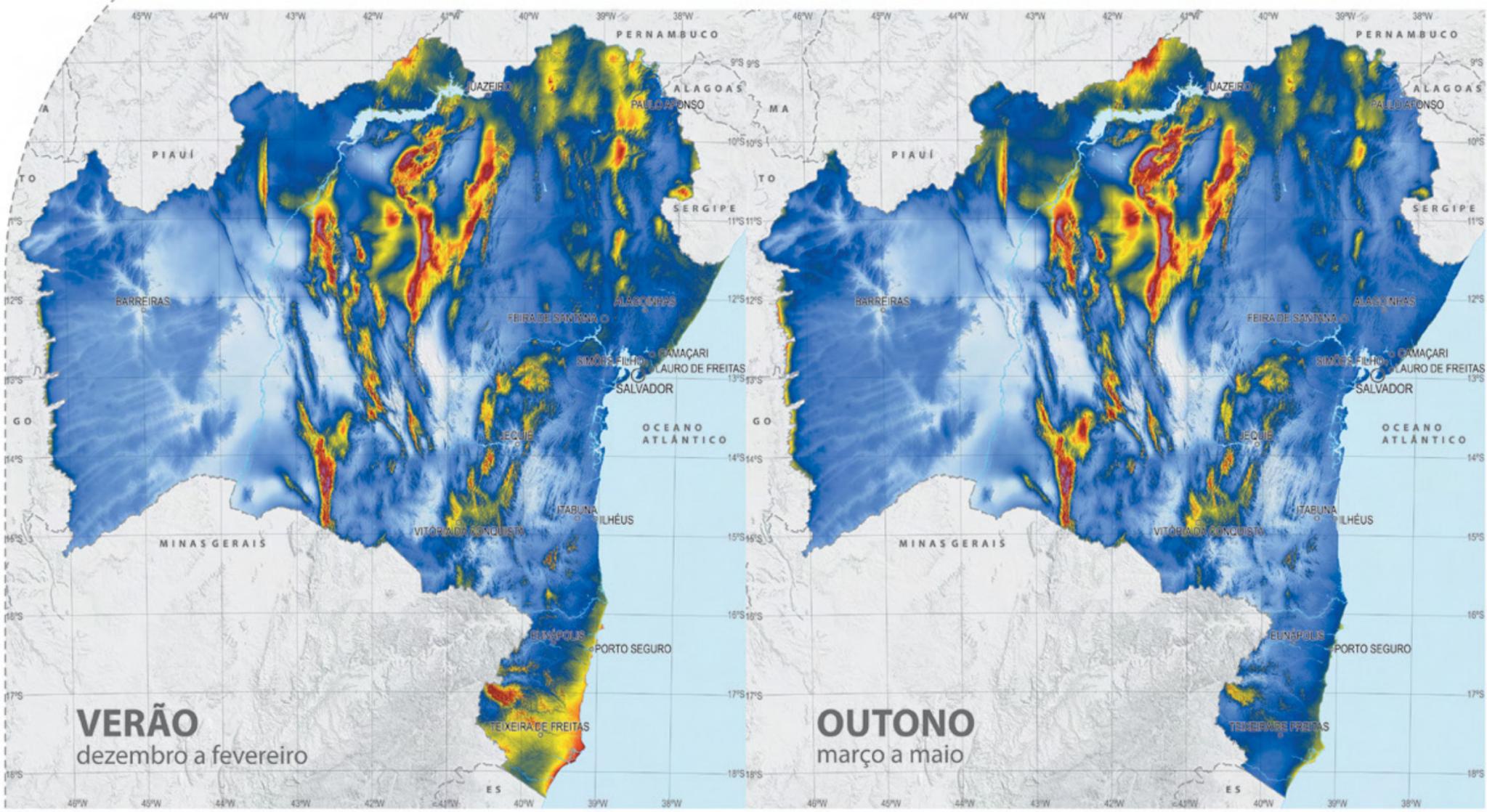
CIMATEC

CAMARGO SCHUBERT

AWS Truepower™
© 2017 Amazon.com, Inc. ou sua subsidiária.

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL a 120 m de altura

MAPA 6.7 »



Atlas Eólico Bahia

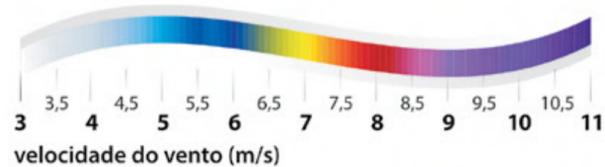
POTENCIAL EÓLICO ANUAL a 120 m de altura

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 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica WindMap.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE⁽¹⁾⁽²⁾, ANEEL⁽³⁾, ONS⁽⁴⁾, BRASIL ENERGIA⁽¹⁾⁽⁷⁾, INEMA, MMA⁽⁷⁾⁽⁸⁾ E GOOGLE EARTH⁽⁹⁾.

- Subestações
- Usinas hidrelétricas
- Pequenas centrais hidrelétricas
- Usinas térmicas
- Usinas eólicas em operação ou construção
- Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL
- Área de Proteção Integral
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos
- campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 500 kV
- LT 500 kV planejada
- LT 230 kV
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV



PERNAMBUCO

ALAGOAS

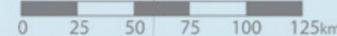
PIAUI

SERGIPE

OCEANO ATLÂNTICO

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



Bahia
GOVERNO
TERRA DE TODOS NÓS

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Sistema **FIAB SENAI**
Parceria das Indústrias do Estado de Bahia

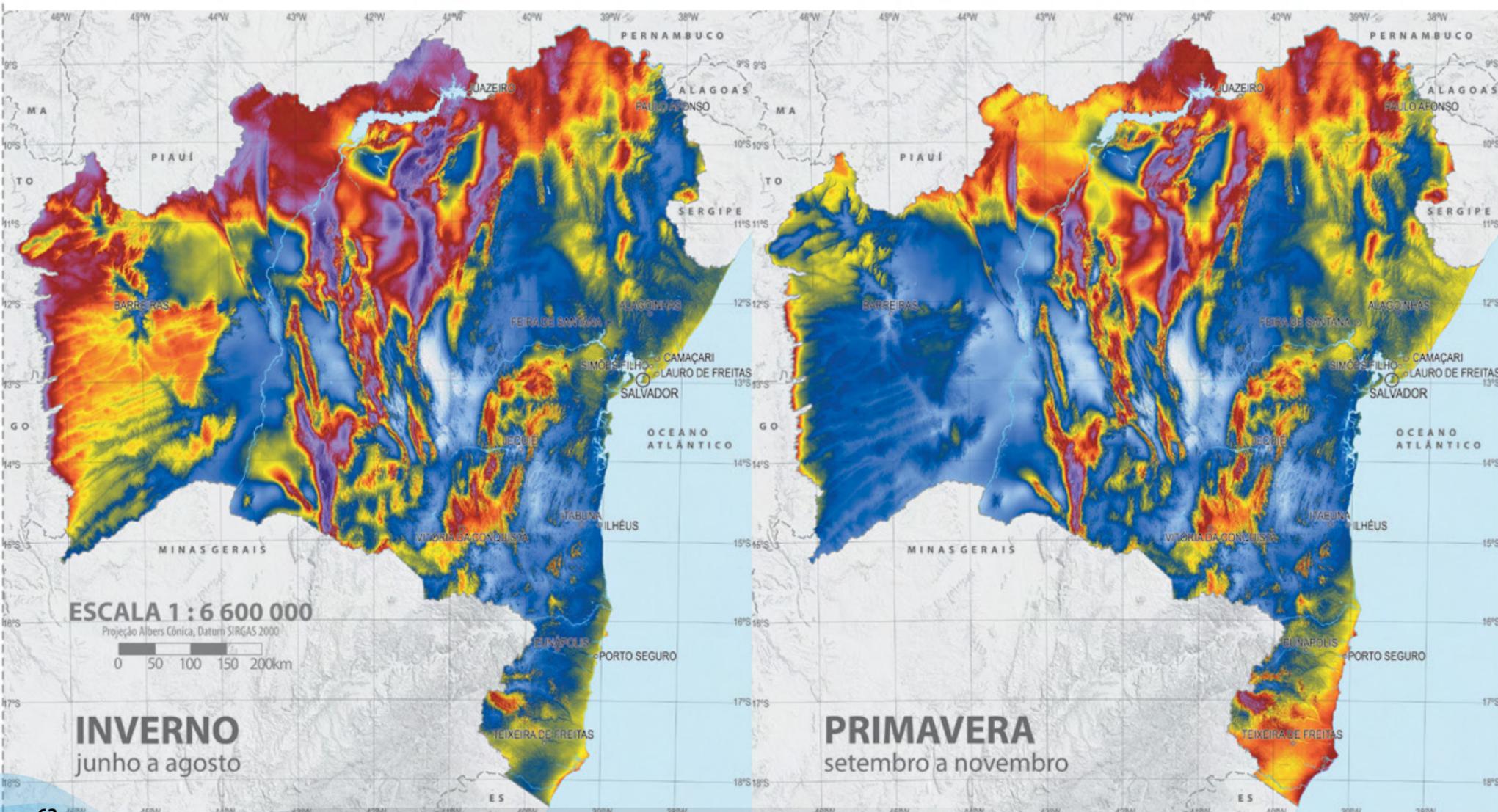
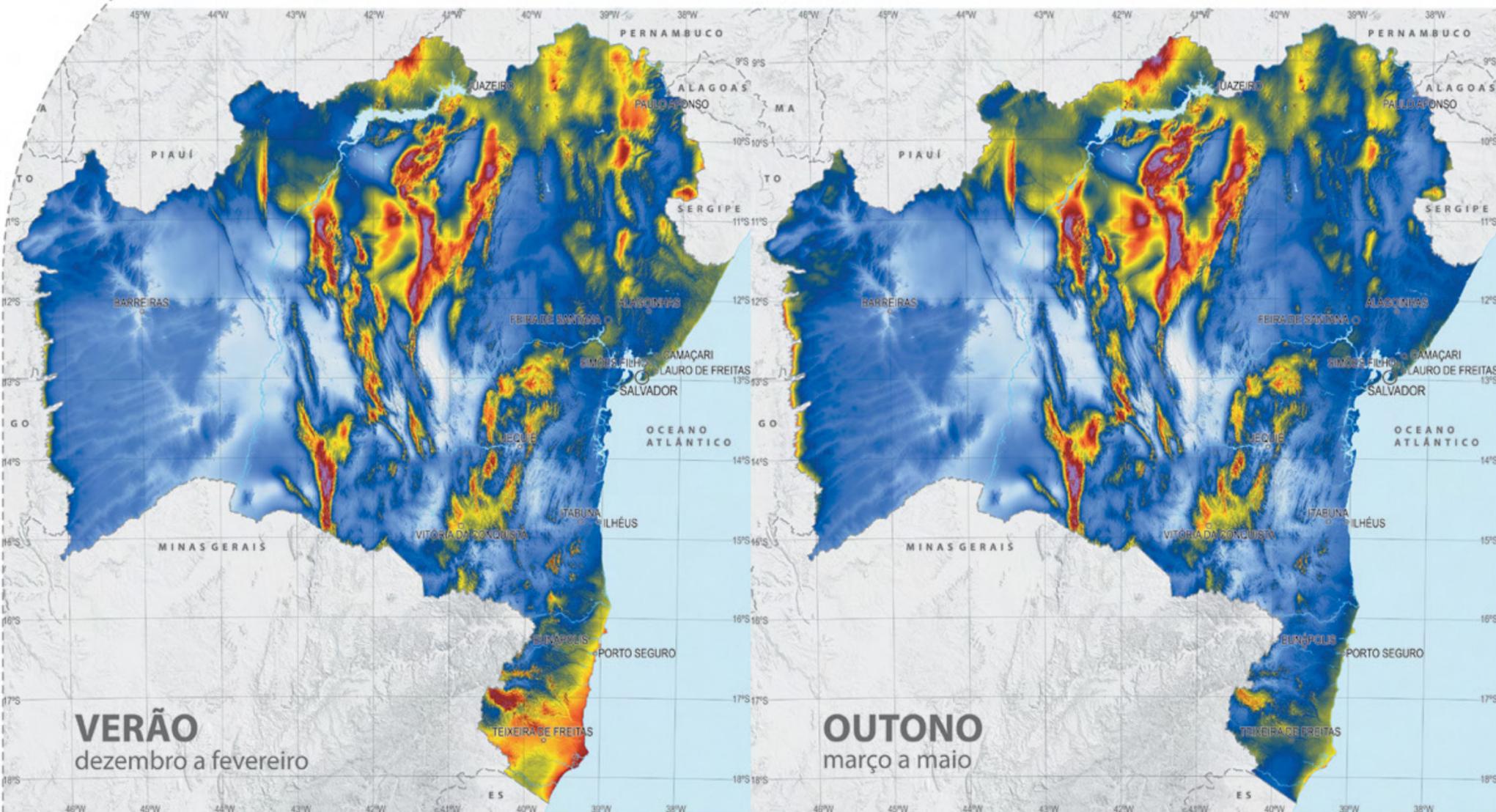
CIMATEC

CAMARGO SCHUBERT

AWS Truepower™
© 2014 Amazon.com, Inc. ou sua subsidiária.

POTENCIAL EÓLICO SAZONAL a 150 m de altura

MAPA 6.9 »



Atlas Eólico Bahia

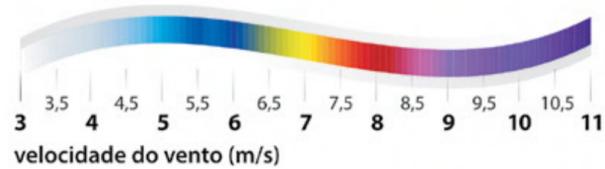
POTENCIAL EÓLICO ANUAL a 150 m de altura

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 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica WindMap.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE⁽¹⁾⁽²⁾, ANEEL⁽³⁾, ONS⁽⁴⁾, BRASIL ENERGIA⁽¹⁾⁽⁷⁾, INEMA, MMA⁽⁷⁾⁽⁸⁾ E GOOGLE EARTH⁽⁹⁾.

- Subestações
- Usinas hidrelétricas
- Pequenas centrais hidrelétricas
- Usinas térmicas
- Usinas eólicas em operação ou construção
- Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL
- Área de Proteção Integral
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos
- campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 500 kV
- LT 500 kV planejada
- LT 230 kV
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV



PERNAMBUCO

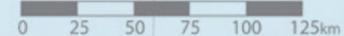
ALAGOAS

SERGIPE

OCEANO ATLÂNTICO

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



Bahia
GOVERNO
TERRA DE TODOS NÓS

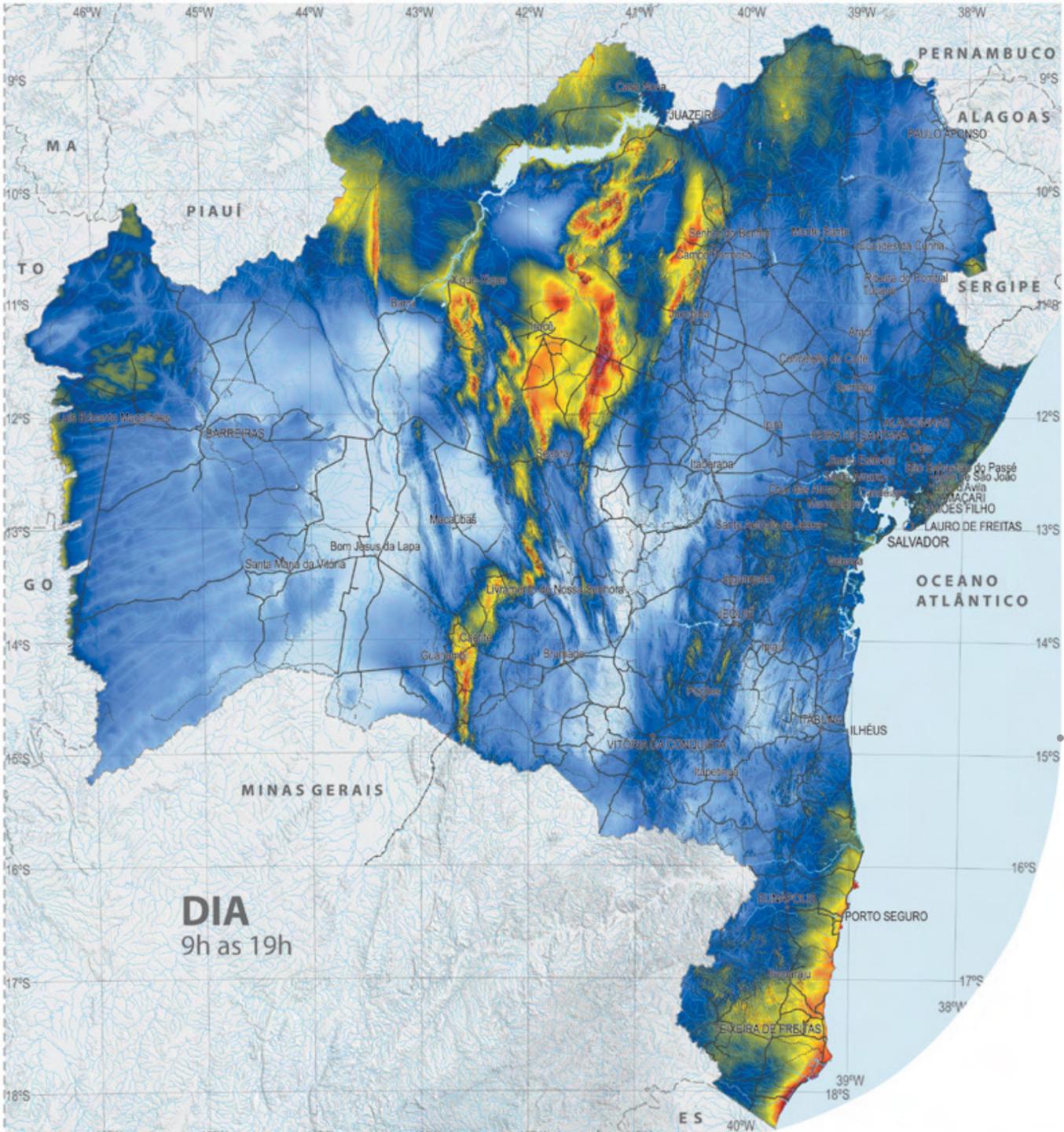
SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Sistema
FIAB SENAI
Parceria das Indústrias do Estado de Bahia

CIMATEC

CAMARGO SCHUBERT

AWS Truepower
O melhor recurso energético.



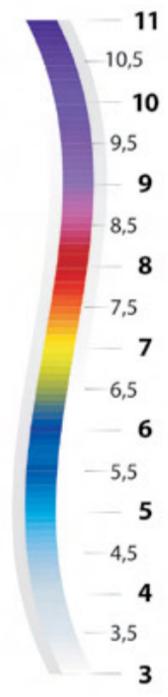
DIA
9h as 19h

POTENCIAL EÓLICO DIA / NOITE a 100 m de altura

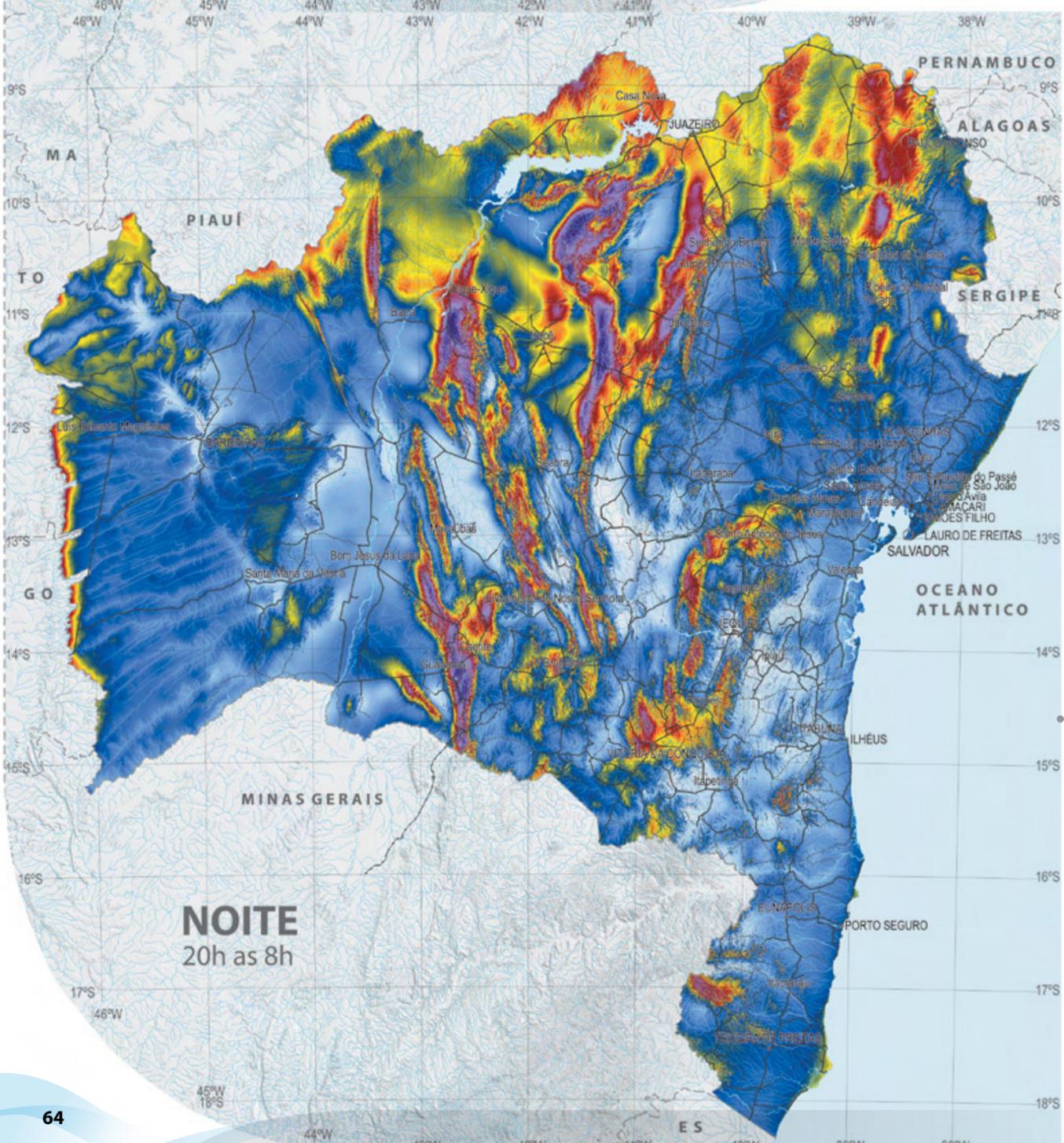
Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap (AWS Truepower)*, em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica.

BASE CARTOGRÁFICA: DERBA, IBGE⁽¹⁾(2)

MAPA 6.11 »



velocidade do vento (m/s)

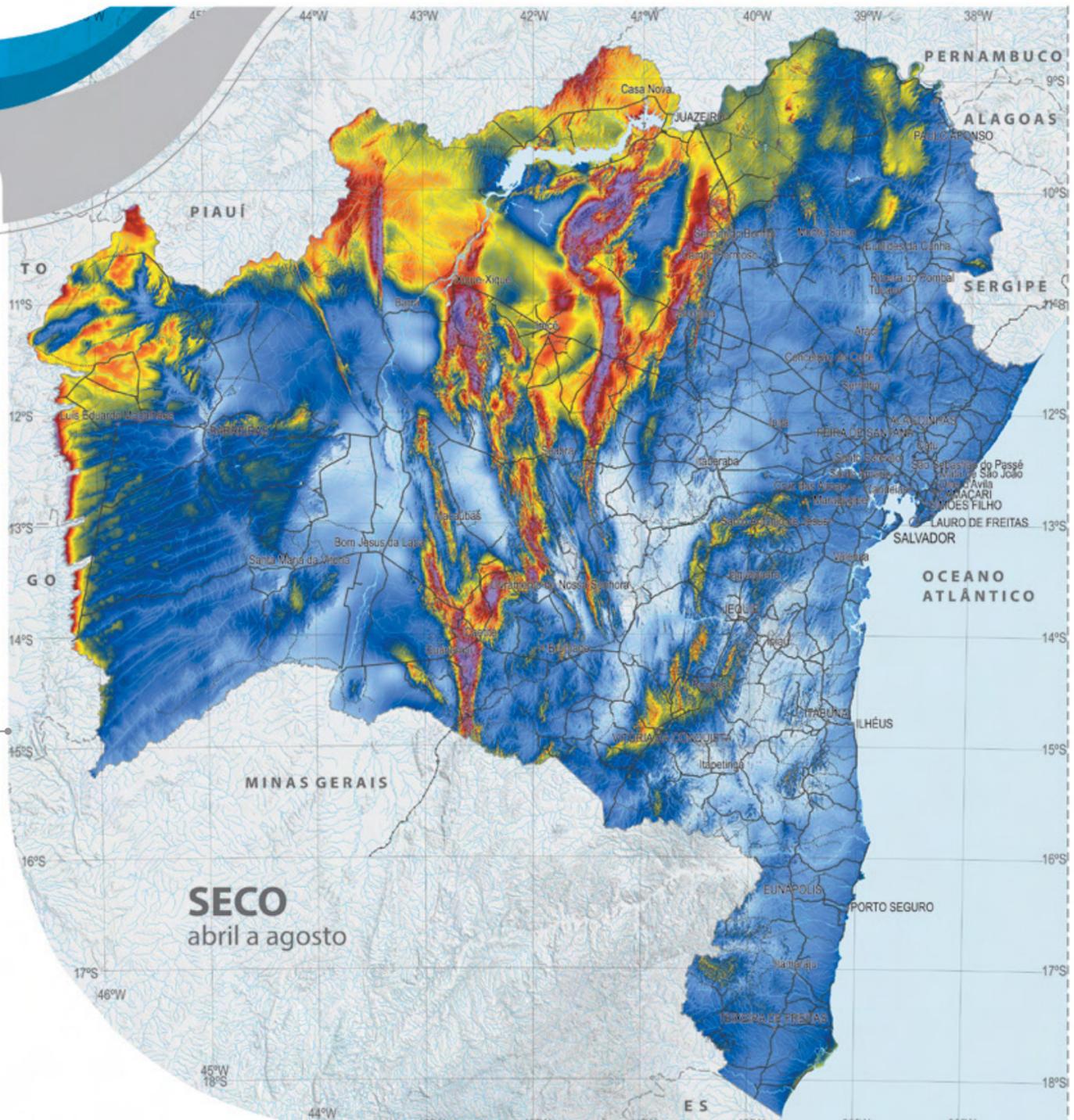


NOITE
20h as 8h

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

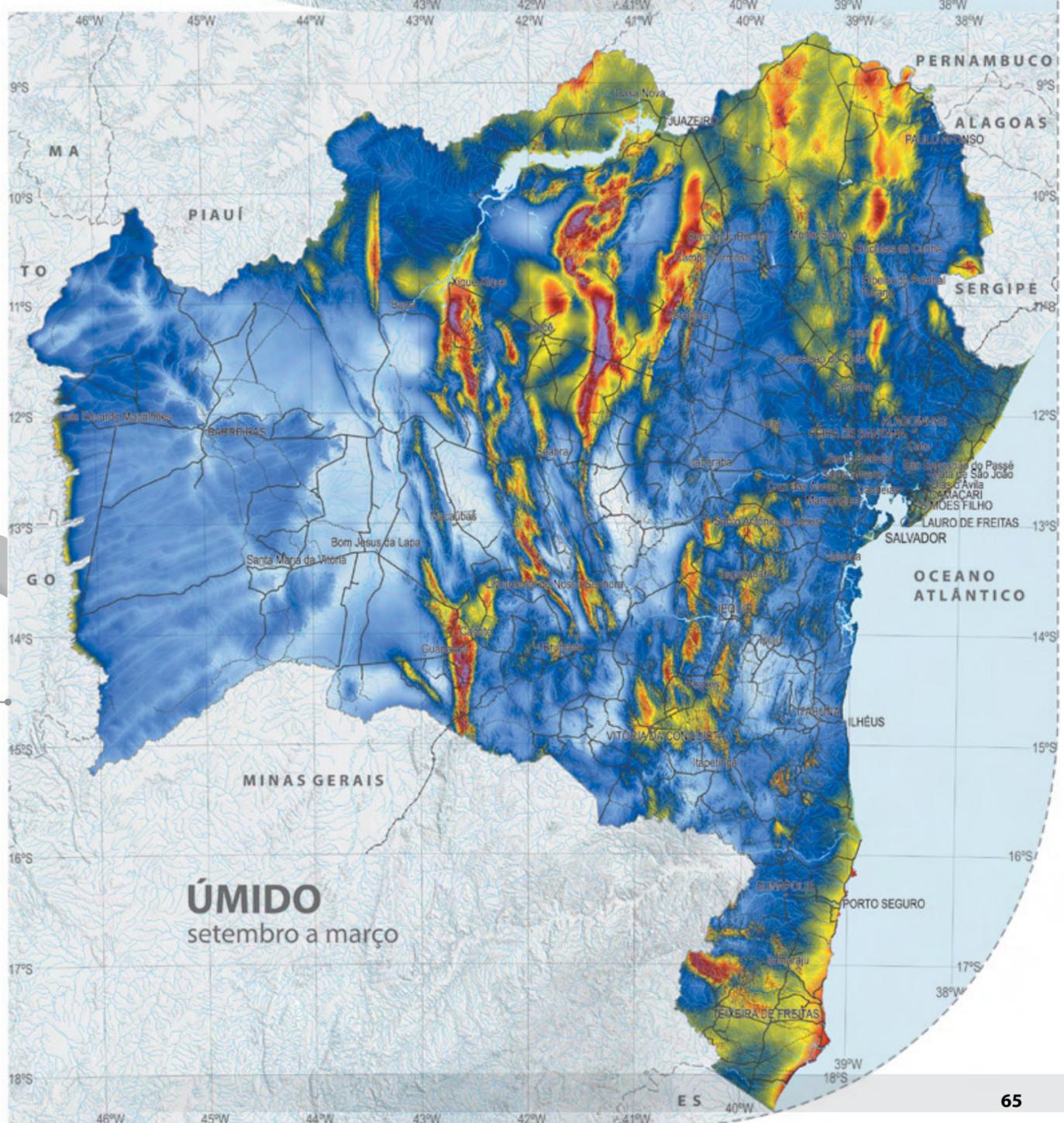
POTENCIAL EÓLICO ESTAÇÕES SECA / ÚMIDA a 100 m de altura

MAPA 6.12 »



ESCALA 1 : 5 000 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

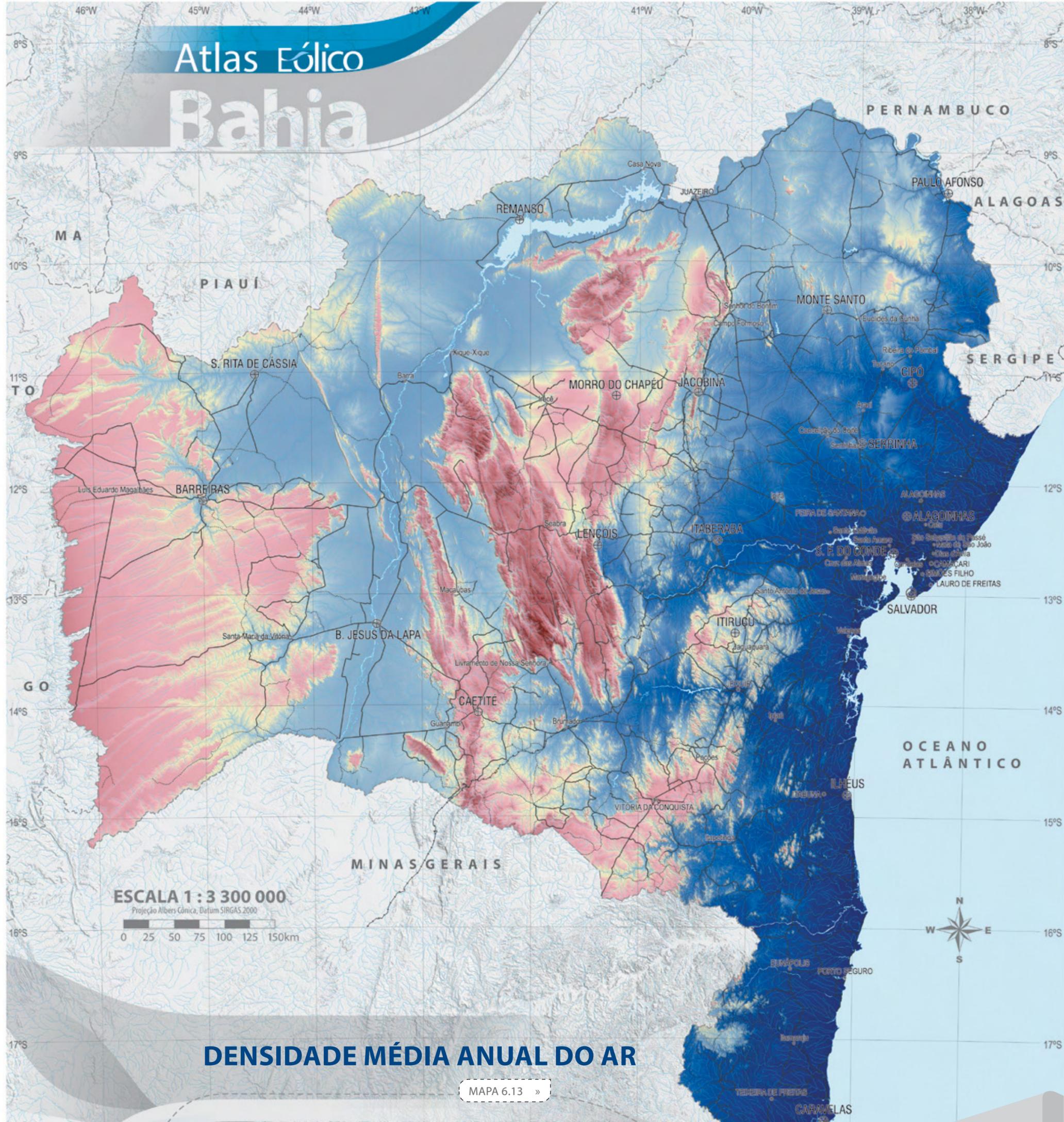


SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



CIMATEC





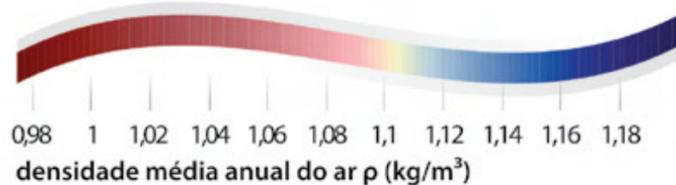
DENSIDADE MÉDIA ANUAL DO AR

MAPA 6.13 »

- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- ▭ Corpos de água
- Rios
- - - Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- - - Estradas não pavimentadas
- ++ Ferrovias
- Cidades com mais de 40 mil habitantes

Calculada sobre o modelo de relevo, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da Atmosfera Padrão Internacional - ISA⁽⁸⁷⁾ e medições meteorológicas registradas em 26 estações do INMET entre 1961 e 1990⁽⁷⁰⁾.

BASE CARTOGRÁFICA: DERBA, IBGE⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾

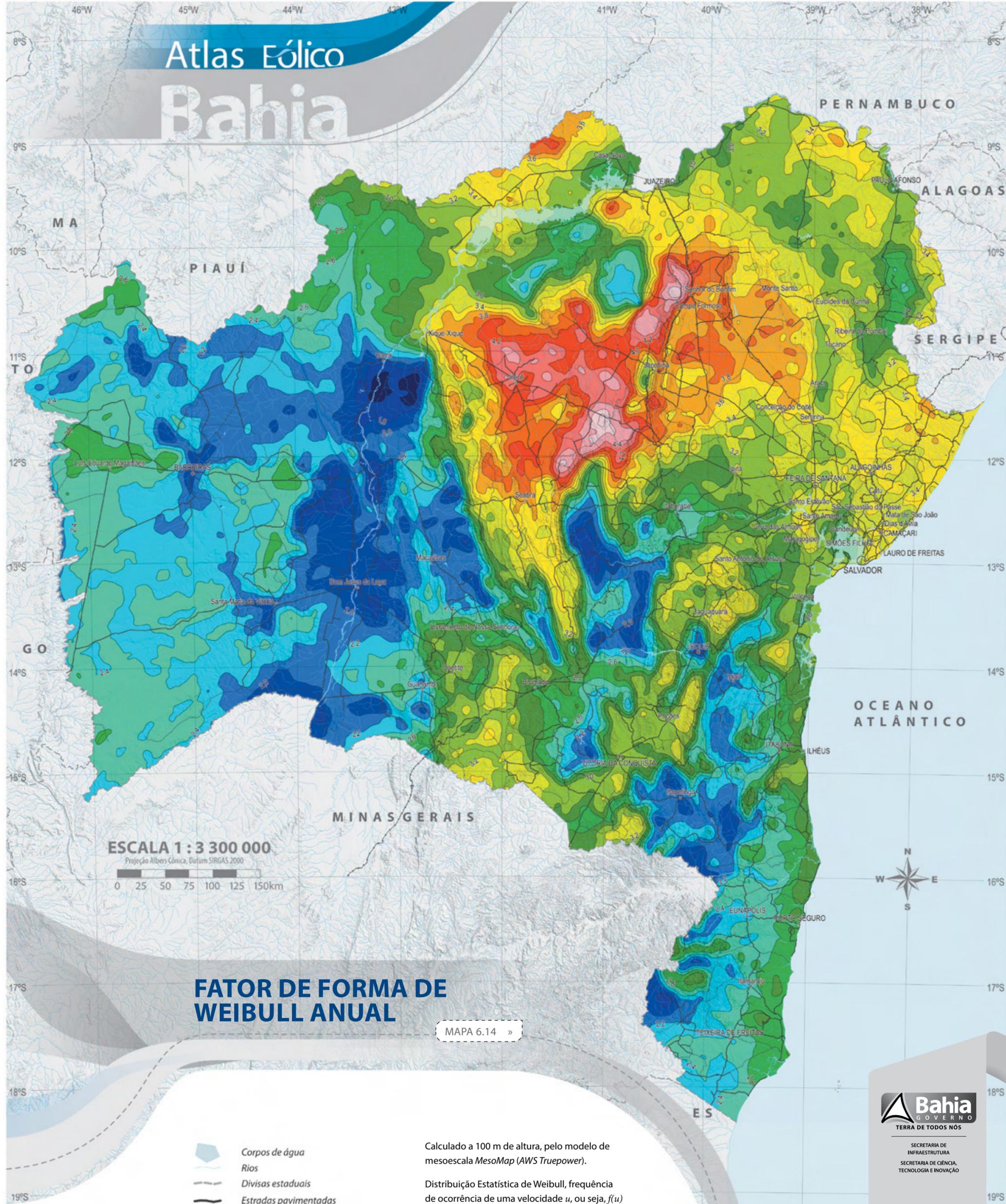


SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



CIMATEC





FATOR DE FORMA DE WEIBULL ANUAL

MAPA 6.14 »

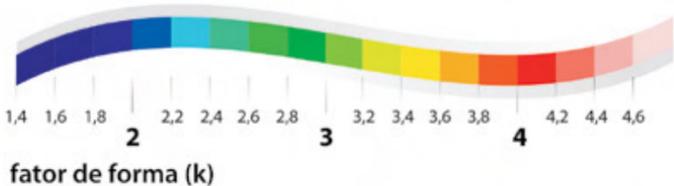
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Cidades com mais de 40 mil habitantes

Calculado a 100 m de altura, pelo modelo de mesoescala *MesoMap* (AWS Truepower).

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.



Atlas Eólico Bahia

POTENCIAL EÓLICO SOBRE O MAR (OFFSHORE)

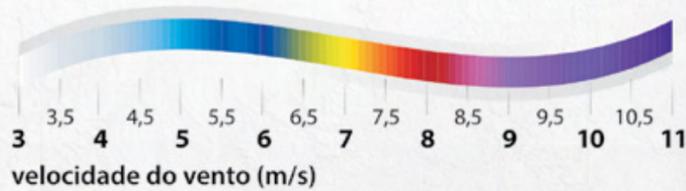
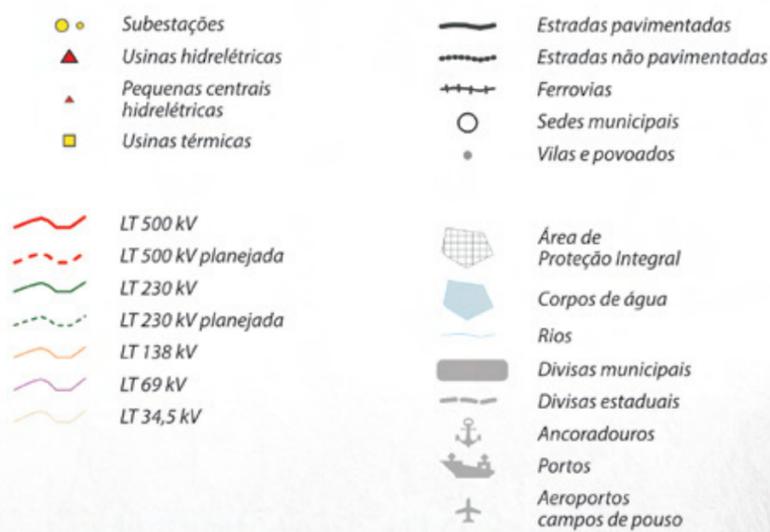
MAPA 6.15 »

A 100 m de altura e em águas com profundidade entre 10 e 50 m

Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap (AWS Truepower)*, e interpolado para a resolução de 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas *onshore* e simulação de camada-limite atmosférica.

A região de potencial eólico *offshore* possui batimetria compreendida entre 10 e 50 m de profundidade.

FONTE: CURVAS BATIMÉTRICAS OBTIDAS NO SISCOM/IBAMA.



SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



CIMATEC



FIGURA 6.4 Baía de Todos os Santos, vista de Salvador.



ESCALA 1 : 3 300 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

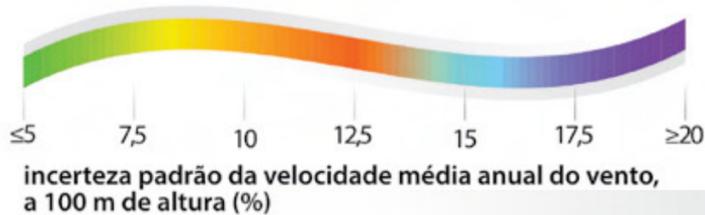
0 25 50 75 100 125 150km

INCERTEZAS DA VELOCIDADE MÉDIA ANUAL

MAPA 6.16 »

- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Cidades com mais de 40 mil habitantes

Incerteza padrão da velocidade média anual de longo prazo do vento a 100 m de altura, estimada com base nas contribuições das incertezas de medição, extrapolação vertical, extrapolação horizontal e climatologia. O método desenvolvido para avaliação das incertezas de extrapolação horizontal considerou a densidade regional de torres anemométricas, a complexidade do terreno e a similaridade entre as condições de vento e de topografia.



ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

7

7.1 O Potencial Eólico da Bahia

7.2 Áreas Promissoras

7.3 Considerações Finais



FIGURA 7.1 Serra do Tombador, em Jacobina.

ZIG KOCH

7.1 O POTENCIAL EÓLICO DA BAHIA

O potencial eólico do Estado da Bahia foi calculado a partir da integração dos mapas de velocidades médias anuais, velocidades dia/noite e velocidades período seco/úmido, 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 Bahia, 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 Bahia, 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:

1 Compilou-se um banco de dados com as curvas de potência dos aerogeradores adotados nos projetos de aproveitamento eólico na Bahia. 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 4 anos.

2 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 respeitando-se o envelope operacional e a aplicabilidade das máquinas para as condições de vento locais.

3 Áreas onde o desenvolvimento de parques eólicos é impossibilitado foram excluídas dos cálculos de integração através de ferramentas de geoprocessamento. Essas áreas foram: áreas com elevada declividade; áreas de proteção integral (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 5.2).

4 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 da Bahia. Essa taxa, correspondente ao efetivamente utilizável nas áreas propícias para aproveitamentos eólicos, foi de 2,6 MW/km².

5 O cálculo de produção energética e fator de capacidade médio considerou 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 6.13).

6 A distribuição estatística da velocidade do vento foi considerada através dos fatores de forma de Weibull locais (Mapa 6.14).

7 Finalmente, estimou-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.

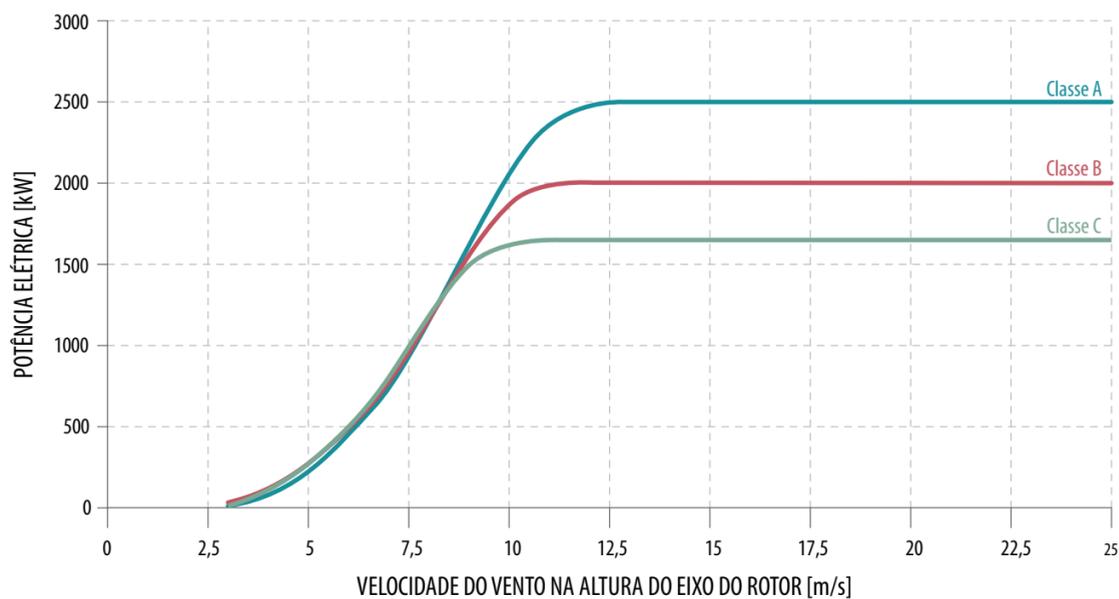


GRÁFICO 7.1 Curvas de potência representativas das máquinas comercializadas no Brasil, consideradas no cálculo de integração do potencial eólico da Bahia.

ÁREAS EXCLUÍDAS DO CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO DA BAHIA

MAPA 7.1 »

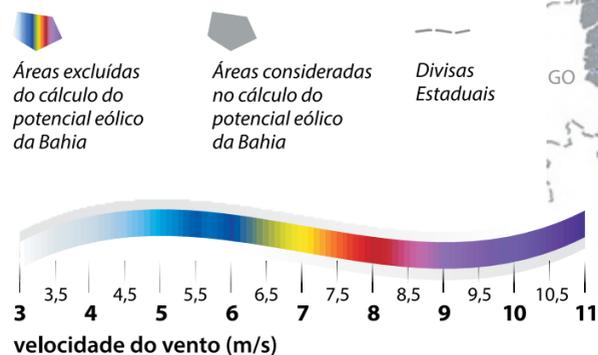


TABELA 7.1 »

POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA SOLO FIRME (ONSHORE)

| INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE | | | | | | INTEGRAÇÃO CUMULATIVA | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| ALTURA [m] | VENTO [m/s] | ÁREA [km ²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | FATOR DE CAPACIDADE | ENERGIA ANUAL [TWh] | VENTO [m/s] | ÁREA [km ²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | ENERGIA ANUAL [TWh] |
| 150 | 6,0 - 6,5 | 76220 | 198,1 | 32% | 550,1 | ≥ 6,0 | 218164 | 566,5 | 1884,8 |
| | 6,5 - 7,0 | 66765 | 173,2 | 37% | 568,2 | ≥ 6,5 | 141945 | 368,4 | 1334,7 |
| | 7,0 - 7,5 | 43635 | 113,3 | 42% | 421,1 | ≥ 7,0 | 75180 | 195,2 | 766,5 |
| | 7,5 - 8,0 | 18902 | 49,1 | 47% | 203,9 | ≥ 7,5 | 31544 | 82,0 | 345,4 |
| | 8,0 - 8,5 | 7409 | 19,3 | 47% | 80,0 | ≥ 8,0 | 12642 | 32,9 | 141,5 |
| | 8,5 - 9,0 | 3403 | 8,8 | 51% | 39,8 | ≥ 8,5 | 5233 | 13,6 | 61,5 |
| | 9,0 - 9,5 | 1263 | 3,3 | 51% | 14,8 | ≥ 9,0 | 1831 | 4,8 | 21,6 |
| | ≥ 9,5 | 568 | 1,5 | 53% | 6,9 | ≥ 9,5 | 568 | 1,5 | 6,9 |
| 120 | 6,0 - 6,5 | 66198 | 171,8 | 32% | 480,4 | ≥ 6,0 | 170525 | 442,7 | 1436,4 |
| | 6,5 - 7,0 | 59980 | 155,7 | 37% | 506,5 | ≥ 6,5 | 104327 | 270,9 | 956,0 |
| | 7,0 - 7,5 | 27249 | 70,8 | 42% | 262,9 | ≥ 7,0 | 44347 | 115,2 | 449,6 |
| | 7,5 - 8,0 | 10003 | 26,0 | 47% | 108,0 | ≥ 7,5 | 17098 | 44,4 | 186,7 |
| | 8,0 - 8,5 | 4539 | 11,8 | 47% | 48,9 | ≥ 8,0 | 7095 | 18,4 | 78,7 |
| | 8,5 - 9,0 | 1739 | 4,5 | 51% | 20,3 | ≥ 8,5 | 2557 | 6,6 | 29,8 |
| | 9,0 - 9,5 | 547 | 1,4 | 51% | 6,3 | ≥ 9,0 | 818 | 2,1 | 9,6 |
| | ≥ 9,5 | 271 | 0,7 | 53% | 3,2 | ≥ 9,5 | 271 | 0,7 | 3,2 |
| 100 | 6,0 - 6,5 | 69988 | 181,6 | 32% | 507,7 | ≥ 6,0 | 140482 | 364,7 | 1147,2 |
| | 6,5 - 7,0 | 43496 | 112,9 | 37% | 366,0 | ≥ 6,5 | 70494 | 183,1 | 639,5 |
| | 7,0 - 7,5 | 16335 | 42,4 | 42% | 157,2 | ≥ 7,0 | 26998 | 70,1 | 273,5 |
| | 7,5 - 8,0 | 6519 | 16,9 | 48% | 70,6 | ≥ 7,5 | 10663 | 27,7 | 116,3 |
| | 8,0 - 8,5 | 2757 | 7,2 | 47% | 29,7 | ≥ 8,0 | 4144 | 10,8 | 45,7 |
| | 8,5 - 9,0 | 924 | 2,4 | 51% | 10,7 | ≥ 8,5 | 1387 | 3,6 | 16,1 |
| | 9,0 - 9,5 | 341 | 0,9 | 50% | 3,9 | ≥ 9,0 | 462 | 1,2 | 5,4 |
| | ≥ 9,5 | 121 | 0,3 | 52% | 1,4 | ≥ 9,5 | 121 | 0,3 | 1,4 |
| 80 | 6,0 - 6,5 | 60246 | 156,4 | 31% | 431,0 | ≥ 6,0 | 100545 | 261,1 | 794,0 |
| | 6,5 - 7,0 | 25432 | 66,1 | 37% | 212,6 | ≥ 6,5 | 40298 | 104,7 | 363,0 |
| | 7,0 - 7,5 | 8905 | 23,1 | 42% | 85,7 | ≥ 7,0 | 14866 | 38,6 | 150,4 |
| | 7,5 - 8,0 | 3772 | 9,8 | 47% | 40,6 | ≥ 7,5 | 5961 | 15,5 | 64,7 |
| | 8,0 - 8,5 | 1470 | 3,8 | 47% | 15,8 | ≥ 8,0 | 2190 | 5,7 | 24,1 |
| | 8,5 - 9,0 | 481 | 1,3 | 51% | 5,5 | ≥ 8,5 | 719 | 1,9 | 8,3 |
| | 9,0 - 9,5 | 189 | 0,5 | 51% | 2,2 | ≥ 9,0 | 238 | 0,6 | 2,8 |
| | ≥ 9,5 | 49 | 0,1 | 52% | 0,6 | ≥ 9,5 | 49 | 0,1 | 0,6 |

TABELA 7.3 »

POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA SOBRE O MAR (OFFSHORE): REGIÃO COM BATIMETRIA ENTRE 10 E 50 m DE PROFUNDIDADE

| INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE | | | | | | INTEGRAÇÃO CUMULATIVA | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| ALTURA [m] | VENTO [m/s] | ÁREA [km ²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | FATOR DE CAPACIDADE | ENERGIA ANUAL [TWh] | VENTO [m/s] | ÁREA [km ²] | POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW] | ENERGIA ANUAL [TWh] |
| 150 | 6,0 - 6,5 | 1751 | 6,6 | 34% | 19,4 | ≥ 6,0 | 28964 | 107,5 | 416,0 |
| | 6,5 - 7,0 | 3600 | 13,5 | 39% | 46,3 | ≥ 6,5 | 27213 | 100,9 | 396,5 |
| | 7,0 - 7,5 | 9685 | 36,3 | 45% | 142,8 | ≥ 7,0 | 23613 | 87,5 | 350,3 |
| | 7,5 - 8,0 | 12442 | 46,6 | 46% | 188,5 | ≥ 7,5 | 13929 | 51,1 | 207,5 |
| | ≥ 8,0 | 1486 | 4,6 | 47% | 18,9 | ≥ 8,0 | 1486 | 4,6 | 18,9 |
| 100 | 6,0 - 6,5 | 2622 | 9,8 | 33% | 28,8 | ≥ 6,0 | 28608 | 106,2 | 403,4 |
| | 6,5 - 7,0 | 5039 | 18,9 | 40% | 65,9 | ≥ 6,5 | 25986 | 96,3 | 374,6 |
| | 7,0 - 7,5 | 12545 | 47,0 | 45% | 184,3 | ≥ 7,0 | 20947 | 77,4 | 308,7 |
| | 7,5 - 8,0 | 7507 | 27,7 | 47% | 113,3 | ≥ 7,5 | 8402 | 30,4 | 124,4 |
| | ≥ 8,0 | 894 | 2,7 | 47% | 11,1 | ≥ 8,0 | 894 | 2,7 | 11,1 |

A Tabela 7.1 apresenta o resultado da integração dos mapas e o potencial eólico do Estado da Bahia.

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 7,0 m/s.

Os resultados da integração cumulativa indicam que a Bahia possui um potencial eólico de grande magnitude, com capacidade instalável em solo firme (*onshore*) estimada em 70 GW a 100 m de altura, em locais com velocidades médias superiores a 7,0 m/s, os quais corresponderiam a uma produção energética estimada em 273 TWh/ano. Como referência, o parque gerador brasileiro, incluindo todas as fontes, totaliza 121GW^[3], tendo gerado, em 2012, de 592,8 TWh^[47].

O potencial eólico da Bahia, estimado em 70 GW (ventos maiores que 7,0 m/s a 100 m de altura) corresponde aproximadamente a 10 vezes a capacidade de geração instalada no Estado

TABELA 7.2 »

FATORES DE CAPACIDADE SAZONAIS E DIURNOS A 100 m DE ALTURA (ONSHORE)

| VENTO [m/s] | ANUAL | ESTAÇÃO SECA (abr-ago) | ESTAÇÃO ÚMIDA (set-mar) | PERÍODO NOTURNO (20h às 8h) | PERÍODO DIURNO (9h às 19h) |
|-------------|-------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 6,0 - 6,5 | 32% | 32% | 31% | 34% | 29% |
| 6,5 - 7,0 | 37% | 39% | 36% | 41% | 32% |
| 7,0 - 7,5 | 42% | 45% | 41% | 48% | 35% |
| 7,5 - 8,0 | 48% | 53% | 44% | 55% | 38% |
| 8,0 - 8,5 | 47% | 53% | 44% | 56% | 37% |
| 8,5 - 9,0 | 51% | 57% | 47% | 61% | 38% |
| 9,0 - 9,5 | 50% | 57% | 47% | 62% | 36% |
| ≥ 9,5 | 52% | 59% | 49% | 64% | 37% |

(6,9 GW^[101] em 2012 – Item 1.3.4) ou, ainda, à metade dos recursos hidráulicos estimados em todo o país (135 GW^[47], dos quais 84 GW já aproveitados).

Os números sugerem que, a despeito da já consolidada carteira de projetos de vários gigawatts^[79], a Bahia ainda possui um grande potencial a ser explorado. As áreas promissoras são apresentadas no Item 7.2, incluindo considerações geográficas e energéticas, de modo a proporcionar uma visão estratégica para o seu desenvolvimento e para o planejamento de projetos.

7.1.1 POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE

O cálculo do potencial eólico sobre o mar territorial baiano foi estimado considerando-se as regiões próximas à costa com profundidade entre 10 e 50 metros. Esses limites foram definidos em função da premissa de que o custo desse tipo de instalação é sensível à profundidade. As profundidades sobre as quais o potencial eólico foi mapeado são aquelas adequadas a tecnologias de fundações *offshore* para águas rasas e de profundidades médias, como as do tipo monopilar, tripé ou jaqueta^{[27][84]}.

7.1.2 FATORES DE CAPACIDADE SAZONAIS E DIURNOS

Com o objetivo de subsidiar futuros estudos de planejamento para o setor elétrico, o potencial eólico foi integrado separadamente, com os dados desmembrados em períodos diurnos e sazonais. A comparação entre os fatores de capacidade calculados para cada um desses casos pode ser vista na Tabela 7.2.

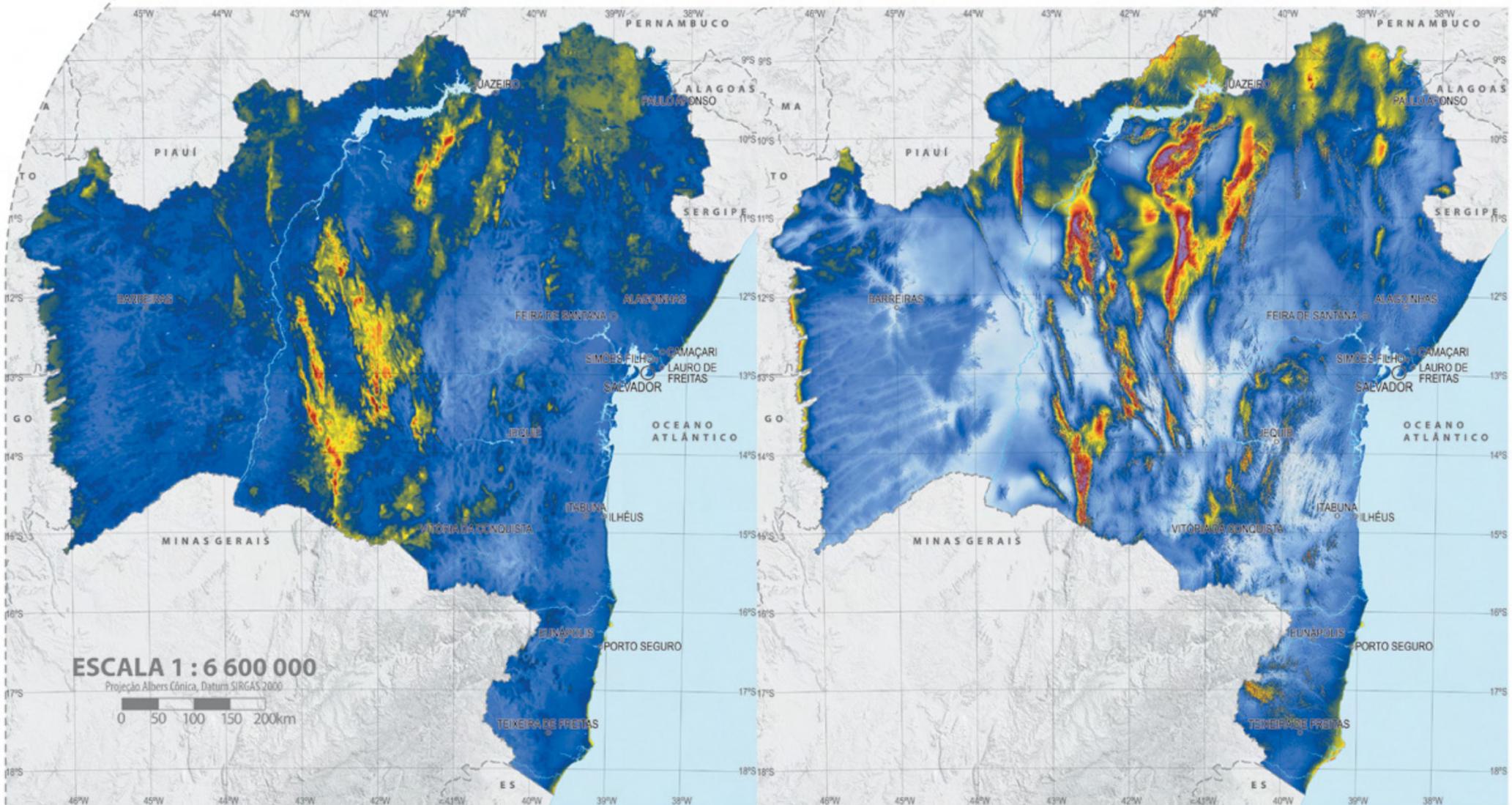
7.1.3 COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO ATLAS EÓLICO DA BAHIA, 2002

Conforme discutido no Item 5.3.2, há grandes diferenças entre as metodologias aplicadas nos mapeamentos elaborados em

2002 e em 2013. Essas diferenças propagam-se sobre os resultados, tidos como muito mais conservadores no estudo elaborado em 2002. Com propósito ilustrativo, os mapas eólicos da Bahia de 2002 e de 2013 são comparados lado a lado no Mapa 7.2, e os principais resultados da produção energética estimada são confrontados na Tabela 7.4.

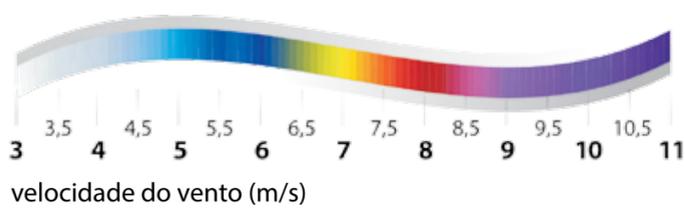
ANÁLISE COMPARATIVA: EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA E RESULTADOS DE MAPEAMENTOS PROSPECTIVOS

MAPA 7.2 Comparação entre os mapeamentos realizados para a Bahia em 2002 e em 2013.



Potencial eólico a 70 m de altura
ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DA BAHIA – COELBA, 2002

Potencial eólico a 80 m de altura
ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DA BAHIA – SEINFRA/SECTI, 2013



| POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA ATLAS 2002 / ATLAS 2013 PARA VELOCIDADES MAIORES QUE 7 m/s | | | | | |
|---|------------|------------|-------|-------|-------|
| MAPEAMENTO | ATLAS 2002 | ATLAS 2013 | | | |
| ALTURA | 70 m | 80 m | 100 m | 120 m | 150 m |
| POTÊNCIA INSTALÁVEL (GW) | 14 | 39 | 70 | 115 | 195 |
| ENERGIA ANUAL (TWh/ano) | 32 | 150 | 273 | 449 | 767 |

TABELA 7.4 »

7.2 ÁREAS PROMISSORAS

O mapeamento evidenciou sete principais áreas para empreendimentos eólicoelétricos na Bahia, como indicado na Figura 7.2, todas situadas nas regiões altas no interior do Estado.

A seguir, apresenta-se uma descrição sucinta e fotografias dessas áreas, apontando-se informações específicas sobre o potencial eólico e infraestrutura.

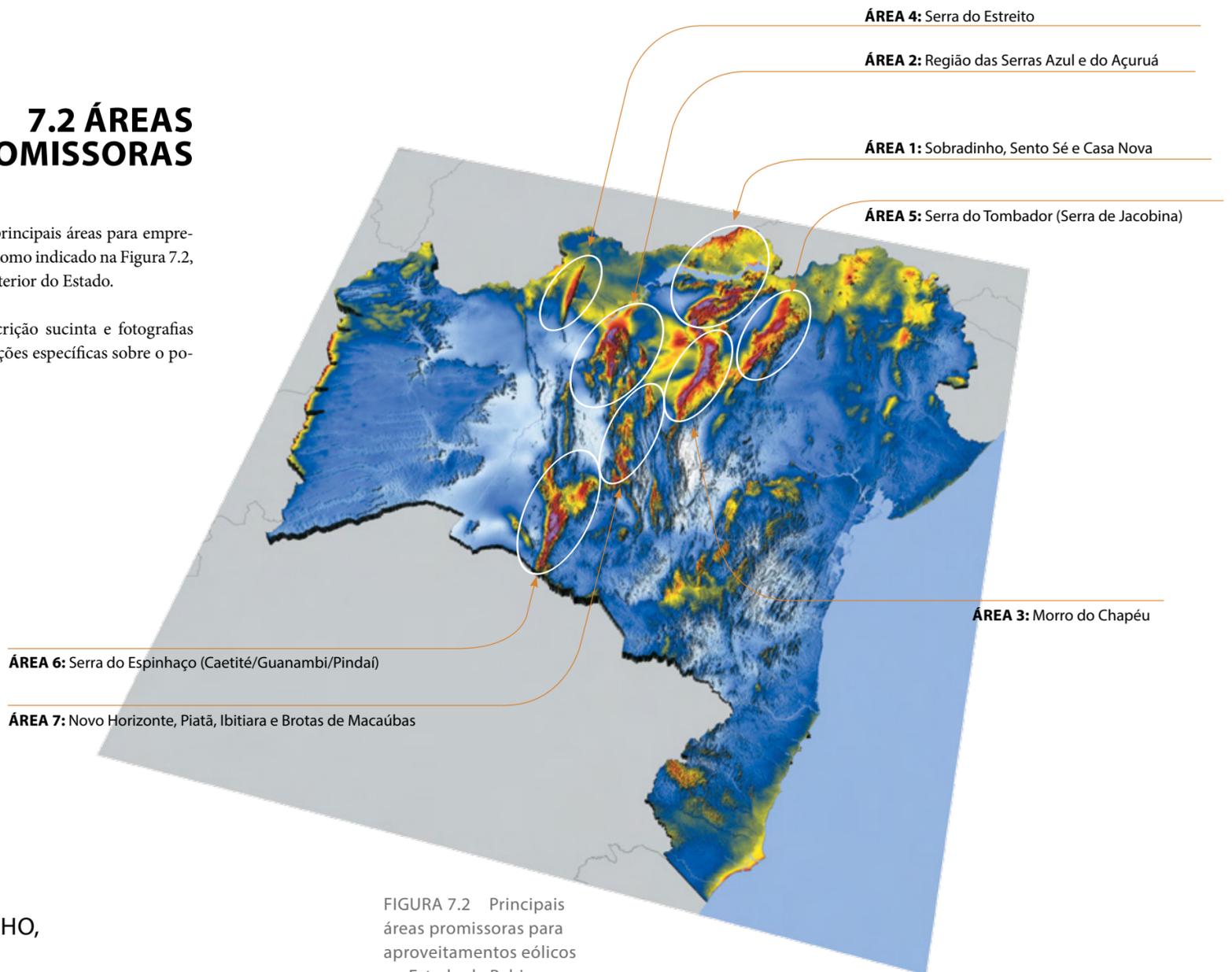
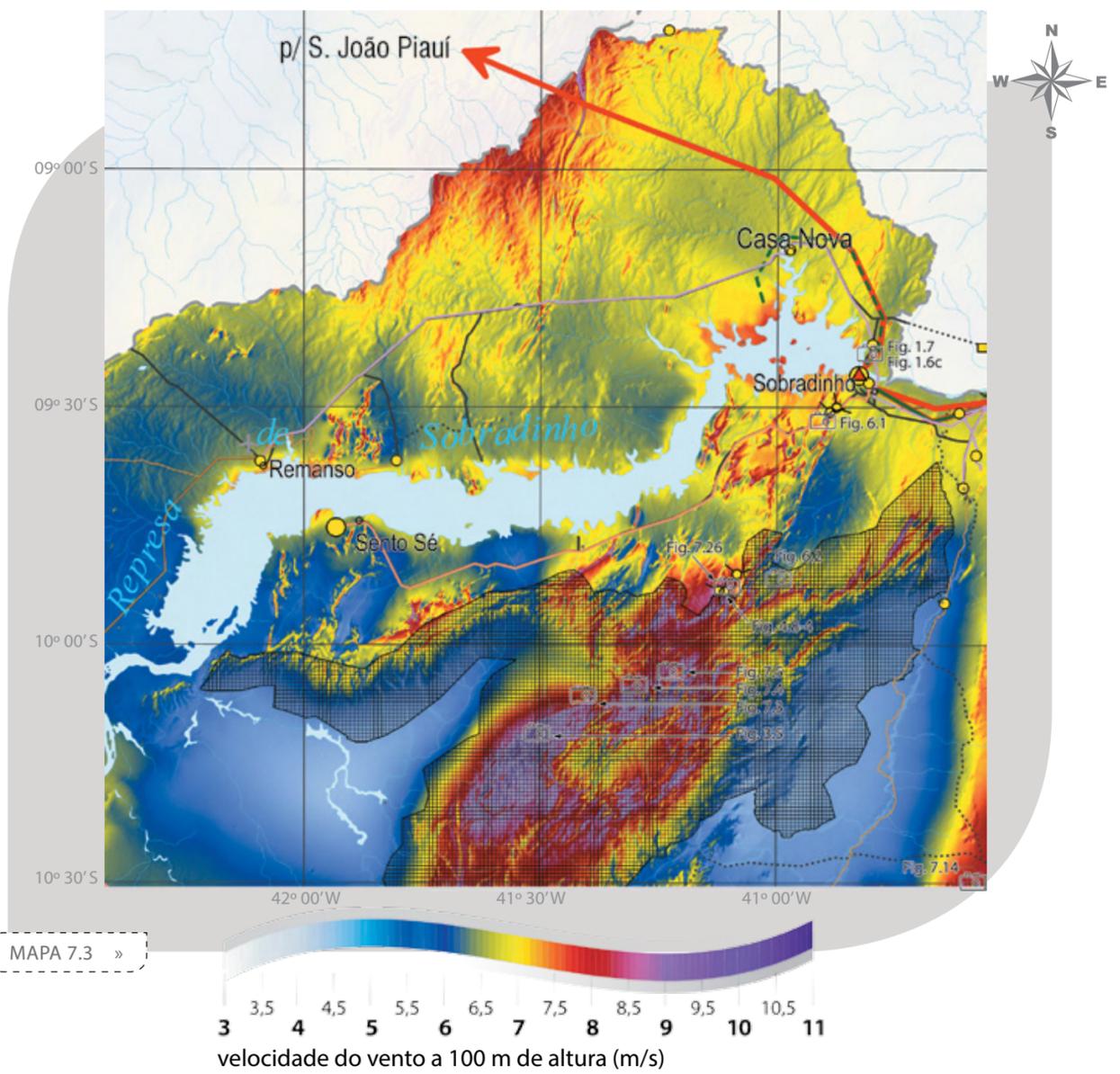
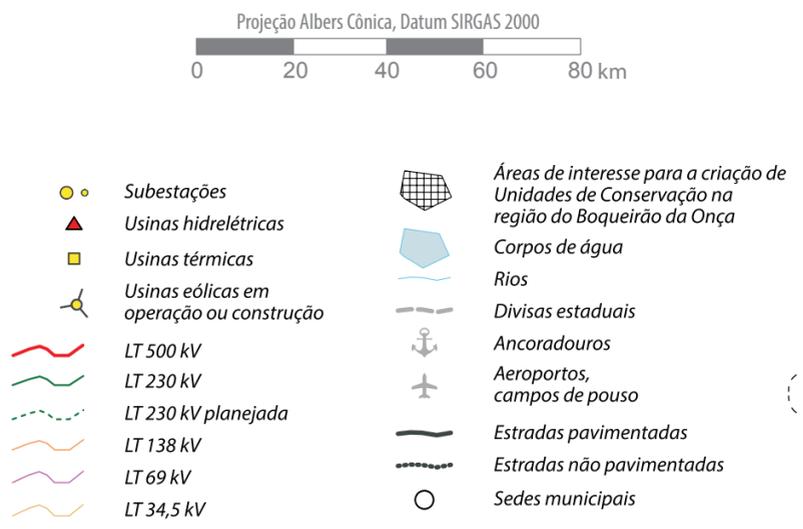


FIGURA 7.2 Principais áreas promissoras para aproveitamentos eólicos no Estado da Bahia.

7.2.1 ÁREA 1: SOBRADINHO, SENTO SÉ E CASA NOVA

Localizada à margem sul do lago de Sobradinho, a região do município de Sento Sé, com 37,4 mil habitantes^[63], é coberta pela caatinga arbustiva e arbórea. Os ventos médios anuais atingem velocidades de até 10 m/s nas maiores elevações. Grande parte da área com potencial para desenvolvimento de projetos eólicos está dentro dos limites de um polígono atualmente em estudo para a formação de Unidades de Conservação (Seção 3.2.1). Na margem norte do Lago, sobre o município de Casa Nova, com 64,9 mil habitantes, sopram ventos com médias anuais de 7,0 m/s, tendo sido verificadas médias de até 8,0 m/s a 100 m de altura em algumas áreas. A Usina Hidrelétrica de Sobradinho, próxima à região, é um possível ponto de conexão ao sistema elétrico. O acesso se dá através das rodovias BA-210 (Sento Sé) e BR-325 (Casa Nova).

Estima-se, para a região ocupada por esses municípios, que as áreas com ventos superiores a 7,0 m/s a 100 m de altura comportem uma capacidade equivalente a 6,2 GW em energia eólica. Esse potencial não leva em consideração a área de interesse para implementação das UCs na região do Boqueirão da Onça; se incluída na estimativa, este montante ultrapassa os 10 GW.



BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[64], ONS^[60], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[75] E GOOGLE EARTH^[56].

FIGURA 7.3 Área no município de Sento Sé.



FIGURA 7.4 Área de chapada no município de Sento Sé, parte do polígono de estudo para criação de UCs do Boqueirão da Onça.

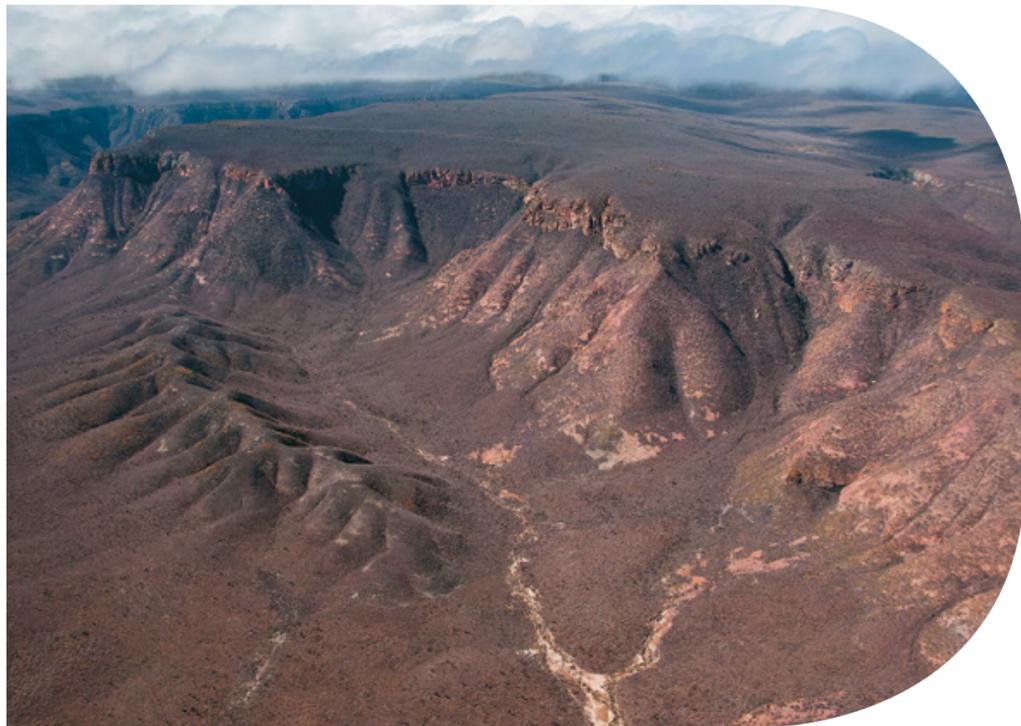
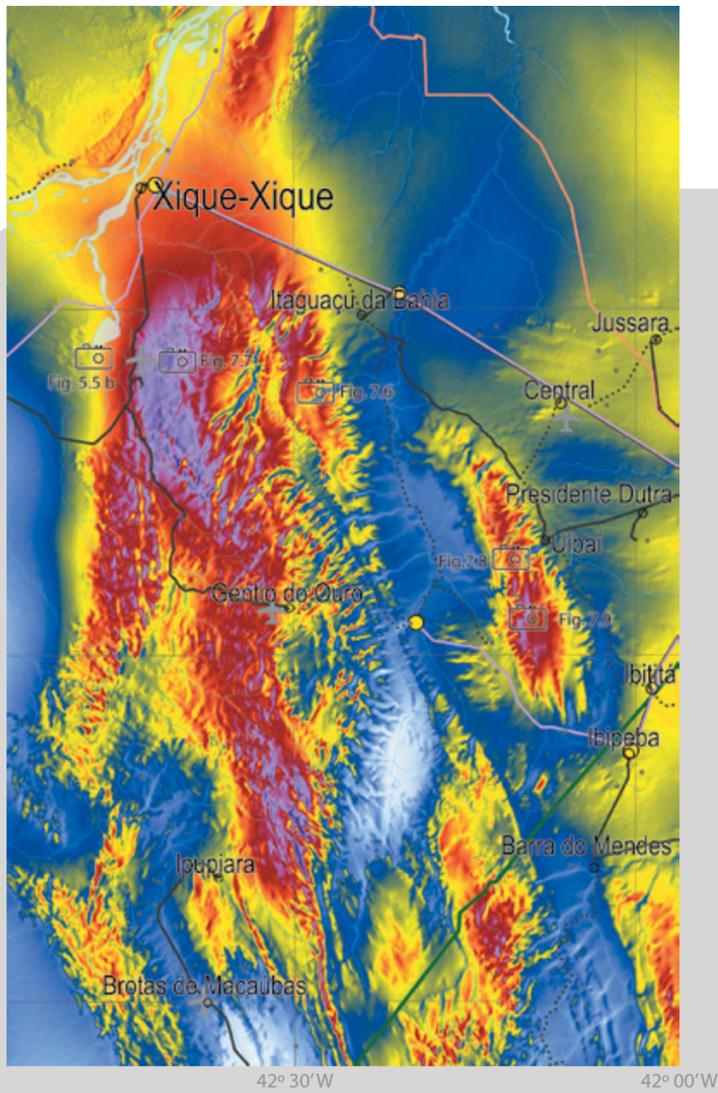


FIGURA 7.5 Área no município de Sento Sé.



FOTOS: ZIG KOCH



7.2.2 ÁREA 2: REGIÃO DAS SERRAS AZUL E DO AÇURUÁ

Na área da Serra do Açuruá, predominam vegetações de caatinga arbustiva e arbórea, florestas estacionais e áreas antropizadas. Os ventos médios anuais alcançam médias anuais de 8,0 a 9,0 m/s nas maiores elevações, a 100 m de altura. O terreno é complexo, de rugosidade intermediária, havendo, entretanto, extensas plataformas elevadas e planas. A Serra Azul, localizada a oeste da Chapada de Irecê, entre os municípios de Uibaí e Ibipêba, caracteriza-se pela cobertura de caatinga arbórea e ventos médios anuais de até 8,5 m/s, a 100 m de altura. A região é cortada por uma linha de transmissão de 230 kV, que interliga as subestações de Irecê e Bom Jesus da Lapa, seccionada na subestação de Brotas de Macaúbas. As principais cidades são Xique-Xique (45 mil habitantes) e Gento do Ouro (10,6 mil). As rodovias BA-052 e BA-805 são as principais vias de acesso às cidades. Estima-se, para a região delimitada pelo Mapa 7.4, uma capacidade instalável de cerca de 7,6 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 m de altura.

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 80 km

- Subestações
- LT 230 kV
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- Rios
- ⚓ Ancoradouros
- ✈ Aeroportos, campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- - - Estradas não pavimentadas
- Sedes municipais

MAPA 7.4 »

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
velocidade do vento a 100 m de altura (m/s)

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[4], ONS^[90], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[75] E GOOGLE EARTH^[56].

FIGURA 7.6 Fronteira entre os municípios de Gento do Ouro, Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia.



ZIG KOCH



FOTOS: ZIG KOCH

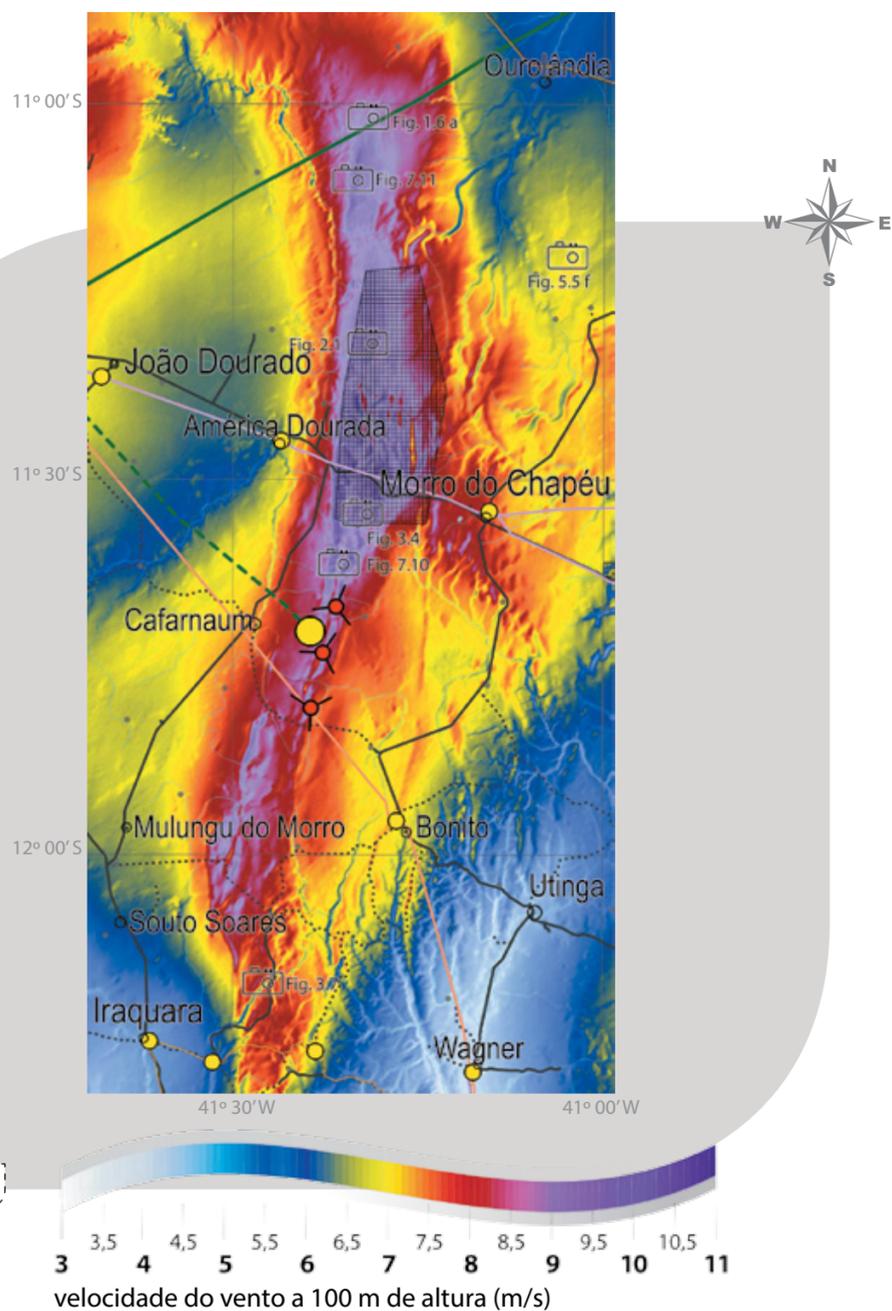
FIGURA 7.7 Municípios de Xique-Xique e Gentio do Ouro.



FIGURA 7.8 Áreas antropizadas na serra entre os municípios de Uibaí e Ibipeba.



FIGURA 7.9 Áreas de vegetação natural na serra entre os municípios de Uibaí e Ibipeba.



BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[4], ONS^[90], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[73] E GOOGLE EARTH^[56].

7.2.3 ÁREA 3: MORRO DO CHAPÉU

Uma das mais elevadas do Estado, fazendo parte da porção oriental da Chapada Diamantina, a região ao redor do município de Morro do Chapéu é coberta por caatinga arbustiva e arbórea, veredas, campos úmidos e floresta estacional. Os ventos médios anuais chegam a 9,0 ou 9,5 m/s nas melhores áreas. Parques eólicos já estão em fase de projeto na região, onde é prevista a instalação da subestação de Morro do Chapéu, a qual será interligada a uma linha de transmissão de 230 kV, que, por sua vez, se conectará à subestação de Irecê. O acesso é dado pelas rodovias BA-052, BA-142 e BA-426. Os sítios mais promissores localizam-se ao sul e ao norte do Parque Estadual de Morro do Chapéu, que ocupa grande parte do território. A capacidade instalável da área, já descontada a área do Parque Estadual (ver explicação no Item 3.2.1) é de cerca de 10 GW; para esse cálculo, foram descontados 1,4 GW correspondentes à área de Proteção Integral da região do Morro do Chapéu.

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 20 40 60 80 km

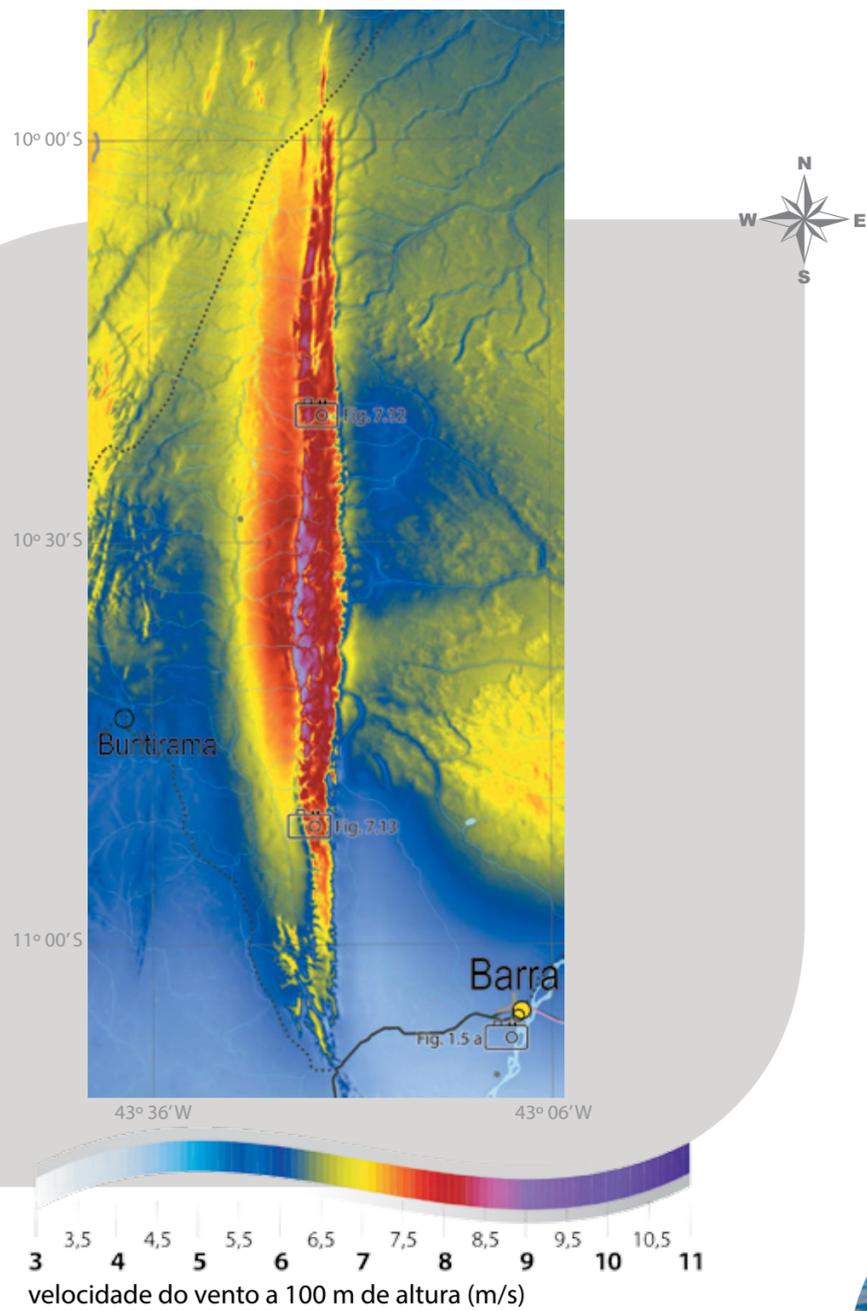
- Subestações
- Usinas eólicas em projeto e com outorga na ANEEL
- Área de Proteção Integral
- Rios
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Sedes municipais
- LT 230 kV
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV



FIGURA 7.10 Região próxima ao sul do Parque Estadual de Morro do Chapéu.



FIGURA 7.11 Proximidades ao norte do Parque Estadual de Morro do Chapéu.



BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[4], ONS^[90], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[79] E GOOGLE EARTH^[56].

FIGURA 7.13 Serra do Estreito, vista para o norte.

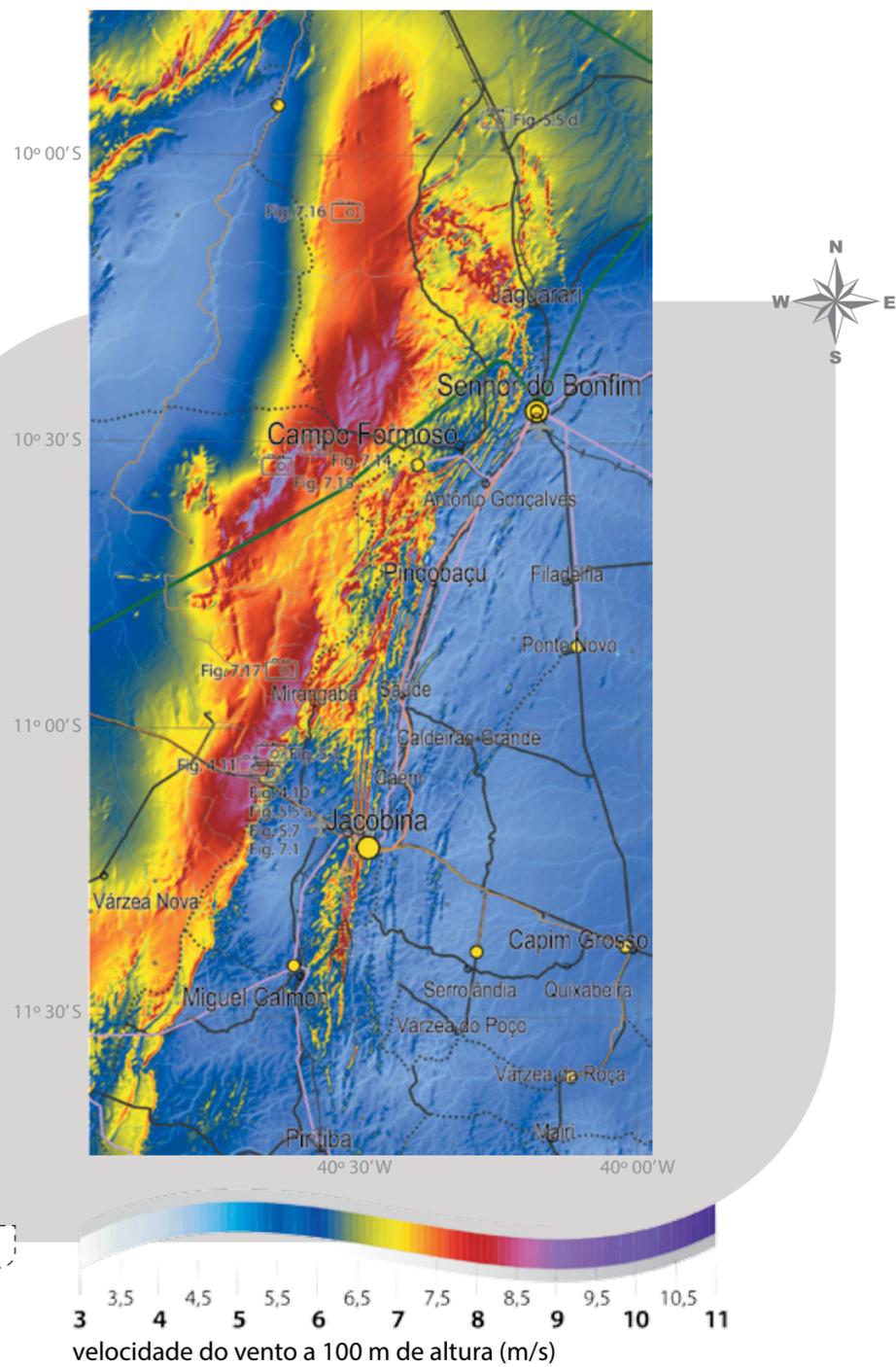


7.2.4 ÁREA 4: SERRA DO ESTREITO

Localizada na região noroeste do Estado e a sudoeste do lago de Sobradinho, a Serra do Estreito possui uma extensão aproximada de 110 km. Trata-se de uma serra estreita, retilínea, razoavelmente plana na porção elevada e com rugosidade caracterizada por vegetação principalmente arbustiva, sobre a qual a velocidade do vento atinge 8,0 m/s a 100 metros de altura nas melhores áreas. O acesso é dado pelas rodovias BA-161 e BA-225. A região é pouquíssimo povoada, e as subestações mais próximas ficam nas cidades de Barra e Xique-Xique, a 30 e 70 km da extremidade sul da Serra, respectivamente, com conexões para 69 kV. A capacidade instalável para a área do Mapa 7.6 é estimada em 2,4 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 m de altura.



FIGURA 7.12 Serra do Estreito.



7.2.5 .ÁREA 5: SERRA DO TOMBADOR

Extensa área de serra pertencente à Chapada Diamantina, com cobertura do solo alternando entre rocha exposta, caatinga arbustiva, caatinga arbórea e floresta estacional. Os ventos médios anuais da região situam-se na faixa de 8,0 m/s, podendo alcançar 9,5 m/s em sítios específicos. Estima-se que a região comporte uma capacidade instalável de cerca de 9 GW em energia eólica nos locais com ventos médios superiores a 7,0 m/s, a 100 m de altura. As principais cidades são Campo Formoso (66,6 mil habitantes), Senhor do Bonfim (74,4 mil habitantes) e Jacobina (79,2 mil habitantes), as quais se acessam pelas BA-131 e BR-324. No sistema elétrico, destaca-se a proximidade da subestação de Senhor do Bonfim, conectada ao Sistema Interligado Nacional através de uma linha de transmissão de 230 kV.

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 20 40 60 80 km

- Subestações
- LT 230 kV
- LT 138 kV
- LT 69 kV
- LT 34,5 kV
- Rios
- Aeroportos, campos de pouso
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Sedes municipais

FIGURA 7.14 Área no município de Campo Formoso.



FIGURA 7.15 Sul do município de Campo Formoso.



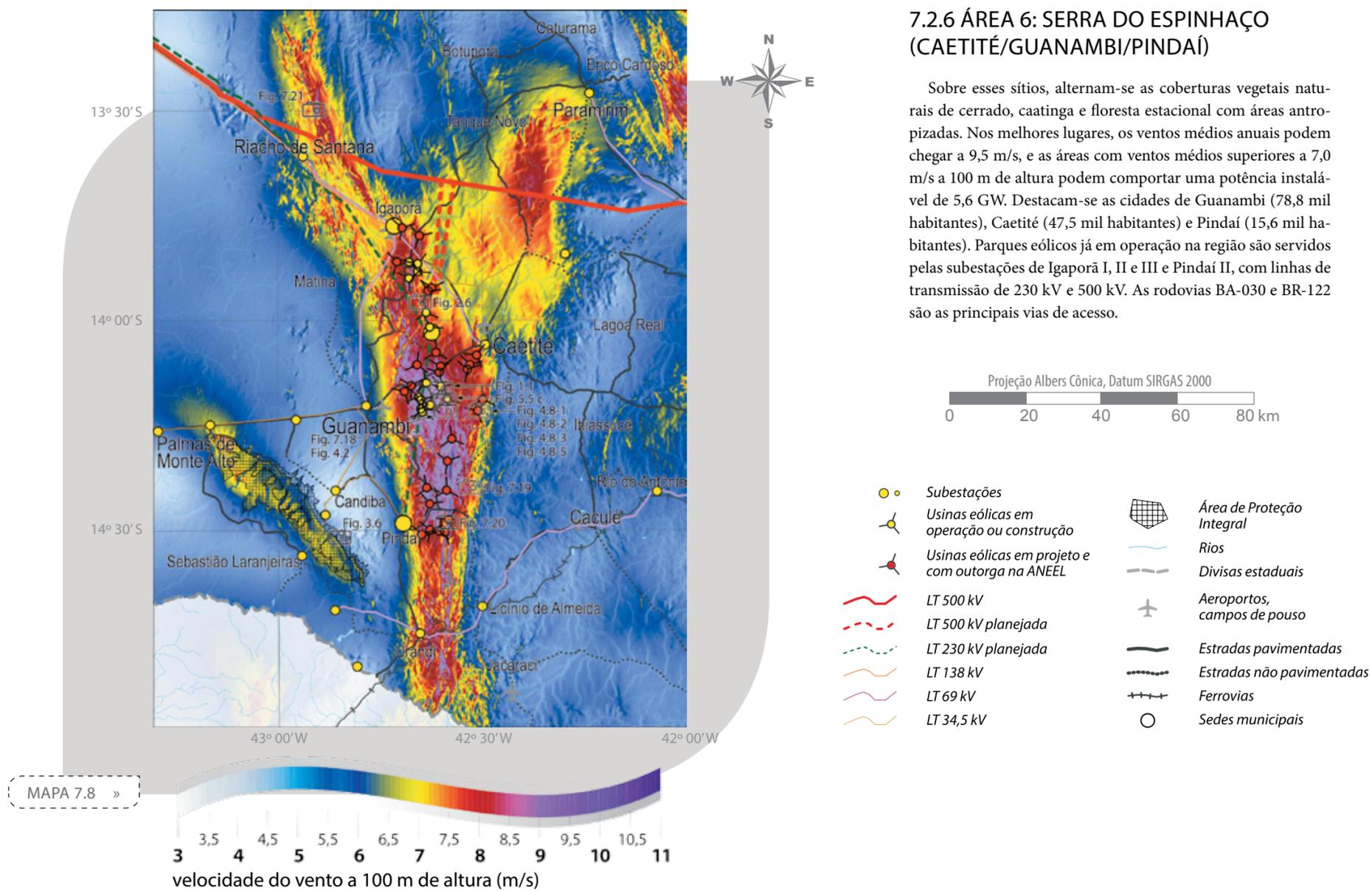
FIGURA 7.16 Área antropizada ao norte do município de Campo Formoso.



FIGURA 7.17 Município de Mirangaba.



FOTOS: ZIG KOCH



BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[4], ONS^[90], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[79] E GOOGLE EARTH^[56].

7.2.6 ÁREA 6: SERRA DO ESPINHAÇO (CAETITÉ/GUANAMBI/PINDAÍ)

Sobre esses sítios, alternam-se as coberturas vegetais naturais de cerrado, caatinga e floresta estacional com áreas antropizadas. Nos melhores lugares, os ventos médios anuais podem chegar a 9,5 m/s, e as áreas com ventos médios superiores a 7,0 m/s a 100 m de altura podem comportar uma potência instalável de 5,6 GW. Destacam-se as cidades de Guanambi (78,8 mil habitantes), Caetité (47,5 mil habitantes) e Pindaí (15,6 mil habitantes). Parques eólicos já em operação na região são servidos pelas subestações de Igaporã I, II e III e Pindaí II, com linhas de transmissão de 230 kV e 500 kV. As rodovias BA-030 e BR-122 são as principais vias de acesso.

FIGURA 7.18 Complexo Eólico Alto Sertão, em Caetité.



ZIG KOCH



FOTOS: ZIG KOCH

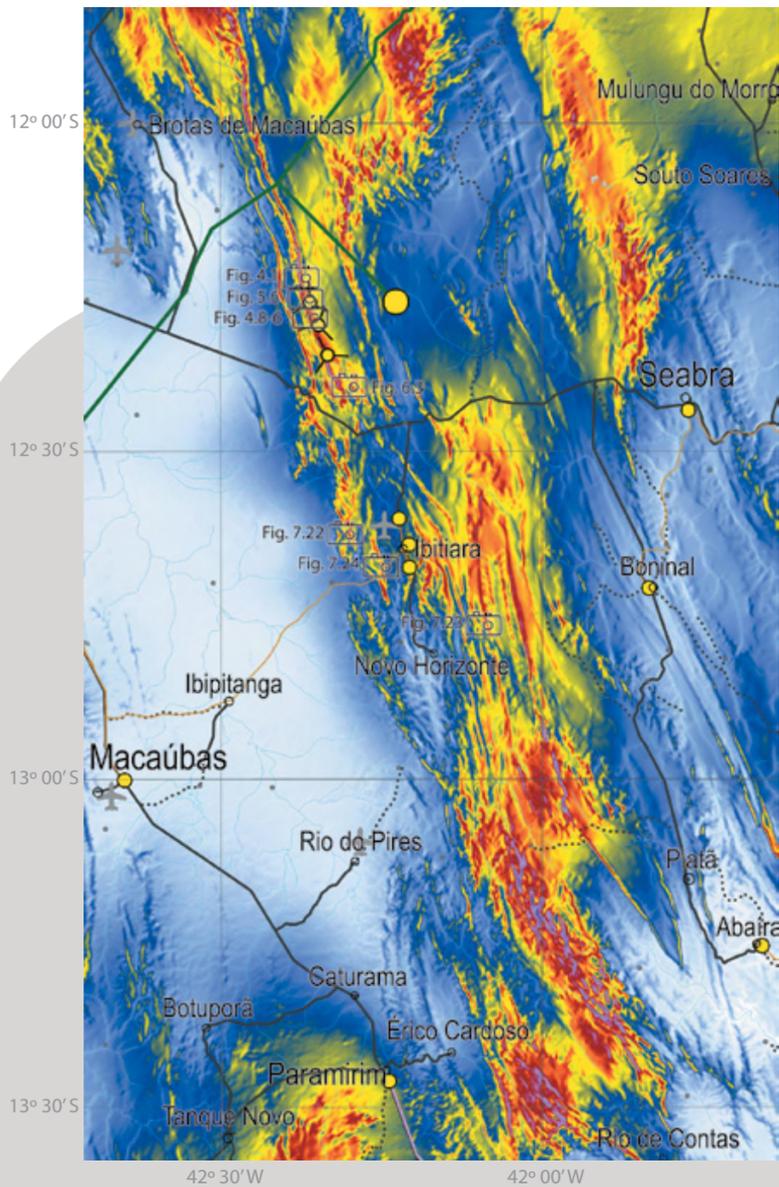
FIGURA 7.19 Sul do município de Caetité.



FIGURA 7.20 Nordeste do município de Pindaí.

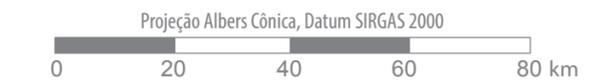
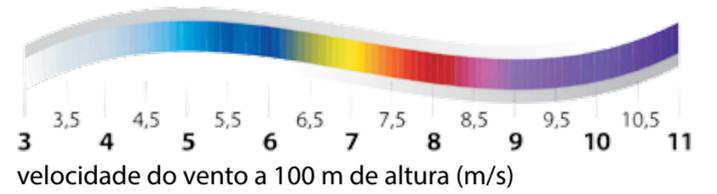


FIGURA 7.21 Nordeste do município de Riacho de Santana.



7.2.7 ÁREA 7: NOVO HORIZONTE, PIATÃ, IBITIARA E BROTAS DE MACAÚBAS

Localizada na porção central do Estado, a região possui terreno complexo, com áreas cobertas pela caatinga, áreas antropizadas e campos abertos nas elevações. O vento possui velocidades médias anuais variando entre 7,5 e 8,0 m/s. A capacidade instalável para a área é estimada em 3,5 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 m de altura. Atendendo a empreendimentos eólicos já instalados na região, o sistema elétrico conta com uma subestação em Brotas de Macaúbas, conectada a uma linha de transmissão de 230 kV. Ao sul, a subestação de Ibicoara está conectada em 500 kV. O acesso à região se dá pela BA-152 e BA-156.



- | | |
|--|-----------------------------|
| Subestações | Rios |
| Usinas eólicas em operação ou construção | Aeroportos, campos de pouso |
| LT 230 kV | Estradas pavimentadas |
| LT 34,5 kV | Estradas não pavimentadas |
| | Sedes municipais |

MAPA 7.9 »

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, DERBA, IBGE^[61], ANEEL^[4], ONS^[90], BRASIL ENERGIA^[17], INEMA, MMA^[75] E GOOGLE EARTH^[56].

FIGURA 7.22 Região montanhosa do município de Ibitiara.



ZIG KOCH



FIGURA 7.23 Região do município de Novo Horizonte.

FIGURA 7.24 Região do município de Ibitiara.



Além das áreas analisadas, há várias outras com características técnicas adequadas ao desenvolvimento da energia eólica, indicadas pelo mapeamento do potencial eólico da Bahia. Entre elas, destacam-se, no extremo oeste baiano, os municípios de Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Correntina e Jaborandi. Se comparado às áreas indicadas primordialmente como mais promissoras, no entanto, o Extremo Oeste apresenta mais dificuldades com relação a acesso e interligação ao Sistema Elétrico. Essas características, somadas à do regime de vento local, menos intenso que nas regiões das Chapadas no centro do Estado, sugerem que projetos de parques eólicos nessa porção do Estado possam vir a tornar-se competitivos com o passar dos anos, à medida que as melhores áreas sejam ocupadas e que o custo dos aerogeradores no país diminua, admitindo-se a continuidade da tendência dos últimos anos (Capítulo 4). Vale afirmar, ainda, que as medições realizadas nessa porção do Estado, e que validaram o mapeamento, foram realizadas em alturas de até 40 m e com anemômetros não calibrados, condições que aumentam as incertezas das medições. Uma conclusão definitiva quanto a esse potencial só é

possível com a instalação de torres de medição no padrão da indústria eólica no estado da arte.

Uma situação semelhante se observa no nordeste do Estado, nos municípios de Glória, Rodelas, Macururé, Chorrochó, Abarré, Curaçá, Uauá, Canudos e Jeremoabo. O mapeamento eólico realizado aponta áreas nesses locais com velocidades médias anuais superiores a 7,0 m/s, a 100 m de altura. A região é cortada por 2 linhas de transmissão em 500 kV, que interligam as subestações da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga com Juazeiro II.

Por fim, a região do sul da Bahia apresenta áreas fragmentadas com potencial eólico tecnicamente viável para o desenvolvimento de projetos, porém, com impedimentos, devido à presença de UCs de Proteção Integral e a dificuldades relacionadas à complexidade do terreno.

Uma campanha de medições nas regiões não exploradas do Estado está prevista para os próximos anos, com o objetivo de confirmar e refinar o mapeamento eólico destas áreas e estimular o seu desenvolvimento.



FIGURA 7.25 Região do município de Rodelas, nordeste do Estado da Bahia.

7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de usinas eólicas, nas áreas aqui indicadas como mais promissoras, requer campanhas de medições e estudos específicos de mapeamento e *micrositing* para 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 através de anemometria qualificada e avançadas técnicas de modelamento e simulação numérica, variações significativas em torno da média podem ocorrer na microescala, dada a sensibilidade do vento às características locais de relevo, rugosidade e ocorrência de obstáculos.

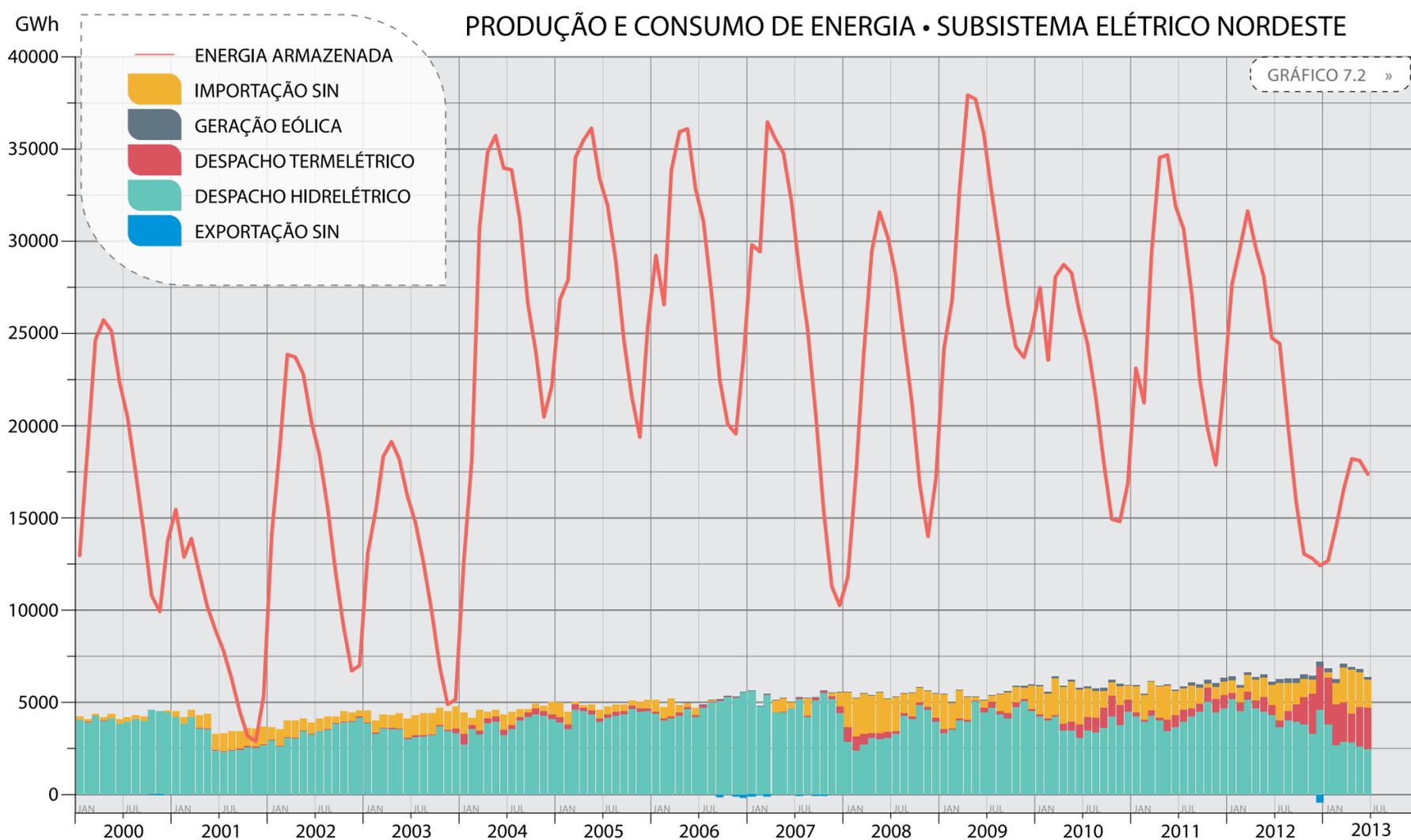
O potencial de geração eólica do Estado da Bahia é de 70 GW a 100 m de altura para as áreas com ventos superiores a 7,0 m/s e poderá ser aproveitado gradativamente, nos limites de inserção do Sistema Elétrico do país. O aproveitamento da energia dos ventos pode, de modo complementar, alavancar o crescimento econômico com a exportação energética para outros estados, promovendo avanços para a qualidade de vida da população.

Além disso, é notável a complementariedade entre o regime mensal eólico e hídrico, no sentido em que, na estação seca, a geração eólica reduz a pressão pelo despacho da água represada nos reservatórios para geração hidrelétrica, incrementando indiretamente a capacidade de armazenamento do sistema. O Mapa 6.12 e a Tabela 7.2 mostram que o período em que o

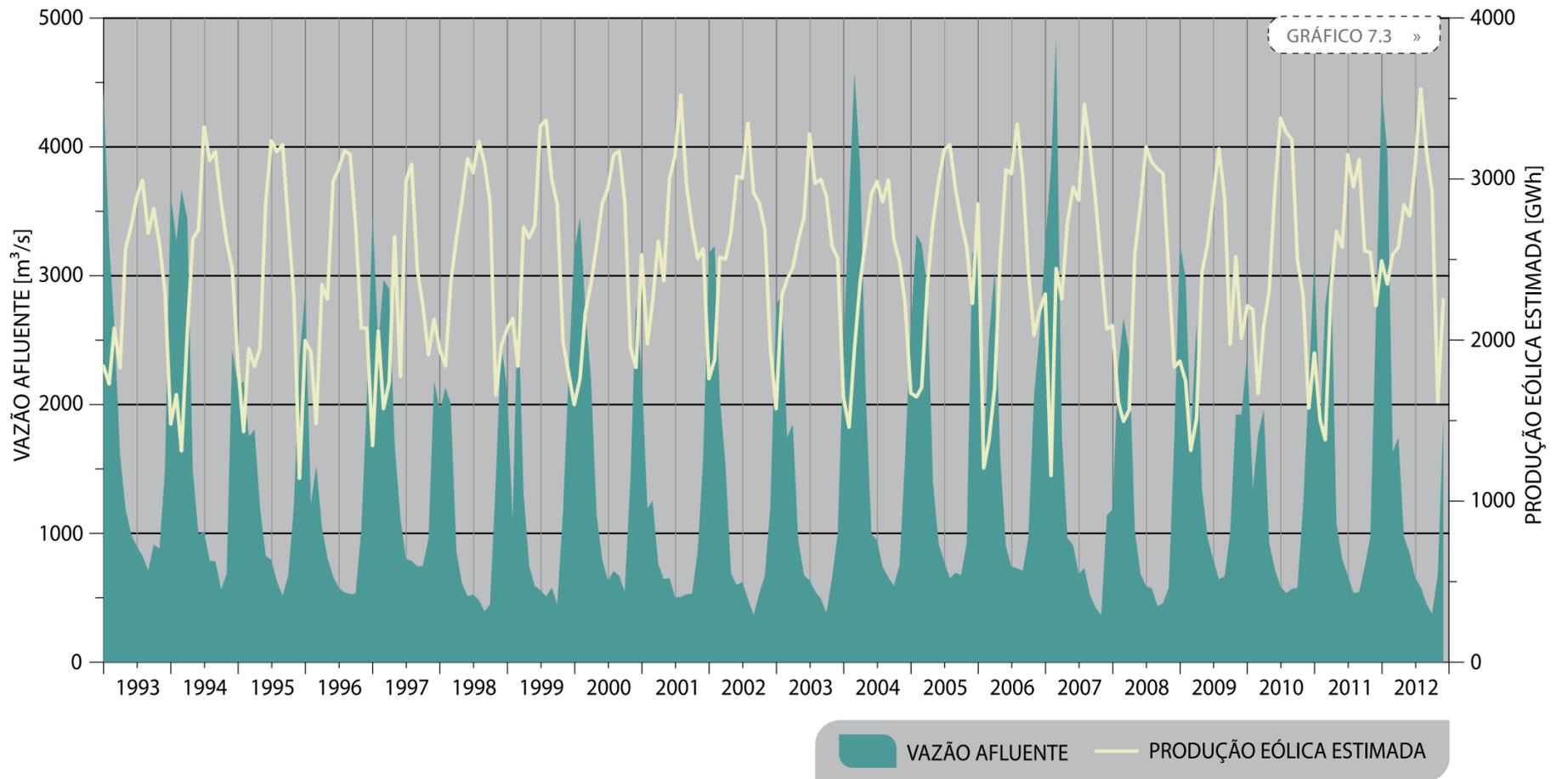
vento tem a maior intensidade coincide justamente com a estação seca, ou seja, o período de menor vazão^[92] das bacias hidrográficas da região Nordeste. Conforme se pode observar no Gráfico 7.2, durante essa estação, diminuem progressivamente os níveis dos reservatórios.

O Gráfico 7.3 apresenta uma simulação de geração de um complexo eólico hipotético de 8 GW, distribuído em diversas áreas promissoras do Estado da Bahia, sobreposta à vazão afluyente do rio São Francisco em Sobradinho (este rio conta com aproximadamente 10 GW de potência instalada em seus diversos aproveitamentos hidráulicos). Essa propícia adequabilidade do regime eólico do Nordeste, com destaque para o potencial baiano, pode colaborar para a mitigação dos riscos hidrológicos inerentes à matriz hidrelétrica, especialmente durante o período seco.

No mês de julho/2013, o nível dos reservatórios esteve próximo ao mínimo do ano de 2001, quando o Brasil precisou fazer racionamento de energia. Desde então, o país adota uma política de utilização e implementação das usinas termelétricas, com incremento anual do despacho desta fonte para evitar novas crises, conforme se nota no Gráfico 7.2. A energia eólica, de custo sensivelmente menor e com grande potencial concentrado no Estado da Bahia, coloca-se, portanto, como uma alternativa mais econômica e de caráter renovável para a obtenção da segurança energética do país e, especialmente, da região Nordeste.



VAZÃO DO RIO SÃO FRANCISCO X SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO EÓLICA [8 GW]



FONTE: ONS^[92]



BRENNAND ENERGIA EÓLICA S.A.

FIGURA 7.26 Usinas Eólicas Pedra Branca, São Pedro do Lago e Sete Gameleiras.

- [1] ABBE, C. **The Aims and Method of Meteorological Work**. Baltimore, EUA: The Johns Hopkins Press, 1899.
- [2] ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO SÃO FRANCISCO – AHSFRA. Disponível em: <www.ahsfra.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 23 set. 2013.
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <sigel.aneel.gov.br> Acesso em: 19 abr. 2013.
- [5] AMARAL, A. C. A. et al. **Plano de ação nacional para a conservação da arara-azul-de-lear**. 2. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, 2012.
- [6] AMARANTE, O. A. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará**. Fortaleza: SEINFRA/CE, 2001.
- [7] AMARANTE, O. A.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Rio de Janeiro: MME/ELETOBRÁS/CEPEL, 2001.
- [8] AWS TRUEPOWER. **WindMap CMD 2.1.0**. Albany, NY: AWS Truepower, 2012.
- [9] BAHIA. Decreto 7.413 de 17 de agosto de 1998. Cria o Parque Estadual do Morro do Chapéu. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2013.
- [10] BAHIA. Decreto 9.957 de 30 de março de 2006. Cria a Área de Proteção Ambiental – APA do Lago de Sobradinho. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2013.
- [11] BAHIA. Decreto 12.744 de 12 de abril de 2011. Revoga o Decreto 7.413, de 17 de agosto de 1998, que dispõe sobre a necessidade de definição da poligonal do Parque Estadual Morro do Chapéu e dá outras providências. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 17 set. 2013.
- [12] BAHIA. Decreto 12.810 de 2 de maio de 2011. Torna sem efeito as disposições do Decreto 12.744, de 12 de abril de 2011. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 17 set. 2013.
- [13] BAHIA. Lei 10.431 de 20 de dezembro de 2006. Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia. Disponível em: <www.seia.ba.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [14] BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [15] 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.
- [16] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988, Artigo 231. Capítulo VIII, dos Índios. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [17] BRASIL ENERGIA. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição**. Rio de Janeiro: Editora Brasil Energia Ltda, 2012. 1 mapa: color.; 115 x 85 cm. Escala 1 : 5 500 000.
- [18] BRASIL. Decreto 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 Artigo 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [19] BRASIL. Decreto 5.025 de 30 de março de 2004. Dispõe 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.
- [20] BRASIL. Decreto 88.218 de 6 de abril de 1983. Cria o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 23 set. 2013.
- [21] BRASIL. Decreto-Lei 25 de 30 de novembro de 1937. Lei do Tombamento. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2011.
- [22] BRASIL. Lei 6.001 de 19 de dezembro de 1973. Estatuto do Índio. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [23] BRASIL. Lei 8.629 de 25 de fevereiro de 2003. 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.
- [24] BRASIL. Lei 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [25] BRASIL. Lei 99.274 de 6 de junho de 1990. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [26] BROWER, M.; BAILEY, B.; ZACK, J. **Micrositing Using the MesoMap System**. Portland, Oregon: American Wind Energy Association, 2002.
- [27] BUREAU OF OCEAN ENERGY MANAGEMENT – BOEM. **Offshore Wind Energy**. Disponível em: <www.boem.gov> Acesso em: 18 ago. 2013.
- [28] BURTON, T. et al. **Wind energy handbook**. 2. ed. Chichester, West Sussex: Wiley, 2011. 617 p.
- [29] BUSINGER, J. A. Turbulence Transfer in the Atmospheric Boundary Layer. In: HAUGEN, D. A. **Workshop on Micrometeorology**. Boston, EUA: American Meteorological Society, 1973.
- [30] BUTLER, C. J. **A Short History of Armagh Observatory**. Armagh Observatory. Disponível em: <http://star.arm.ac.uk> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [31] CENTRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – CRAD. **Nova proposta elaborada para região do Boqueirão da Onça**. 1 mapa. pb.; 21 x 29 cm. CRAD, 2011.
- [32] 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.
- [33] COMPANHIA DE ELETRICIDADE DA BAHIA – COELBA. **Central de Resultados**. Disponível em: <www.coelba.com.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [34] COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DA BAHIA – CODEBA. **Infraestrutura**. Disponível em: <www.codeba.com.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [35] COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF. **Sistemas de Transmissão**. Disponível em: <www.chesf.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [36] CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – CEPAM. Resolução 4.180 de 29 de abril de 2011. Dispõe sobre o Processo de Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica a partir de fonte eólica no Estado da Bahia. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [37] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 1 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [38] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 6 de setembro de 1987. Edita regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tenha interesse relevante como a geração de energia elétrica. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [39] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 237 de 19 de dezembro de 1997. Institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [40] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 279 de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [41] CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH – CGIAR. **SRTM 90m Digital Elevation Data**. Disponível em: <srtm.cgiar.org> Acesso em: 30 jul. 2012.
- [42] CUTLER, B. S. **Statistical Abstract of the United States**. Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office, 1919.
- [43] DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DA BAHIA – DERBA. **DERBA – Institucional**. Portal. Disponível em: <www.derba.ba.gov.br> Acesso em: 24 jul. 2013.
- [44] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Rede Rodoviária do Plano Nacional de Viação – Divisão em Trechos 2013**. Disponível em: <www.dnit.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [45] DEWI – INSTITUTO ALEMÃO DE ENERGIA EÓLICA. **Energia Eólica**. (Traduzido pela Eletrobrás) – Wilhelmshaven, Alemanha: DEWI, 1998.
- [46] DYER, A. J. A Review of Flux-Profile Relationships. **Boundary Layer Meteorology**, v. 7, p. 363-372, 1º jan 1974.
- [47] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional 2013: Ano Base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.
- [48] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Estudos para Licitação da Expansão da Transmissão – Programa de Expansão da Transmissão 2013-2017**. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 21 mar. 2013.
- [49] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Leilões**. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 15 jul. 2013.
- [50] FERROVIA CENTRO ATLÂNTICA S.A. **Ferrovias Centro Atlântica S.A.** Disponível em: <www.fcasa.com.br> Acesso em: 12 ago. 2013.
- [51] FINGERSH, L.; HAND, M.; LAXSON, A. **Wind Turbine Design Cost and Scaling Model**. NREL/TP-500-40566, National Renewable Energy Laboratory, USA. 2006.
- [52] FINLAY, C. C. et al. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation. **Geophysical Journal International**, v. 183: 1216–1230, 2010.
- [53] FREIRE, R. R.; OLIVEIRA, M.; CARVALHO, A. D. **Caracterização dos Aspectos Biológicos, Socioeconômicos e Fundiários para subsidiar a redefinição dos limites do Parque Estadual do Morro do Chapéu**. Brasília, 2011. Disponível em: <www.inema.ba.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2013.
- [54] 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.
- [55] FUKUDA, J. C. et al. Utilização de Pesquisa Básica e Ferramentas de Modelagem Espacial no Processo de Criação de Unidades de Conservação na Região do Boqueirão da Onça (Bahia). In: **Anais do II Seminário de Pesquisa e Iniciação**

Científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade: biodiversidade e economia, p. 4, 19 ago. 2010.

[56] GOOGLE. **Google Earth 7.1.1.18888**. Utilizado para aferir a localização de elementos do mapa de infraestrutura. Disponível em: <<http://earth.google.com>> Acesso em: 05/08/2012.

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

[58] HÜTTER, ULRICH. In: THE ENCYCLOPEDIA of Earth. Disponível em: <www.eoearth.org> Acesso em: 9 jul. 2013.

[59] INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades**. Traduzido de: Le Système international d'Unités = The International System of Units. 8. ed. 2006. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 94 p.

[60] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 2013. v. 72.

[61] 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.

[62] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua 1: 250.000**, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>> Acesso em: 19 fev. 2013.

[63] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 17 set. 2013.

[64] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal Digital 2010**. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>> Acesso em: 15 mar. 2013.

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

[66] INSTITUTO CHICO MENDES – ICMBio. Disponível em: <<http://institutochicomendes.org.br>> Acesso em: 25 jun. 2013.

[67] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA – INEMA. **Unidades de Conservação e Vegetação – Estado da Bahia**. Salvador: INEMA, 2011. 1 mapa: color.; 97 x 89 cm. Escala 1 : 1 250 000.

[68] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA – INEMA. **Parque Estadual do Morro do Chapéu**. Disponível em: <www.inema.ba.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2013.

[69] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA – INEMA. **Uso e Cobertura do Solo**. Salvador, 2011. 1 mapa: color.; 841 x 594 cm. Escala 1:125.000.

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

[71] KRISTENSEN, L. **The Cup Anemometer – and Other Exciting Instruments**. Roskilde, Dinamarca, 1993. Tese de Doutorado: Risø National Laboratory, Risø-R-615(EN).

[72] 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.

[73] LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5th ed. New York: Wiley, 2004. 763 p.

[74] LYRA, G. B. Parâmetros de rugosidade aerodinâmica sobre vegetação esparsa em região semi-árida. **Rev. bras. meteorol.**, v. 22, n. 1, São Paulo, ago. 2007.

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

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

[77] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. 148 p.

[78] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Mapas e Geoinformações**. Disponível em: <www.transportes.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.

[79] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Portaria 66 de 7 de agosto de 2013. Define os montantes de garantia física de energia dos empreendimentos com vistas à participação no Leilão de Contratação de Energia de Reserva. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 7 ago. 2013.

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

[81] MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA. Recomendação 1 de 14 de abril de 2011. Recomenda a revogação do Decreto Estadual 12.744/2011, o qual extinguiu o Parque Estadual Morro do Chapéu. Promotores: Edna Márcia Souza Barreto de Oliveira, Luciana Espinheira da Costa Khoury. Disponível em: <www.mpba.mp.br> Acesso em: 11 ago. 2013.

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

[83] MORTENSEN, N.G.; LANDBERG, L.; RATHMANN, O.; FRANK, H.P.; TROEN, I.; PETERSEN, E.L. **Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)**. Wind Energy Department: Scientific and technical progress 1999-2000. ed. / B. Skrumsager; G.C. Larsen. Vol. Risø-R-1239(EN) 2001.

[84] MUSIAL, W.; RAM, B. **Energy from Offshore Wind: Preprint**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2006.

[85] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Landsat 7**. Disponível em: <science1.nasa.gov> Acesso em: 9 abr. 2013.

[86] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov> Acesso em: 26 ago. 2012.

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

[88] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.); NATIONAL ACADEMIES PRESS (U.S.). **Environmental impacts of wind-energy projects**. Washington, D.C: National Academies Press, 2007. 267 p.

[89] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Energia Armazenada**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 17 ago. 2013.

[90] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Mapas do SIN**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 19 jun. 2013.

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

[92] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Séries Históricas de Vazão**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 17 ago. 2013.

[93] PEDERSEN, B. M. et al. Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation**. 1. Ed. Genebra, Suíça: IEA, 1999.

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

[95] PHILLIPS, G. T. **A Preliminary User's Guide for the NOABL Objective Analysis Code**. California, EUA: U. S. Department of Energy, 1979.

[96] REIS, T. G. **Impacto dos Eventos Extremos de ENOS nas Precipitações Sazonais do Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 31 mar. 2006.

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

[98] RODRIGUES, R. R. et al. The Impacts of Inter-El Niño Variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil Climate. **Journal of Climate**, v. 24, n. 13, p. 3402–3422, 28 jan. 2011.

[99] 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.

[100] SAMPAIO, J. A. L. **História e Presença dos Povos Indígenas na Bahia**. Associação Nacional de Ação Indigenista. Disponível em: <www.anai.org.br> Acesso em: 2013.

[101] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA (BAHIA). **Balanco Energético 2012: Série 1995-2011**. Salvador: CODEN, 2012.

[102] 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.

[103] SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

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

[105] STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Dordrecht, Holanda: Atmospheric Sciences Library, Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.

[106] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Bahia em Números**. Disponível em: <www.sei.ba.gov.br> Acesso em: 9 jul. 2013.

[107] VALEC ENGENHARIA, CONSTRUÇÕES E FERROVIAS S.A. **Mapas das Ferrovias VALEC**. Disponível em: <www.valec.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2013.

[108] VAN DER HOVEN, I. Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in the Frequency Range from 0.0007 to 900 cycles per hour. **Journal of Meteorology**, v. 14, p. 5, out. 1956.

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

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

[111] WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. **The Windicator**. 2013.

[112] WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey Of Energy Resources**. Reino Unido: World Energy Council, 1995.

CAPÍTULO 1 - O ESTADO DA BAHIA

1A 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^[85] 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^[91].

1B 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^[104].

WATT || unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades equivalente a um joule por segundo (1 J/s)^[59].

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^[109].

2A BARLAVENTO || direção de onde sopra o vento.

2B 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.

2C 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.

2D BRISA MARÍTIMA || circulação de ar que se move durante o dia, do mar em direção à terra, devido ao aquecimento da superfície terrestre.

2E BRISA TERRESTRE || circulação de ar que se move durante a noite, da terra em direção ao mar, devido ao resfriamento da superfície terrestre.

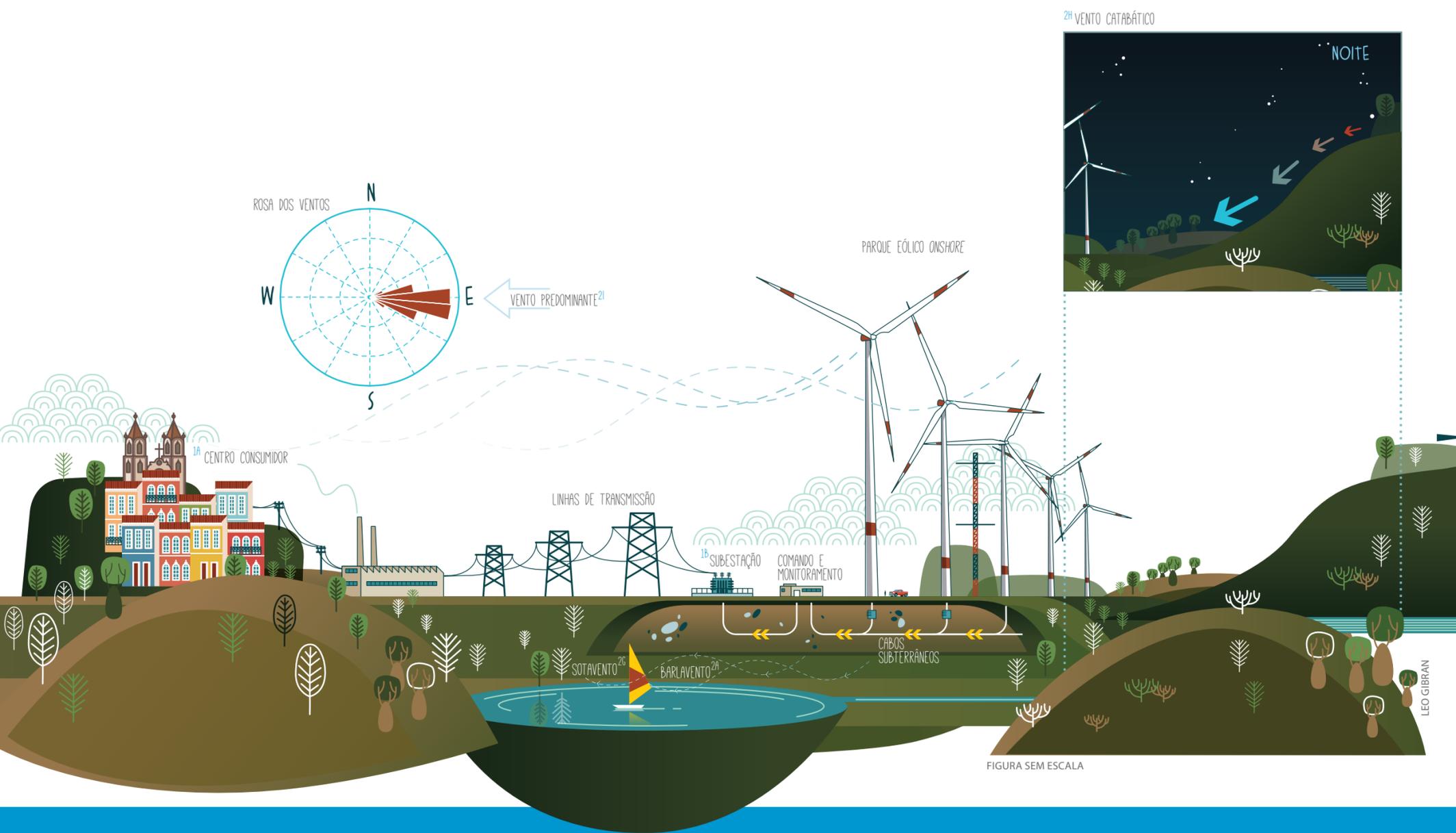


FIGURA SEM ESCALA

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^[57].

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^{[57][105]}.

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 hemisfério sul, para a sua esquerda”; em meteorologia, é um fenômeno fundamental para explicar os movimentos das massas de ar e a circulação atmosférica^[94].

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.

METEOLOGIA 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^{[57][109]}.

METEOLOGIA 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^{[57][109]}.

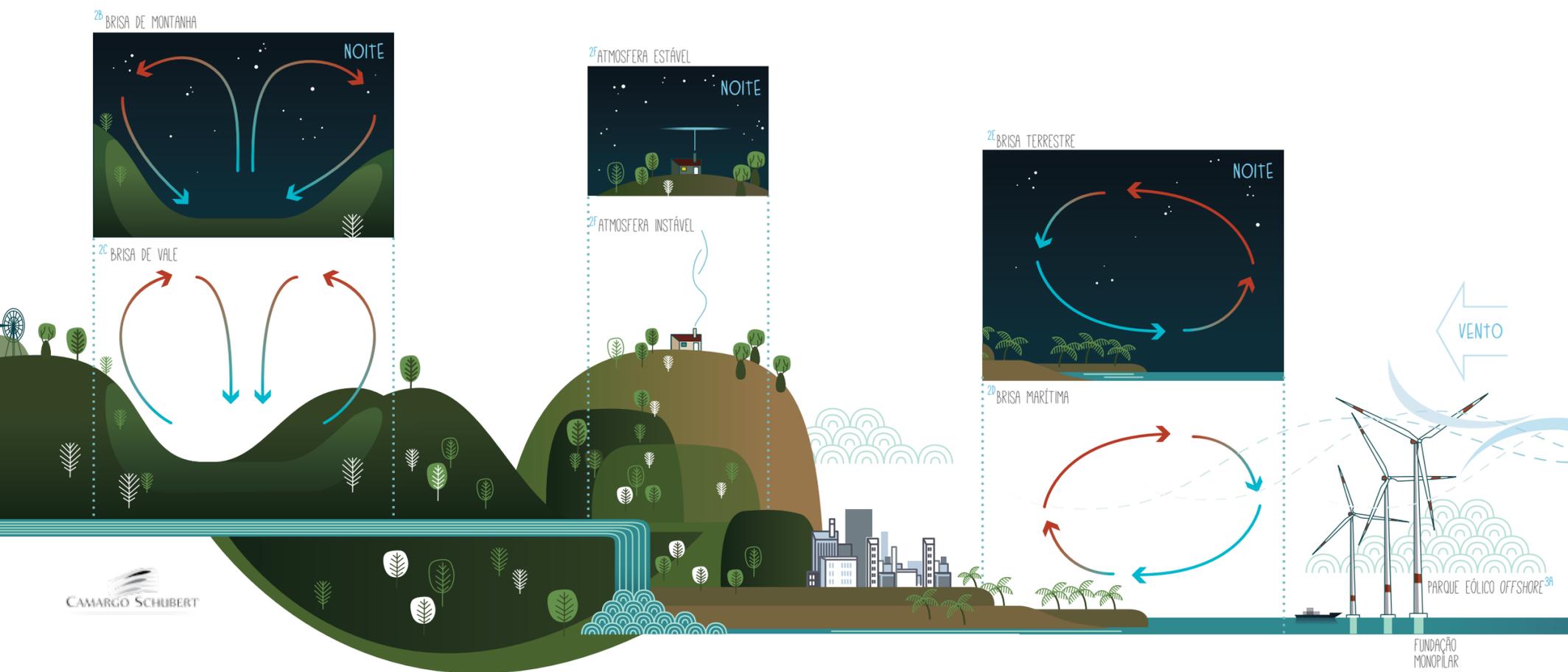
METEOLOGIA SINÓTICA || ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala de centenas de quilômetros, espacialmente, e de dias a meses, temporalmente; exemplos de fenômenos sinóticos são os ciclones, as depressões, os deslocamentos das massas das ar, as frentes e os anticiclones^{[57][109]}.

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^[110].

VENTO GEOSTRÓFICO || vento horizontal teórico que escoa na atmosfera livre, no topo da camada-limite, seguindo trajetórias retilíneas, definido pelo balanço de forças entre o efeito Coriolis e o gradiente de pressão; de grande importância para o entendimento da circulação atmosférica, os ventos puramente geostróficos não ocorrem na atmosfera real, pois há perdas por fricção e anomalias de pressão^{[57][109]}.

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^[112].

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^[88].

CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA

AEROGERADOR || conjunto eletromecânico utilizado para converter a energia do vento em energia elétrica, composto, na versão moderna, por torre, nacelle (abrigo do 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^[28].

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 Applications* || 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*^[97].

MESOMAP || conjunto de processos para modelagem numérica da atmosfera em mesoescala para levantamento dos recursos eólicos; baseia-se no modelo MASS^[26], 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; estas 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^[73].

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 *Meso-Map*^{[81][26]}, 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^[28].

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.

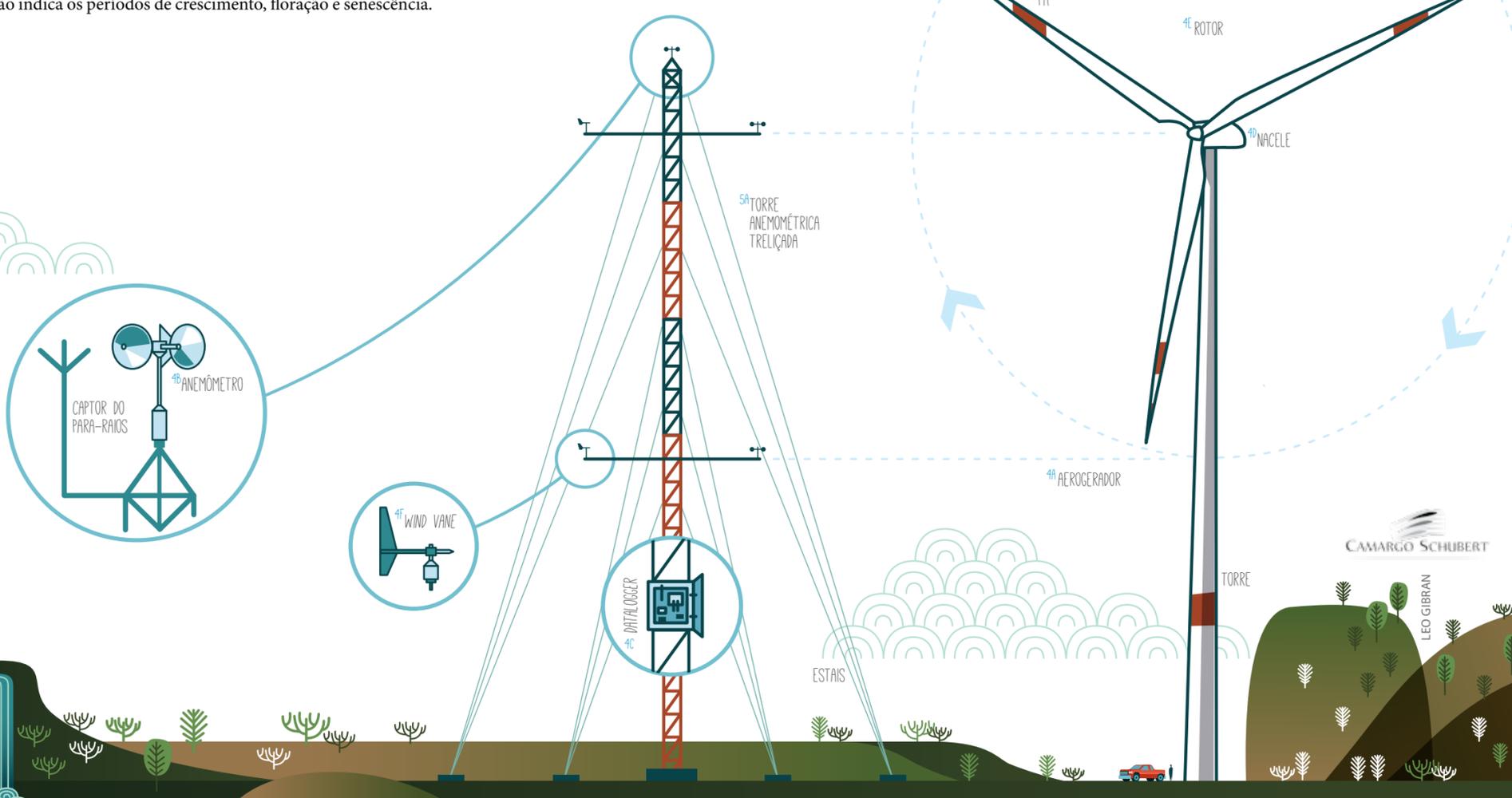
DISPONIBILIDADE || percentual médio do tempo durante o qual um aerogerador fica em operação ao longo de um determinado período.

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 através 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.



O SISTEMA MESOMAP

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

B.1 O MÓDULO MASS

O núcleo do *MesoMap* é o *Mesoscale Atmospheric Simulation System – MASS*^[26], 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.

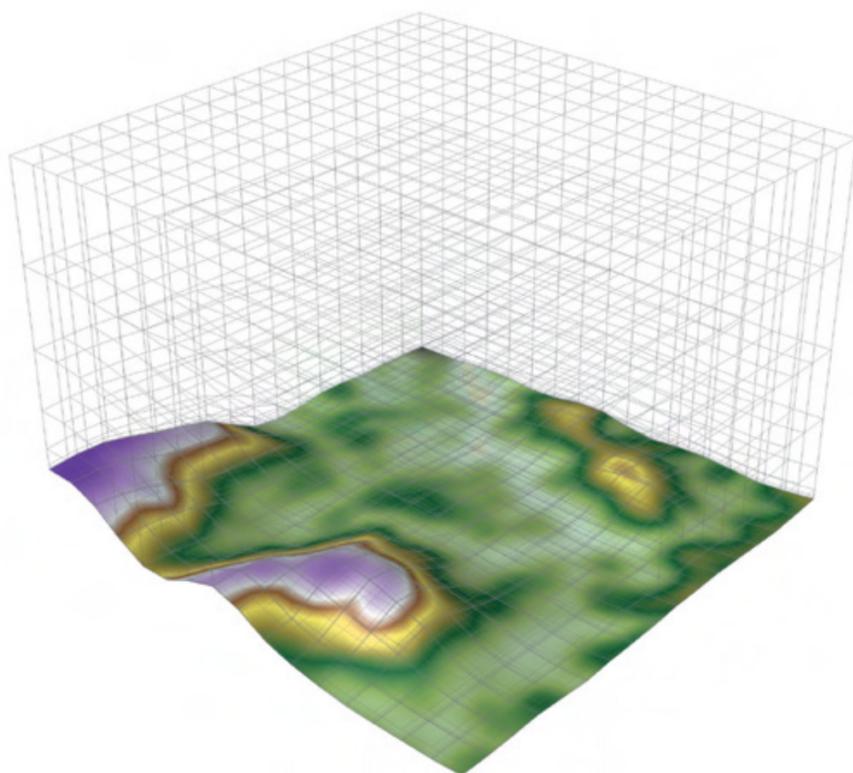
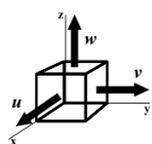


FIGURA B.1 Domínio tridimensional de cálculo do *WindMap*: a malha concentra mais elementos na região próxima à superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos.

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.

B.2 O MÓDULO WINDMAP

No presente caso, 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.

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*^[95], 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 através de 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 m 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^[105]. 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 a Figura B.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.

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:

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

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

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

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 $\tau_h = \tau_v = \text{constante}$, 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^[95].

A Lei Logarítmica expressa na Seção C.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^[105]:

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

onde Ψ é uma função empírica da estratificação térmica da atmosfera^{[29][46]} e L é o Comprimento de Estabilidade de Obukhov. O software *WindMap* realiza, através da escolha de diferentes valores de L , a simulação de condições de atmosfera neutra, instável e estável. Stull^[105] apresenta as funções de similaridade ($\Psi(\zeta)$, $\zeta = z/L$) para as diferentes condições de estabilidade atmosférica.

Nos cálculos do mapeamento do potencial eólico da Bahia, 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.

C.1 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A Distribuição Estatística de Weibull^[99] 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

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

No Gráfico C.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^[99]

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

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^[6].

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

$$\bar{u} = \int_0^{\infty} u f(u) du = C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

onde a Função Gama (Γ) é definida por

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

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

O Fluxo ou Densidade de Potência Eólica é definido como

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

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

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

onde ρ é a densidade do ar^[83]. O Gráfico C.2 apresenta exemplos da variação do fluxo de potência eólica em função da velocidade do vento e do fator de forma de Weibull.

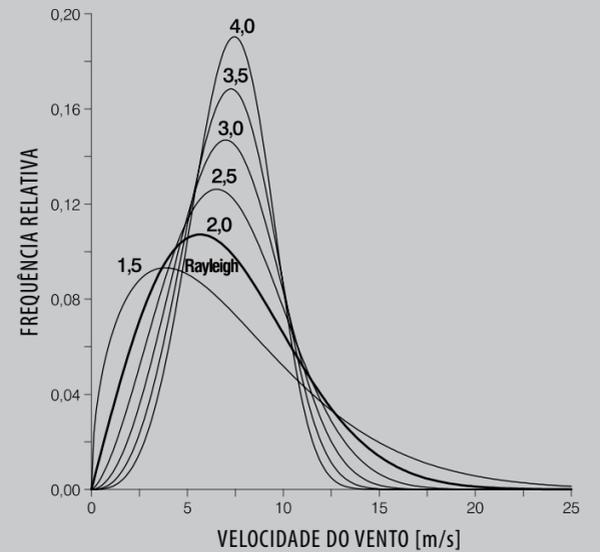


GRÁFICO C.1 Distribuições de Weibull e Rayleigh.

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 |

TABELA C.1 »

FLUXO DE POTÊNCIA EÓLICA LIVRE* [W/m²] EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO E O FATOR DE WEIBULL

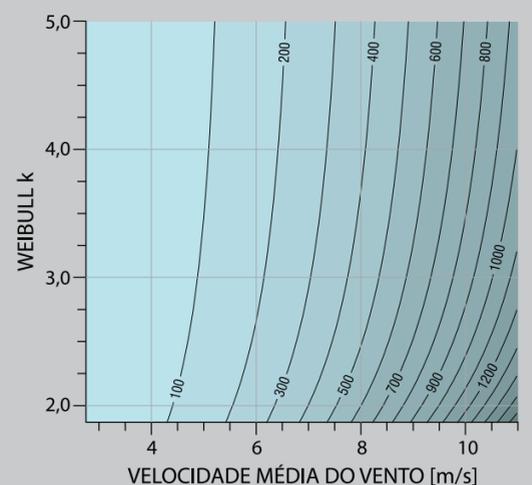


GRÁFICO C.2 »

* VALORES CONSIDERAM O FLUXO DE POTÊNCIA EÓLICA LIVRE, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO E SUA DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA, PARA TODA FAIXA DE VELOCIDADES A PARTIR DE 0 m/s. PARA A ENERGIA EFETIVAMENTE APROVEITÁVEL DEVERÃO TAMBÉM SER CONSIDERADAS AS CARACTERÍSTICAS DOS AEROGERADORES EMPREGADOS, COM LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DE OPERAÇÃO. EM GERAL, AS TURBINAS EÓLICAS ATUAIS GERAM ENERGIA COM VENTOS A PARTIR DE 4 m/s, LIMITADAS A 25 m/s.

C.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^[95]

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

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^[105].

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” em função das velocidades de vento em duas alturas, resultando em

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

C.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 Bahia, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da Atmosfera Padrão Internacional – ISA^[87], calculado sobre o modelo de relevo na resolução de 200 m x 200 m e ajustado para dados de temperatura coletados em 26 estações do INMET, entre 1961 e 1990^[70].

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:

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

C.5 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:

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

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)

C.4 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 ($f(u)$)^[45], conforme ilustrado no Gráfico C.3.

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

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

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:

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

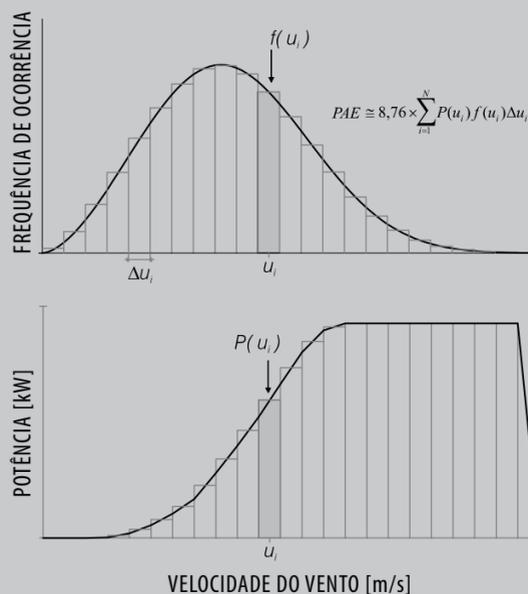


GRÁFICO C.3 Cálculo da Produção Anual de Energia – PAE.

C.6 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA

Como informação auxiliar à instalação futura de sensores de direção em torres anemométricas no Estado da Bahia, foram desenvolvidos mapas de declinação magnética e variação magnética anual para o ano de 2013^[4].

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA

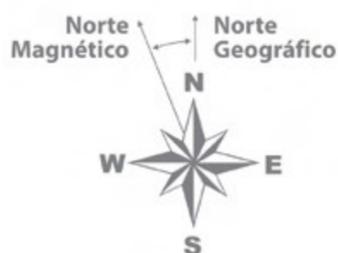
(graus) em
1º de janeiro de 2013

MAPAS PRODUZIDOS A PARTIR DO MODELO
INTERNATIONAL GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD – IGRF,
VERSÃO 11 (VÁLIDA ENTRE 1900-2015)^[52].

MAPA C.1 »

VARIAÇÃO ANUAL

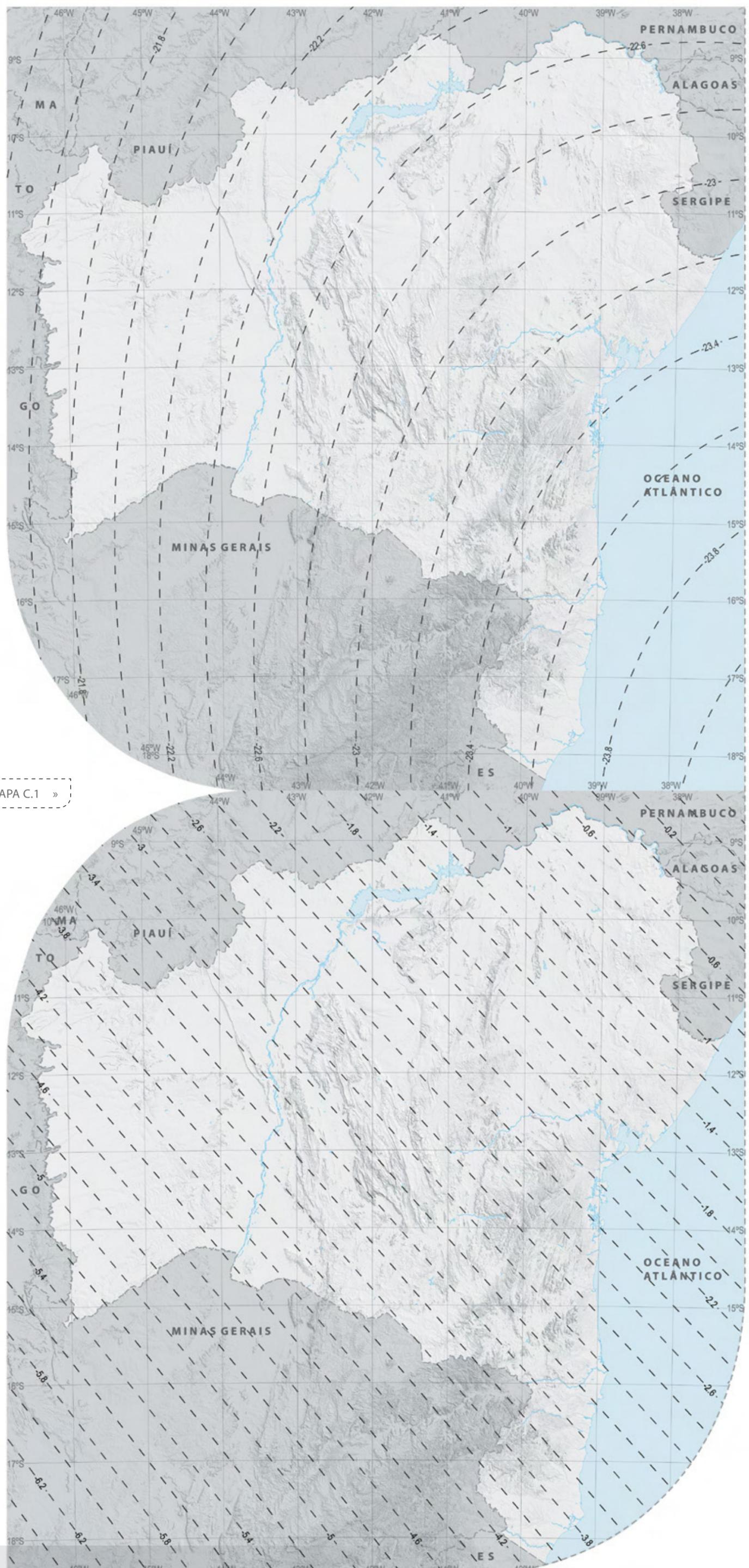
(minutos de grau/ano)
2011-2015



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

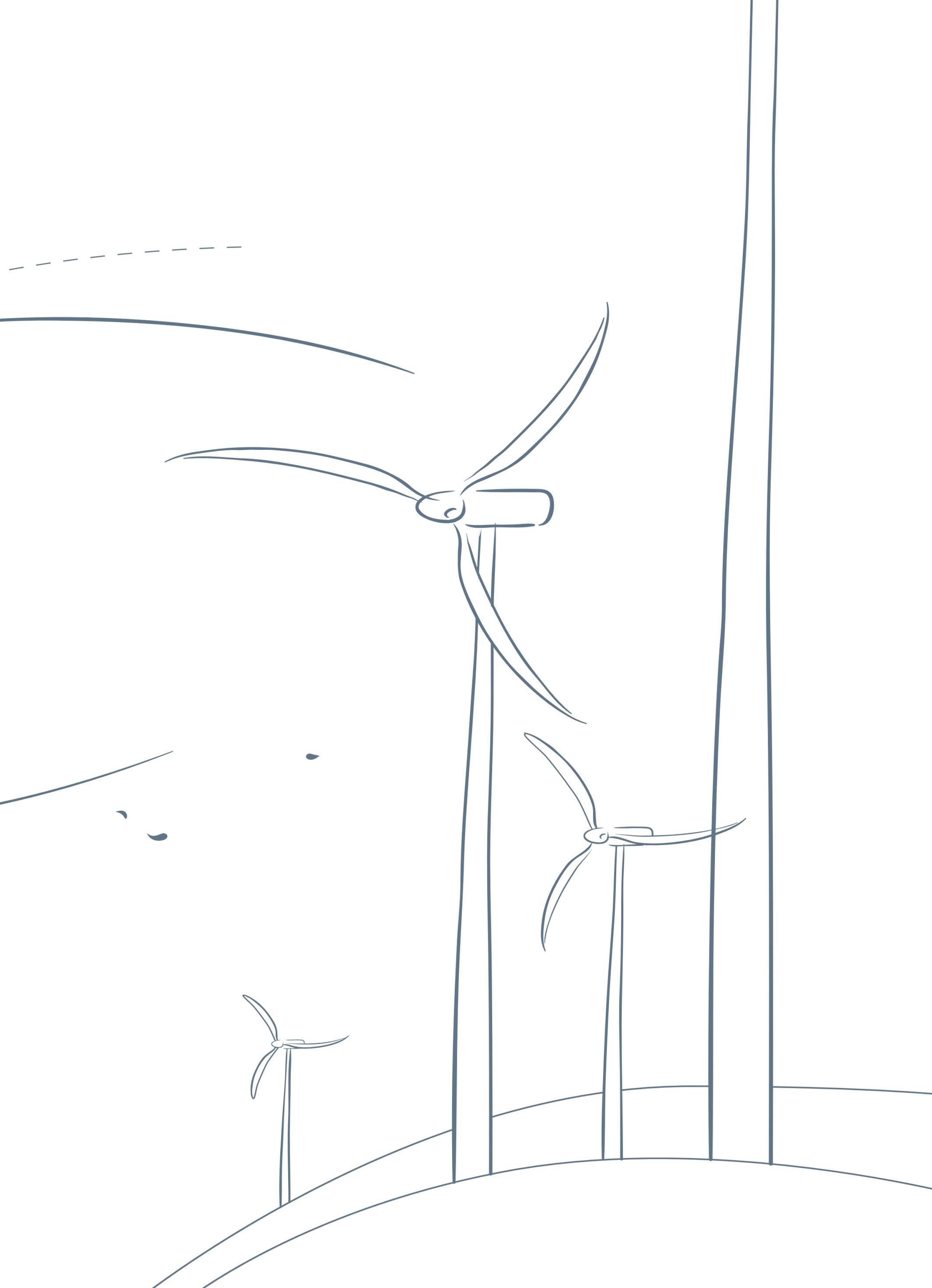
ESCALA 1 : 5 000 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 50 100 150 200km











Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-67342-00-9



9 786567 342009



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CIMATEC

SECRETARIA DE CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA



TERRA DE TODOS NÓS