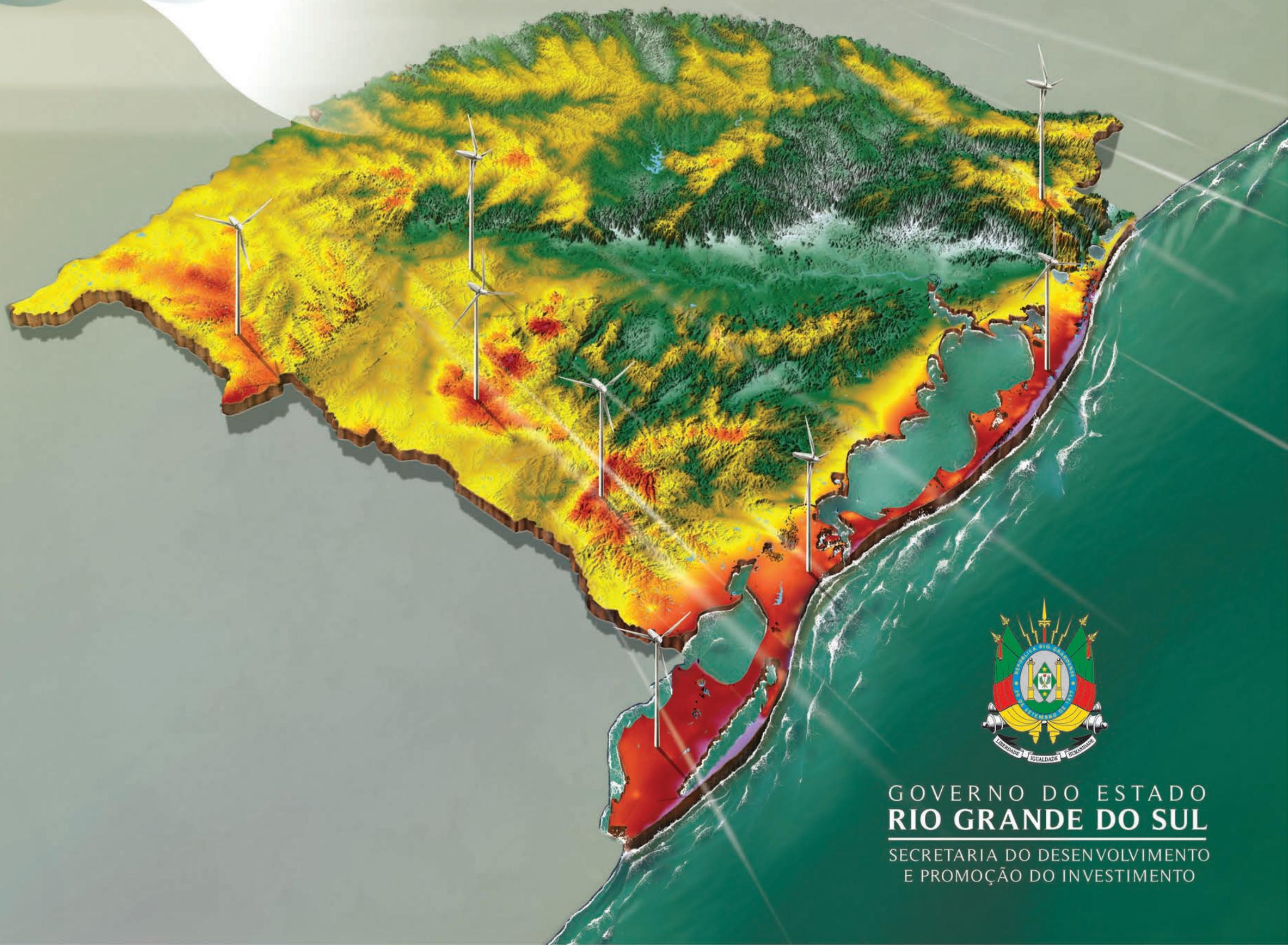
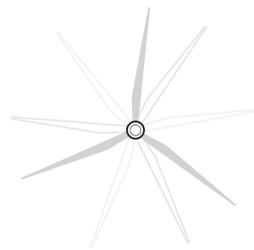
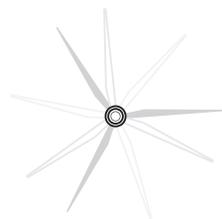


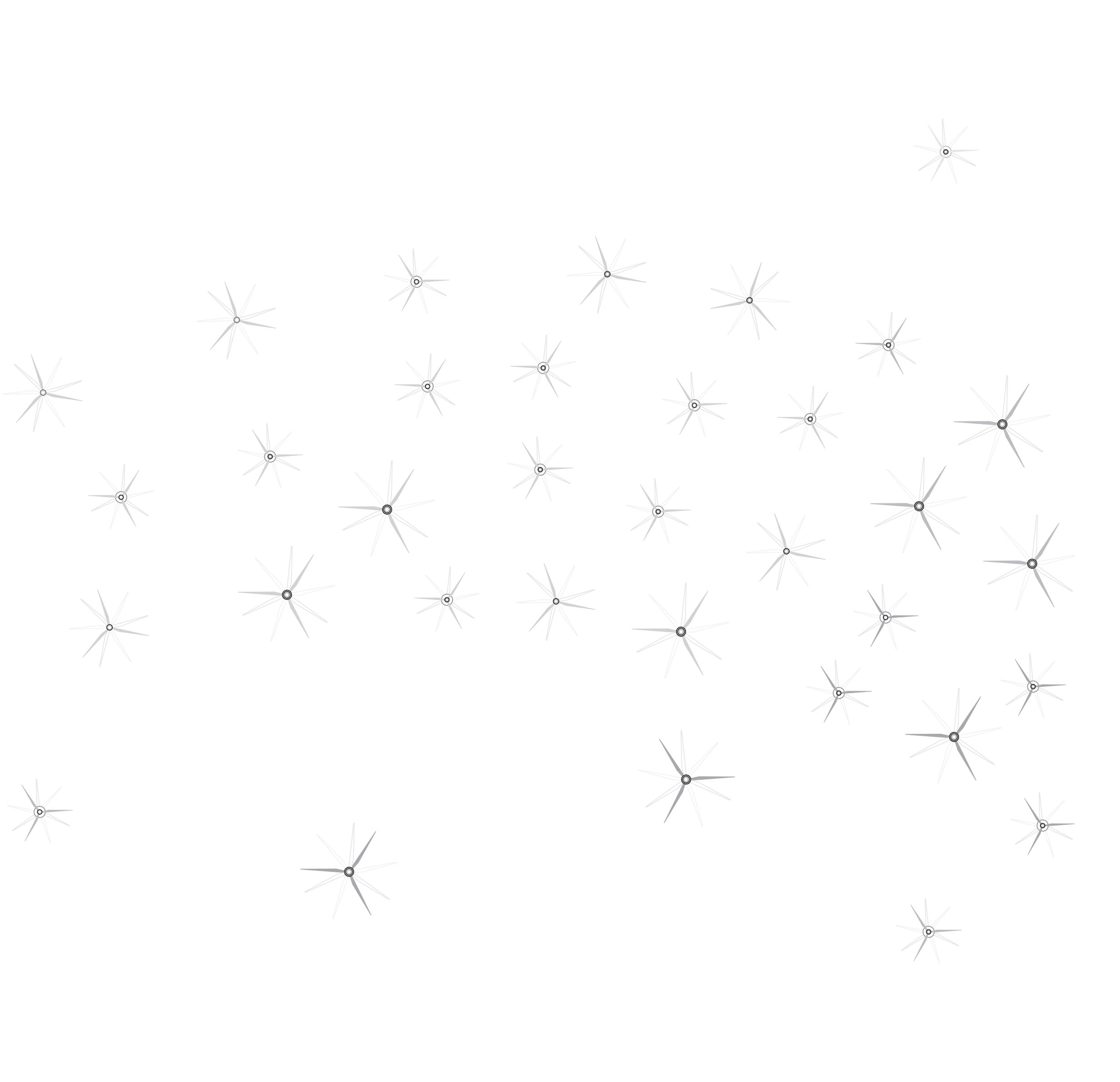
Rio Grande do Sul

atlas eólico



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO
E PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO





Rio
Grande
do Sul
atlas eólico
2 0 1 4

atualização da edição 2002



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO
E PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO



Eletrobras
Eletrosul

Ministério de
Minas e Energia



elaboração



PRODUÇÃO

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
Tarso Genro
Governador

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO E
PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO
Mauro Knijnik
Secretário
Luís Fernando Marcondes Farinati
Secretário-adjunto

AGÊNCIA GAÚCHA DE
DESENVOLVIMENTO E PROMOÇÃO
DO INVESTIMENTO - AGDI
Ivan De Pellegrin
Presidente
Marco Aurélio Franceschi
Diretor de Infraestrutura e Energias
Eberson José Thimmig Silveira
Coordenador de Energias e Comunicações

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.
ELETROBRAS
José da Costa Carvalho Neto
Presidente
Valter Luiz Cardeal de Souza
Diretor de Geração

ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
Eurides Luiz Mescolotto
Diretor-Presidente
Ronaldo dos Santos Custódio
Diretor de Engenharia
Jorge Luis Alves
*Gerente da Assessoria de
Pesquisa e Desenvolvimento*

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

A881 Atlas eólico : Rio Grande do Sul / elaborado por Camargo Schubert Engenheiros Associados, Eletrosul Centrais Elétricas S.A. ; dados do modelo mesoescala fornecidos por AWS TruePower.— Porto Alegre : SDPI : AGDI, 2014.
116 p. : il., mapas ; 32.6 x 31.4 cm.

Inclui Bibliografia
ISBN 978-85-67342-01-6

1. Energia eólica – Rio Grande do Sul – Mapas. 2. Ventos – Medição – Rio Grande do Sul – Mapas. 3. Energia – Fontes alternativas – Rio Grande do Sul. 4. Meio ambiente. I. Camargo-Schubert Engenheiros Associados. II. Eletrosul Centrais Elétricas S.A. III. AWS TruePower.

CDD (20.ed.) 551.5185098165
CDU (2.ed.) 620.91 (816.5)

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
Odilon A. Camargo do Amarante
Paulo Emiliano Piá de Andrade
Ramon Morais de Freitas

DADOS DO MODELO DE MESOESCALA
FORNECIDOS POR AWS TRUEPOWER
Joan Aymamí
Michael Brower
José Vidal

ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
Ronaldo dos Santos Custódio (*Coordenador*)
Cassiano Ricardo Perego
Cleice Edinara Hübner
Filipe César Brandão
Franklim Fabrício Lago
Gustavo Henrique Schreiner
Jorge Luis Alves
Maycon Bettoni
Paulo Ricardo de Oliveira Blanco
Rodrigo Bueno Backes
Samuel Abati
Wladimir Vieira

AGÊNCIA GAÚCHA DE DESENVOLVIMENTO
E PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO - AGDI
Eberson José Thimmig Silveira (*Coordenador*)
Gilca Maria Barcellos Werli
Marco Aurélio Franceschi
Patricia Milano Vaz

FOTOGRAFIAS
Zig Koch

ILUSTRAÇÕES E CAPA
Leo Gibran

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
du.ppg.br

REVISÃO DE TEXTO
Neida Maria da Conceição Padilha

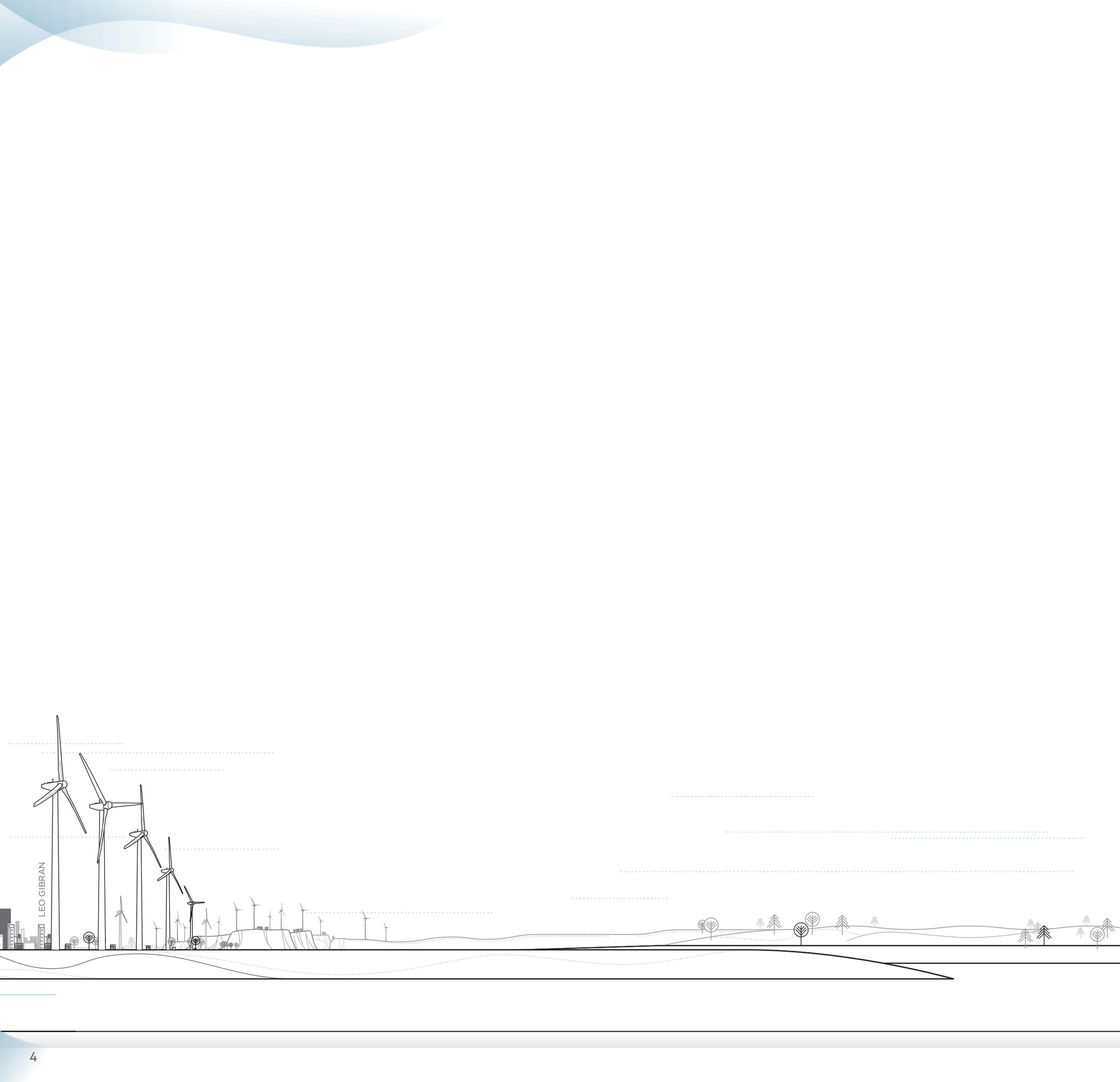
IMPRESSÃO E ACABAMENTO
Optagraf

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.



Adicionalmente, foram utilizados dados anemométricos do Atlas Eólico de 2002, elaborado pela Secretaria de Energia, Minas e Comunicações do Estado do Rio Grande do Sul.



VENTOS DO PRESENTE E DO FUTURO DO RIO GRANDE

Quando assumimos, em janeiro de 2011, estabelecemos como objetivo colocar o Rio Grande do Sul na rota do crescimento com justiça social. Passados quatro anos, vejo que a nossa meta foi alcançada. Sopram bons ventos a favor do Rio Grande, os quais são sinônimo de oportunidades.

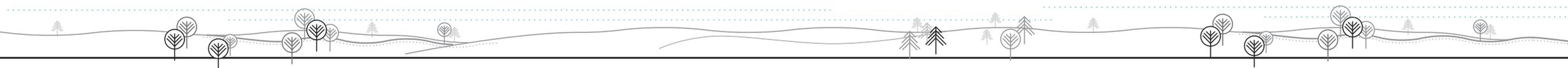
Estamos entre os líderes na produção de energia eólica na América Latina. Tenho muito orgulho dos resultados apresentados neste Atlas, pois ele simboliza a nossa forma de governar.

Decidimos que iríamos gerar desenvolvimento e empregos. Os parques eólicos representam bilhões de reais em investimentos e criam milhares de postos de trabalho em regiões que antes eram consideradas economicamente deprimidas. Decidimos ainda que teríamos uma ousada política de atração de empreendimentos internacionais e que o tema sustentabilidade seria eixo de nossas ações.

Empresas estrangeiras estão investindo aqui e consolidando parcerias com a indústria local. Caminhamos para ser um estado autossuficiente em energia, com grande participação das fontes renováveis.

Deixaremos um legado para os próximos anos. Aproveitamos as oportunidades. Os ventos que sopram por aqui ajudam o Rio Grande a continuar crescendo.

Tarso Genro
Governador



APRESENTAÇÃO

O Atlas Eólico do Rio Grande do Sul é um importante instrumento para políticas públicas e para o incentivo ao investimento em energia eólica, uma vez que indica as regiões com maior potencial de vento e os respectivos potenciais de geração de energia a partir dessa fonte.

Este documento técnico atualiza o Atlas Eólico do Estado publicado em 2002, desenvolvido na Secretaria de Energia, Minas e Comunicações, na gestão da Secretária de Estado Dilma Rousseff. Era um documento que serviu para mostrar a viabilidade e estimular a energia eólica em solo gaúcho, onde essa fonte de energia era pouco conhecida e não havia nenhuma expectativa de investimentos dessa natureza.

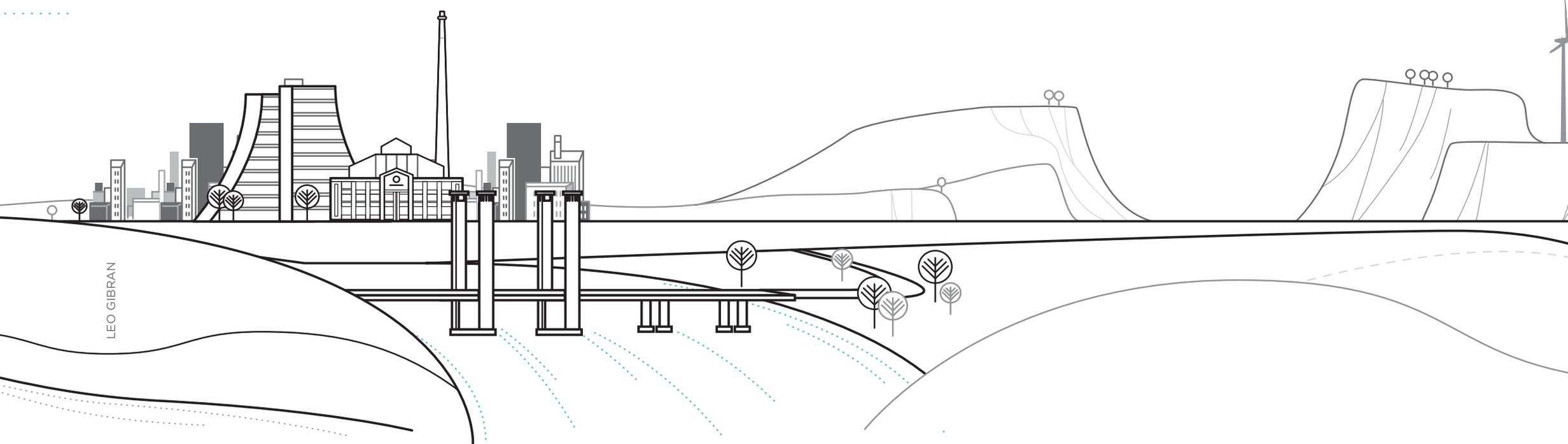
Assim, por meio do Programa Ventos do Sul, dentre outras medidas tomadas, foi desenvolvido aquele Atlas como primeira ação política do governo gaúcho para incentivar e alavancar o setor, após uma extensa campanha de medições de ventos pelo Estado. Seguiu-se uma forte mudança no cenário e rapidamente foram desenvolvidos projetos eólicos, despertando o interesse de investidores.

Mais recentemente, o Governo do Estado, por meio da Secretaria de Desenvolvimento e Promoção do Investimento –

SDPI, juntamente com a Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção do Investimento – AGDI, deu novo impulso à energia eólica no RS, incluindo-a na Política Industrial do Estado como setor estratégico. Dentre outras medidas para alavancar o setor, foi sancionada, pelo governador do Estado, em 14 de junho de 2012, a lei n.14.014 (regulamentada pelo decreto n. 51.560, de 09 de setembro de 2014), que cria o Programa Gaúcho de Estruturação, Investimento e Pesquisa em Energia Eólica – RS-Eólica, elaborado e coordenado pela SDPI e AGDI.

Dessa forma, o Rio Grande do Sul tem reunido condições cada vez mais atrativas para a instalação de parques eólicos e para o estabelecimento de empresas fabricantes de máquinas e equipamentos da cadeia produtiva, bem como para prestadores de serviços especializados (engenharia, logística, montagem e manutenção), abrindo oportunidade para a geração de empregos qualificados e para o adensamento de conteúdo tecnológico da sua economia.

Este novo atlas contém informações detalhadas sobre os regimes de ventos no Rio Grande do Sul, obtidas a partir da mais rigorosa e atualizada metodologia, apresentada em um dos capítulos. Medições de ventos de alta qualidade, realizadas em diversos pontos do Estado e por longos períodos, foram utilizadas para garan-



tir uma maior certeza nas estimativas de potencial eólico e dos regimes de vento. Essas medições, feitas em alturas que variaram de 80 m a 120 m, foram disponibilizadas por diversos desenvolvedores e investidores, numa parceria com o Governo do Estado.

Nesta publicação, o regime de ventos e o potencial eólico são apresentados em duas alturas: 100 m e 150 m. A primeira é compatível com o atual estágio tecnológico dos aerogeradores comerciais, e a segunda visa ao futuro tecnológico quando máquinas maiores passarem a ser utilizadas.

Este atlas apresenta, ainda, o regime de ventos e o potencial eólico sobre a água (*offshore*). Esse potencial foi calculado sobre as três principais lagoas do Estado: Patos, Mirim e Mangueira, e sobre o oceano, na costa do Rio Grande do Sul. A informação do potencial sobre o mar é outra novidade deste Atlas. O potencial eólico *offshore* sobre o oceano foi estimado a 100 m de altura e em três profundidades de lâminas d'água: 10 m, 20 m e 50 m.

Os potenciais eólicos calculados confirmam a importância da energia eólica na matriz energética do Rio Grande do Sul.

Em terra firme (*onshore*), a 100 m de altura, o potencial é de 103 GW, enquanto que a 150 m chega a 245 GW.

Sobre as lagoas (*offshore*), a 100 m de altura, o potencial é de 34 GW, enquanto que, para lâminas d'água de até 50 m, o potencial eólico sobre o oceano é de 80 GW. São números bastante expressivos.

Cabe ressaltar, ainda, a presença de outras informações importantes como as direções predominantes dos ventos em todo o Estado e a estimativa de ventos máximos, importante nos projetos de estruturas e construção civil.

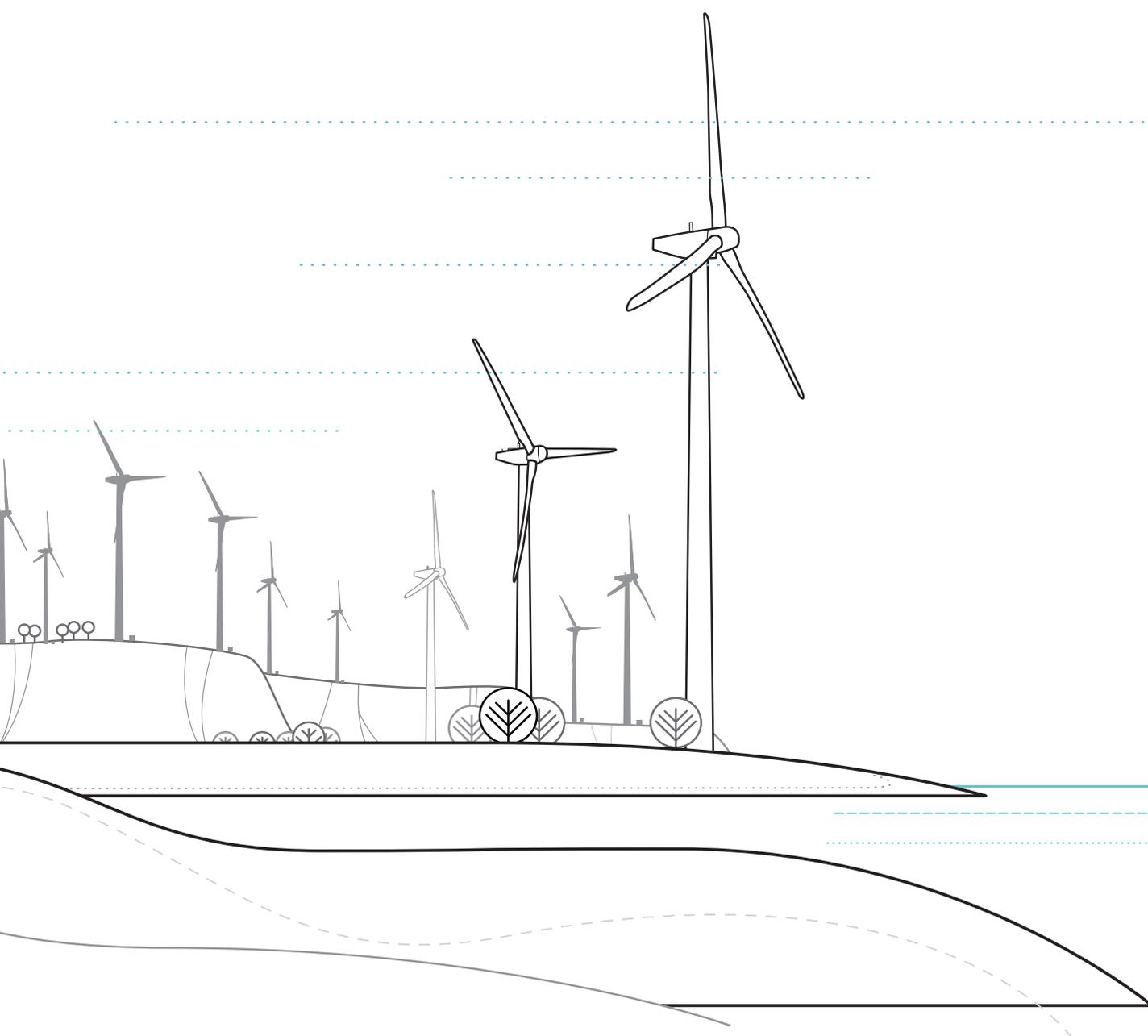
O Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, versão 2014, foi possível mediante importante parceria do Governo do Estado, por meio da AGDI, e da Eletrosul Centrais Elétricas, empresa estatal federal, subsidiária da Eletrobras. Essa parceria permitiu entregar à sociedade gaúcha este importante trabalho e representa uma relação de confiança entre governos federal e estadual, para o desenvolvimento sustentável do Rio Grande do Sul.

Para a Eletrosul, a energia eólica, fonte limpa e renovável, é uma prioridade empresarial, e o Estado do Rio Grande do Sul apresenta excelentes condições para o desenvolvimento de projetos dessa natureza.

Para o Governo do Estado, priorizar o setor de energia eólica no Rio Grande do Sul significa reafirmar a sua vocação para o desenvolvimento sustentável.

O “rodeio de ventos”, que tem forte influência na formação cultural do gaúcho, também traz perspectivas de grandes melhorias para várias de suas regiões.

Os bons ventos do Rio Grande sopram na direção do crescimento com sustentabilidade.



Eurides Mescolotto
Presidente da Eletrosul

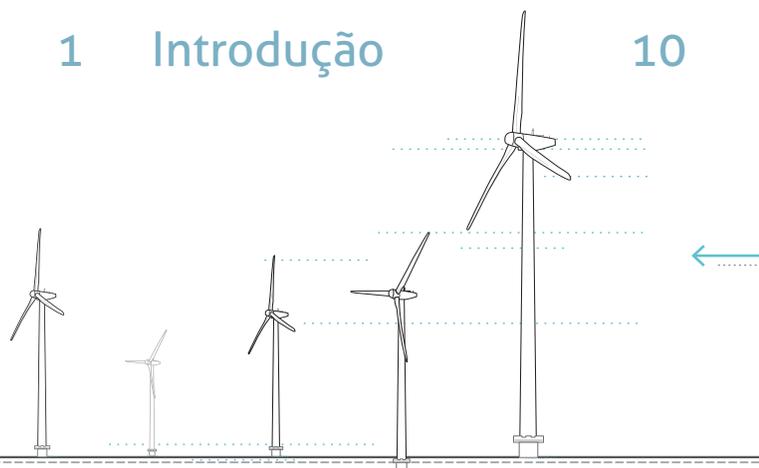
Ivan De Pellegrin
Presidente da AGDI

• Sumário

Mensagem do Governador 5

Apresentação 6

1 Introdução 10



2 O Estado do Rio Grande do Sul 12

- 2.1 Caracterização Geográfica 13
- 2.2 Demografia 13
- 2.3 Transportes e Energia 15
 - 2.3.1 Transportes 15
 - 2.3.2 Energia Elétrica: Consumo 15
 - 2.3.3 Sistema Elétrico 15

3 Climatologia 20

- 3.1 Circulação Atmosférica 21
- 3.2 Análise Climatológica Global 22
- 3.3 Chuvas 22
- 3.4 Temperaturas 23
- 3.5 Regimes de Ventos do Rio Grande do Sul 26
 - 3.5.1 Regimes Horários 29
 - 3.5.2 Regimes Mensais e Sazonais 29
 - 3.5.3 Regimes Interanuais 29



FOTOS ZIG KOCH



4 Meio Ambiente 32

- 4.1 Licenciamento Ambiental 33
- 4.2 Áreas de Proteção no Estado do Rio Grande do Sul 34
 - 4.2.1 Unidades de Conservação 34
 - 4.2.2 Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Rurais 35
- 4.3 Aproveitamento Eólico Marítimo – Offshore 35

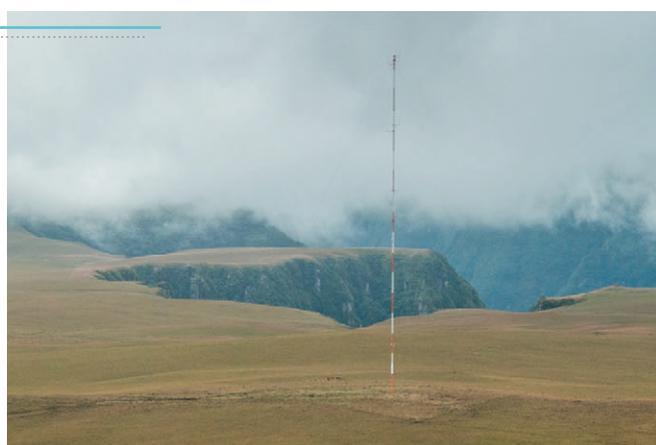


VANDERLEI TACCHIO



5 Energia Eólica e Tecnologia 38

- 5.1 Histórico 40
 - 5.1.1 Brasil: Proinfa e o Sistema de Leilões 43
 - 5.1.2 Eólica no Rio Grande do Sul 43
- 5.2 Tecnologia 45
 - 5.2.1 Efeito Esteira e Posicionamento de Turbinas 48
 - 5.2.2 Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica 49





6 Metodologia 50

6.1	O Sistema <i>MesoMap</i>	52
6.1.1	Ajustes do Modelo de Mesoescala	53
6.1.2	Efeitos de Subescala	53
6.2	Modelos de Terreno	54
6.2.1	Modelo Digital de Relevo	54
6.2.2	Modelo de Rugosidade	56
6.2.3	Metodologia para Elaboração do Modelo de Rugosidade	56
6.3	Medições Anemométricas	60
6.3.1	Aquisição dos Dados	60
6.3.2	Processamento	61
6.3.3	O Padrão das Medições Anemométricas no Brasil	62
6.4	Ventos Máximos, Rajadas	63
6.4.1	Estimativa de Ventos Extremos	63
6.4.2	Arrasto Geostrófico e Vento Básico	64
6.4.3	Fatores de Correção e Velocidade Característica	64
6.4.4	Rajada Máxima (Ve50)	65
6.5	Incertezas	65



7 Mapas Eólicos 66

7.1	Rosas dos Ventos Anuais – Frequências x Direções	68
7.2	Rosas dos Ventos Anuais – Velocidades x Direções	69
7.3	Potencial Eólico Sazonal a 100 m de Altura	70
7.4	Potencial Eólico Anual a 100 m de Altura	71
7.5	Potencial Eólico Sazonal a 150 m de Altura	72
7.6	Potencial Eólico Anual a 150 m de Altura	73
7.7	Potencial Eólico <i>Offshore</i>	74
7.8	Rajada Máxima	76
7.9	Fator de Forma de Weibull Anual	77
7.10	Densidade Média Anual do Ar	78
7.11	Incertezas da Velocidade do Vento a 100 m de Altura	79

8 Análises e Diagnósticos 80

8.1	O Potencial Eólico do Rio Grande do Sul	81
8.1.1	Metodologia	81
8.1.2	Potencial Eólico Sobre o Solo (<i>onshore</i>)	83
8.1.3	Potencial Eólico Sobre a Água (<i>offshore</i>)	83
8.1.4	Potencial Eólico por Mesorregiões, Microrregiões e Municípios	84
8.1.5	Comparação com os Resultados do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, 2002	86
8.2	Áreas Promissoras	87
8.2.1	Área 1: Litoral Sul	88
8.2.2	Área 2: Escudo Rio-Grandense	90
8.2.3	Área 3: Coxilha de Santana	92
8.2.4	Área 4: Planalto das Missões	95
8.2.5	Área 5: Serra Gaúcha	96
8.2.6	Área 6: Costa ao Redor da Lagoa dos Patos	98

9 Referências 102



Apêndice A – O Sistema *MesoMap* 104

A.1	A Simulação MASS	105
A.2	O Módulo <i>WindMap</i>	105

Apêndice B – Glossário 107

Apêndice C – Fórmulas e Mapas Úteis 111

C.1	Distribuição de Weibull	111
C.2	Lei Logarítmica e Rugosidade	111
C.3	Densidade do Ar	112
C.4	Esteira Aerodinâmica	112
C.5	Produção Anual de Energia – PAE e Fator de Capacidade	112
C.6	Custo de Geração	113
C.7	Descargas Atmosféricas	113
C.8	Declinação Magnética	114

Apêndice D - Subestações: Coordenadas e Tensões 115

1 - Introdução



ZIG KOCH

FIGURA 1.1 Complexo Eólico de Osório.

Doze anos após o lançamento da primeira edição desta publicação, a energia eólica, no Rio Grande do Sul, encontra-se em um estágio de desenvolvimento muito mais avançado, marcado por um grande número de projetos em operação, implantação e desenvolvimento. O setor encontra-se em plena atividade, com crescimento exponencial da capacidade instalada, motivado especialmente pela perspectiva de contínua contratação de energia no âmbito da atual política de leilões. Hoje em dia, estão estabelecidos ou em processo de instalação em solo gaúcho fabricantes e fornecedores de equipamentos e serviços para toda a cadeia produtiva de energia eólica, e há núcleos de estudos e pesquisa voltados à capacitação de profissionais espalhados pelas várias universidades gaúchas. Observam-se as concessionárias de energia elétrica aplicando investimentos substanciais em reforços e ampliações no Sistema Elétrico, destinados especificamente ao escoamento da produção dos futuros parques eólicos nas regiões promissoras.

É nesse contexto que é lançado o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, versão 2014. Baseado em avanços metodológicos do setor eólico, registra de maneira ainda mais detalhada e precisa as estatísticas da circulação dos ventos sobre o Estado. Este documento confirma a ordem de grandeza dos resultados levantados anteriormente, na primeira versão do atlas eólico, de 2002, atualizando as estimativas a partir de dados climatológicos mais recentes e trazendo as informações estruturais e demográficas do Estado aos valores presentes.

No que se refere à metodologia, foi fundamental a colaboração de um significativo número de empreendedores, detentores de projetos de parques eólicos, que possuíam valioso acervo de medições anemométricas, mas que ainda não havia sido consolidado em um trabalho único. Sob gestão da Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção do Investimento – AGDI, foram firmados 22 Termos de Cooperação Técnica, pelos quais os empreendedores permitiram o uso de seus dados para validar o mapeamento eólico estadual e complementar os estudos climatológicos, resultados estes apresentados tematicamente nos diversos capítulos desta publicação. O sucesso do convênio, me-

didado a partir do número de aderentes, simboliza a relação de confiança entre empreendedores e governo, tendo em vista o caráter estratégico dos dados anemométricos, assim como a convergência de esforços para um objetivo comum, que é produzir uma ferramenta mais confiável para servir a todos.

Os principais diferenciais deste atlas, em comparação com o estudo de 2002, são o incremento no número de torres, maior abrangência temporal e espacial e avanços no padrão das medições anemométricas. As medições, em sua maioria, foram especificadas para atender às exigências para certificação de projetos para a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Empresa de Pesquisa Energética – EPE nos processos de solicitação de outorga ou de cadastramento para participação em leilões, exigências essas que não existiam em 2002. Foram utilizados dados de 70 torres anemométricas, das quais 32 possuíam alturas maiores que 100 m, 20 possuíam alturas próximas a 80 m e apenas as restantes 18 torres possuíam alturas inferiores a 60 m. O período médio de operação, ponderando-se todas as torres, foi de 2 anos, sendo que apenas 5 das 70 torres mediram por período inferior a 12 meses.

O regime de ventos foi calculado usando o modelo numérico *MesoMap*, com resolução espacial 25 vezes melhor que na primeira versão do atlas. Os modelos de terreno dessa edição são mais detalhados, o que permite, em escala regional, maior entendimento dos regimes de vento. Tais modelos e simulação numérica foram possíveis devido aos avanços na capacidade computacional, na sistematização de metodologias e, principalmente, na disponibilidade de dados e informações geoespaciais.

Além de apresentar os resultados do estudo de potencial eólico, análises e projeções, o atlas contém uma série de informações complementares, de interesse ao planejamento e projetos para a fonte eólica. Destacam-se, entre essas, o mapa de ventos máximos, as análises climatológicas e a descrição sucinta da infraestrutura, contendo mapa do sistema elétrico atualizado. Entre os novos itens adicionados, estão: um capítulo sobre o meio am-

biente, com orientações básicas sobre a legislação vigente; uma série de fotografias aéreas das áreas mais promissoras do estado; mapas de declinação magnética e descargas atmosféricas.

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta, como se vem comprovando, excelentes condições geográficas para a instalação de parques eólicos. Além das condições de vento favoráveis, apresentadas neste atlas, o Estado detém vastas áreas planas ou de relevo suave, cobertas por pastagens, pampas e áreas agrícolas, como é o caso do cultivo de arroz. As atividades econômicas praticadas nessas terras podem coexistir com o desenvolvimento da energia eólica sem prejuízos significativos à produção, mas com benefícios compensatórios: melhoria na infraestrutura, pagamento de arrendamento pelo uso das terras, geração de empregos e contrapartidas sociais.

Para o escoamento da energia proveniente dos parques eólicos, o Estado possui ampla infraestrutura de redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, e grande facilidade de conexão nas regiões com maior potencial de ventos, implicando custos menores aos projetos de usinas. Há múltiplas opções de interligação com os sistemas elétricos de transmissão das Regiões Sul e Sudeste. A infraestrutura bem desenvolvida de estradas, portos, aeroportos e telecomunicações facilita a logística para instalação de parques nas diversas áreas com elevado potencial.

Menciona-se, ainda, o excelente nível de industrialização, que se destaca nos setores que podem servir à cadeia de produção da indústria eólica, como os segmentos metalmeccânico, eletroeletrônico e automação. Por fim, verifica-se, no Estado do Rio Grande do Sul, o estabelecimento de empresas de engenharia, de construção e de consultoria capazes de desenvolver as atividades relacionadas a projeto e construção de parques eólicos.

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

2 · O Estado do Rio Grande do Sul



VANDERLEI TACCHIO

FIGURA 2.1 Complexo Eólico Geribatu.

2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

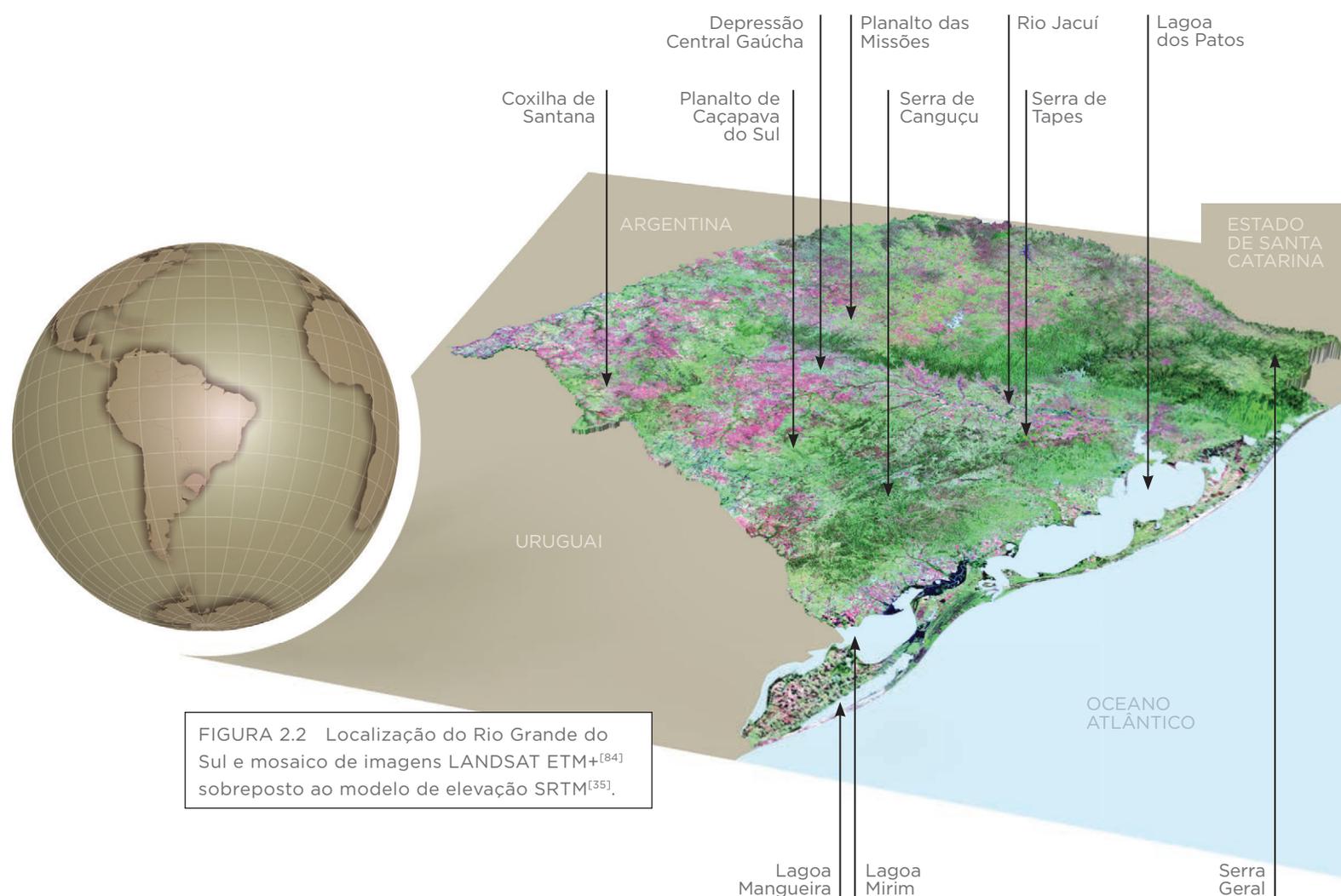
Localizado no extremo sul do país, entre os paralelos 33° 45' 37" S e 27° 05' 20" S e os meridianos 57° 36' 14" O e 49° 42' 00" O, o Rio Grande do Sul faz limites com o Estado de Santa Catarina, com o Oceano Atlântico e com as Repúblicas da Argentina e Uruguai. É o nono maior estado brasileiro, detendo área de 281.730 km²[64].

No que se refere à sua geomorfologia, distinguem-se, no Estado, pelo menos cinco regiões distintas. A primeira é a planície costeira, que vai desde o Chuí (RS) até Garopaba (SC), marcada pela presença de lagoas e lagunas, destacando-se a Lagoa dos Patos e Mirim. A região é coberta por vegetação de baixa rugosidade aerodinâmica, com presença de dunas, reflorestamentos, áreas agrícolas, além de pastos e áreas com cultivo de arroz na extensão sul. Na região nordeste do Estado, caracterizada pela Serra Geral, estão as maiores elevações, acima dos 1.000 m, com a cobertura da terra formada tipicamente por fragmentos de florestas naturais, reflorestamento e pastagens. A região de campanha gaúcha encontra-se no sudoeste, com formas de relevo onduladas, como a Coxilha de Santana, que não ultrapassam os 500 m de altitude; essa região é marcada pelo bioma Pampa, conhecido pelos campos naturais e grandes pastagens, e é ocupada por pecuária extensiva e cultivo de arroz em áreas alagadas. Na parte central do Estado está a Depressão Central, em que predomina a cobertura florestal ao norte do rio Jacuí e as pastagens e áreas agrícolas ao sul. O noroeste, abrangendo parte da extensão sul do Planalto das Araucárias e o Planalto das Missões, é tipicamente agrícola, com o cultivo predominante de soja e milho[69].

2.2 DEMOGRAFIA

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE estima, com base em projeções realizadas a partir do último Censo de 2010, que em junho de 2014 a população do Rio Grande do Sul atingiu 11.207.274 habitantes, correspondendo a 5,5% da população brasileira[62]. A região com maior densidade populacional é a Região Metropolitana de Porto Alegre, agrupando 33 municípios nos quais residem 37% dos habitantes[106]. A população do Estado caracteriza-se pela queda na taxa de crescimento, que se situou em último lugar no Brasil na primeira década de 2000[106], e pela concentração em áreas urbanas, que é de 85%. Os centros urbanos são também grandes centros consumidores, estando alguns deles representados nas fotografias das FIGURAS 2.3 a 2.5.

O MAPA 2.1 ilustra a distribuição da população do Rio Grande do Sul pelos municípios, agrupados segundo o critério de microrregiões do IBGE, para facilitar a visualização.



2 · O Estado do Rio Grande do Sul

FIGURA 2.3 Porto Alegre.



FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 2.4 Tramandaí.

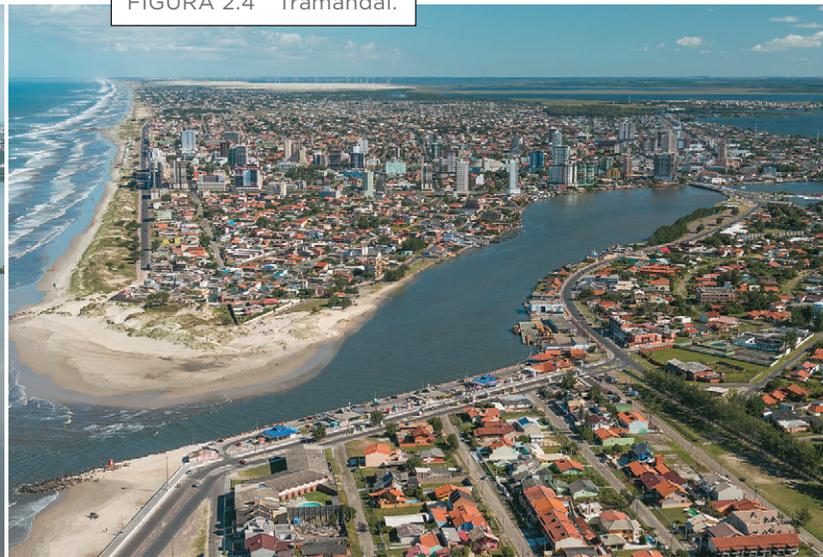


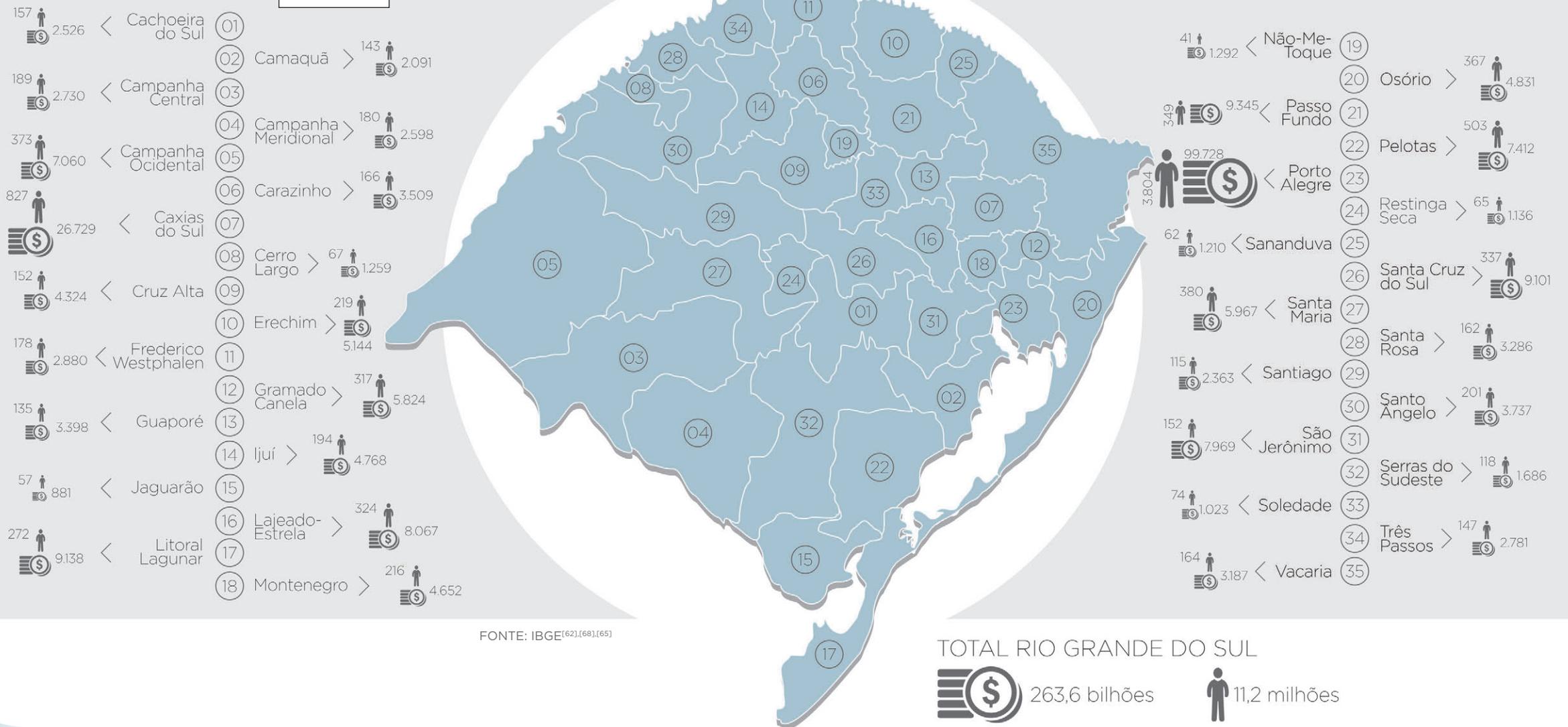
FIGURA 2.5 Torres.



Os segmentos residencial, comercial e público são responsáveis por consumir aproximadamente 50% da energia elétrica oferecida no Estado.

RIO GRANDE DO SUL População e PIB por Microrregiões

MAPA 2.1



FONTE: IBGE^{[62],[68],[65]}

POPULAÇÃO
estimada para 2014
milhares de habitantes

PIB
Produto Interno Bruto em 2011
R\$ milhões

2.3 TRANSPORTES E ENERGIA

2.3.1 TRANSPORTES

Segundo dados do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER-RS, o Estado possuía, em janeiro de 2010, 13.307 km de rodovias pavimentadas e 3.839 km de rodovias não pavimentadas ou em pavimentação, totalizando, entre estradas federais, estaduais, acessos e travessias urbanas, 17.147 km^[40]. A malha ferroviária é composta por 3.259 km de ramais operados pela América Latina Logística – ALL, com interligações para os demais estados da Região Sul, Uruguai e Argentina^[106]. A rede hidroviária concentra-se nas bacias hidrográficas dos rios Jacuí, Taquari e Sinos^[106]. Fazem parte ainda desta rede o Estuário do Guaíba e a Lagoa dos Patos. Os principais portos são os de Porto Alegre e Rio Grande, sendo que este último está entre as quatro maiores instalações portuárias do Brasil, destacando-se pela multimodalidade e pelo grande volume de movimentação de contêineres e cargas. O MAPA 2.2 apresenta a infraestrutura de transporte do Estado, com a localização dos principais portos, aeroportos e rodovias federais, estaduais e municipais.

2.3.2 ENERGIA ELÉTRICA: CONSUMO

A evolução do consumo de energia elétrica entre os anos de 1979 e 2012 é apresentada no GRÁFICO 2.1. Tendo consumido 34,8 TWh no ano de 2012, o Rio Grande do Sul foi o destino de aproximadamente 7,0% de toda a energia elétrica gerada no Brasil.

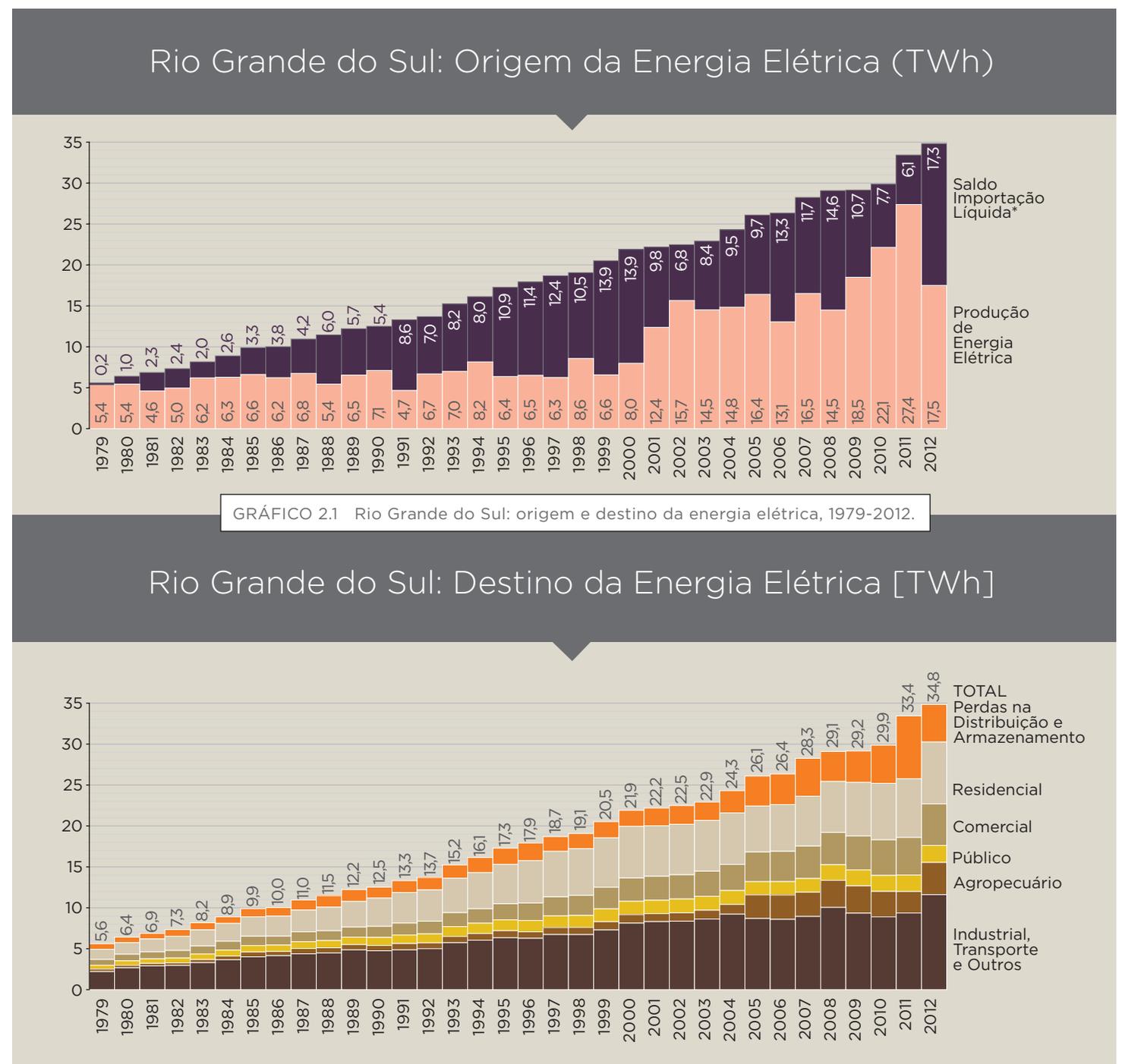
Os setores da indústria, transporte e agropecuária são responsáveis por consumir aproximadamente 50% da energia elétrica oferecida no Estado, crescendo a uma taxa de 5,1% ano nos últimos seis anos, enquanto a outra metade da energia é utilizada pelos segmentos residencial, comercial e público, com crescimento de 4,9% a.a. nos últimos seis anos.

O consumo médio *per capita* de energia elétrica, considerando apenas o consumo residencial, comercial e público, foi de 1.365 kWh/ano em 2012, 11,6% superior à média nacional, de 1.223 kWh/ano.

2.3.3 SISTEMA ELÉTRICO

O Rio Grande do Sul conta com 7.418,6 MW de potência instalada em seu parque de geração elétrica, majoritariamente hidroelétrico (60,3%). As usinas eólicas representam 11,9% da potência instalada, com aproveitamentos principalmente no litoral do Estado. As principais usinas são apresentadas nas TABELAS 2.1 a 2.4.

O sistema de transmissão, operado pela Eletrosul e pela CEEE, é interligado com linhas em 525 kV e 230 kV ao Siste-



FONTE: BALANÇO ENERGÉTICO DO RIO GRANDE DO SUL 2013: ANO BASE 2012^[105]
 *SALDO DA IMPORTAÇÃO DE ENERGIA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, JÁ DESCONTADA A PARCELA REFERENTE À EXPORTAÇÃO.

ma Interligado Nacional – SIN. O sistema de distribuição de energia elétrica opera com linhas de 138 kV e 69 kV.

Em virtude dos parques contemplados nos recentes leilões de negociação de energia para novos empreendimentos eólicos na região de Rio Grande, Santa Vitória do Palmar e Chui, está em fase de implantação o Sistema de Transmissão Sul Litorâneo. Esse sistema é fruto de uma parceria entre a Eletrosul e

CEEE, projetado para escoar a energia gerada pelos parques eólicos existentes e futuros projetos que venham a ser instalados no extremo sul do Estado, e representa um investimento da ordem de R\$ 800 milhões.

2 · O Estado do Rio Grande do Sul

CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL

TABELA 2.1 ·

EM USINAS HIDRELÉTRICAS

USINA	RIO	MW*
Machadinho	Pelotas	570,0
Itá	Uruguai	725,0
Itaúba	Jacuí	500,4
Foz do Chapecó	Uruguai	427,5
Barra Grande	Pelotas	349,1
Passo Fundo	Passo Fundo	226,0
Jacuí	Jacuí	180,0
Passo Real	Jacuí	158,0
Castro Alves	Das Antas	130,8
Monte Claro	Das Antas	130,0
Dona Francisca	Jacuí	125,0
14 de Julho	Das Antas	100,7
Passo São João	Ijuí	77,0
Monjolinho	Passo Fundo	74,0
São José	Ijuí	51,0
Canastra	Santa Maria	44,0
Passo do Meio	Das Antas	30,0
Serra dos Cavalinhos II	Das Antas	29,0
Jararaca	Prata	28,0
Da Ilha	Prata	26,0
Palanquinho	Lajeado Grande	24,2
Boa Fé	Carreiro	24,0
Autódromo	Carreiro	24,0
Criúva	Lajeado Grande	23,9
Caçador	Carreiro	22,5
Esmeralda	Bernardo José	22,2
Linha Emília	Carreiro	19,5
Cotiporã	Carreiro	19,5
Pezzi	Das Antas	19,0
Engenheiro Ernesto Jorge Dreher	Ivaí	17,9
Marco Baldo	Turvo	16,6
Ouro	Marmeleiro	16,0
São Paulo	Carreiro	16,0
São Bernardo	Bernardo José	15,0
José Barasuol	Ijuí	14,3
Moinho	Bernardo José	13,7
Engenheiro Henrique Kotzian	Ivaí	13,0
Toca do Tigre	Turvo	11,8
Bugres	Santa Cruz	11,1
26 outras pequenas centrais hidrelétricas	Vários	112,2
48 centrais geradoras hidrelétricas	Vários	32,0
TOTAL:		4.470,0

* AS USINAS NAS DIVISAS COM SANTA CATARINA FORAM CONSIDERADAS COM METADE DA POTÊNCIA.

TABELA 2.2 ·

EM USINAS TERMELETRICAS

USINA	COM-BUSTÍVEL	MW
Uruguiana	Gás Natural	639,9
Presidente Médici A, B	Carvão Mineral	446,0
Candiota III	Carvão Mineral	350,0
Sepé Tiaraju	Gás Natural	160,6
REFAP	Óleo Combustível	74,7
Copesul	Gás de Processo	74,4
Charqueadas	Carvão Mineral	72,0
CMPC	Licor Negro	58,0
Aracruz Unidade Guaíba	Licor Negro	47,0
Nutepa	Óleo Combustível	24,0
São Jerônimo**	Carvão Mineral	20,0
São Borja	Casca de Arroz	12,5
Piratini	Resíduos de Madeira	10,0
64 outras termelétricas	Vários	79,6
TOTAL:		2.068,6

** EM PROCESSO DE DESMOBILIZAÇÃO A PARTIR DE DEZ/2013.

TABELA 2.3 ·

EM ENERGIA EÓLICA

USINA	MUNICÍPIO	MW
Índios	Osório	50
Osório, Osório 2 e 3	Osório	100
Sangradouro, Sangradouro 2 e 3	Osório	100
Atlântica I, II, IV e V	Palmares do Sul	120
Fazenda Rosário, Fazenda Rosário 2 e 3	Palmares do Sul	42
Palmares	Palmares do Sul	8
Cerro Chato I a VI	Sant'Ana do Livramento	124
Cerro dos Trindade	Sant'Ana do Livramento	8
Geribatu I a X	Santa Vitória do Palmar	258
Elebrás Cidreira 1	Tramandaí	70
TOTAL:		880

***USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO E USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES: 2ª LFA, 4ª E 5ª LER, 12ª, 13ª, 15ª, 17ª AO 19ª LEN.



FIGURA 2.6 Subestação Coletora Geribatu 138 kV, em Santa Vitória do Palmar.

FIGURA 2.7 Rodovia BR-471, em Santa Vitória do Palmar, a principal para acesso aos diversos parques em projeto e construção na região. O município é conhecido no Brasil como um dos maiores produtores de arroz.



FIGURA 2.8 Subestação Povo Novo 525 kV.



EM CONSTRUÇÃO OU EM IMPLANTAÇÃO***

TABELA 2.4 •

USINAS EÓLICAS

USINA	MUNICÍPIO	MW
Chuí I, II, IV, V, VI e IX	Chuí	161,9
Índios 2 e 3	Osório	52,9
Cabo Verde 1 a 5	Palmares do Sul	124,2
Granja Vargas 1, 2 e 3	Palmares do Sul	62,5
Corredor do Senandes II, III, IV	Rio Grande (Cassino)	75,6
REB Cassino I, II, III	Rio Grande (Cassino)	69
Vento Aragano I	Rio Grande (Cassino)	29,7
Curupira	Rio Grande (Povo Novo)	25
Fazenda Vera Cruz	Rio Grande (Povo Novo)	22,5
Povo Novo	Rio Grande (Povo Novo)	7,5
Hermenegildo I a XI	Santa Vitória do Palmar	162,9
Aura Mangueira IV, VI, VII, XI, XII, XIII, XV e XVII	Santa Vitória do Palmar	144
Aura Mirim II, IV, VI, VIII	Santa Vitória do Palmar	56
Capão do Inglês, Coxilha Seca, Galpões e Ibirapuitã I	Sant'Ana do Livramento	72
Pontal 2A, 2B e 3B	Viamão	58
Xangri-lá	Xangri-lá	27,7

TOTAL: 1.151,4

FONTE: AGDI, A PARTIR DE DADOS DA ANEEL⁽²⁾ E EMPRESAS, EM 26/11/2014

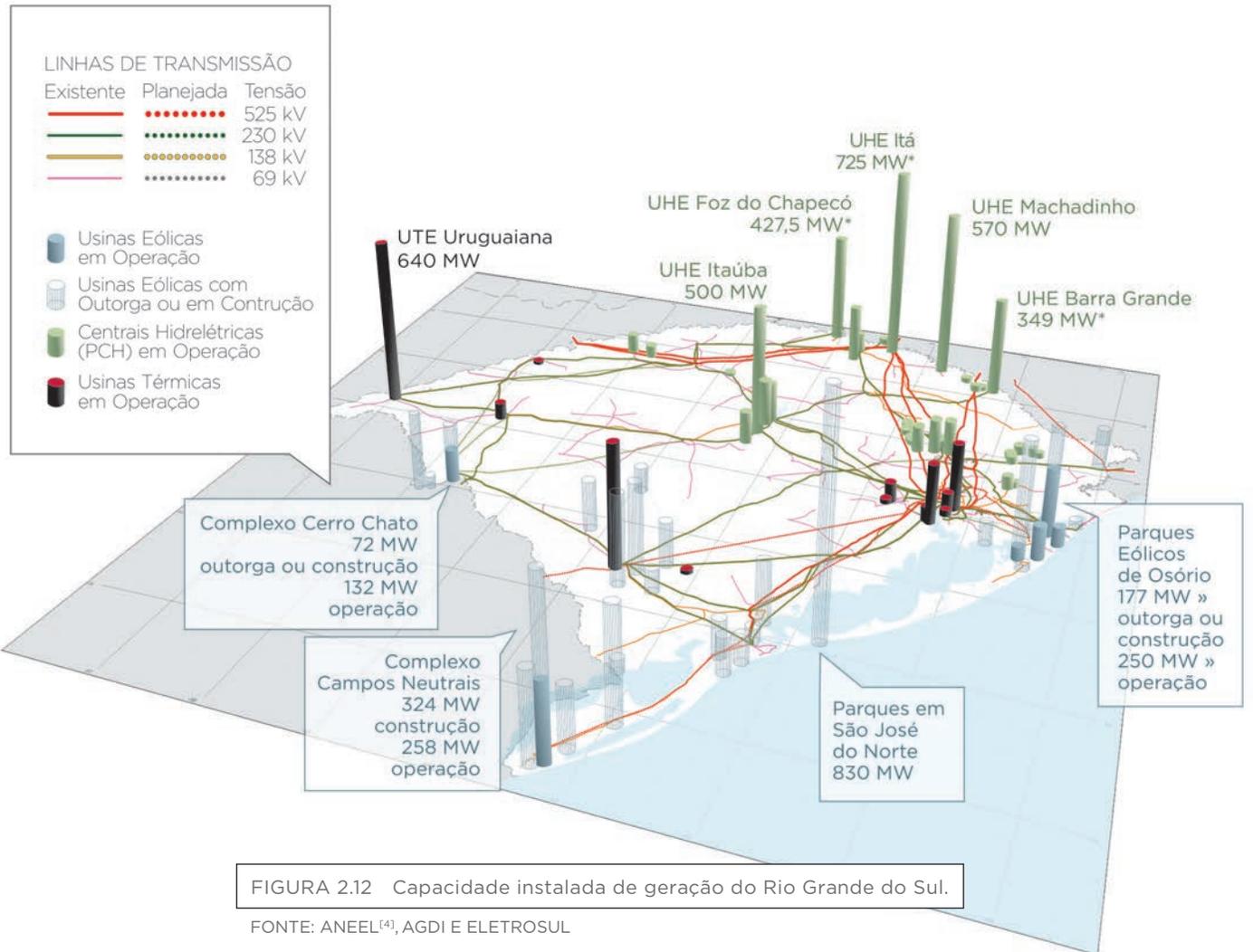


FIGURA 2.9 Linha de Transmissão de 525 KV Marmeleiro - Povo Novo.

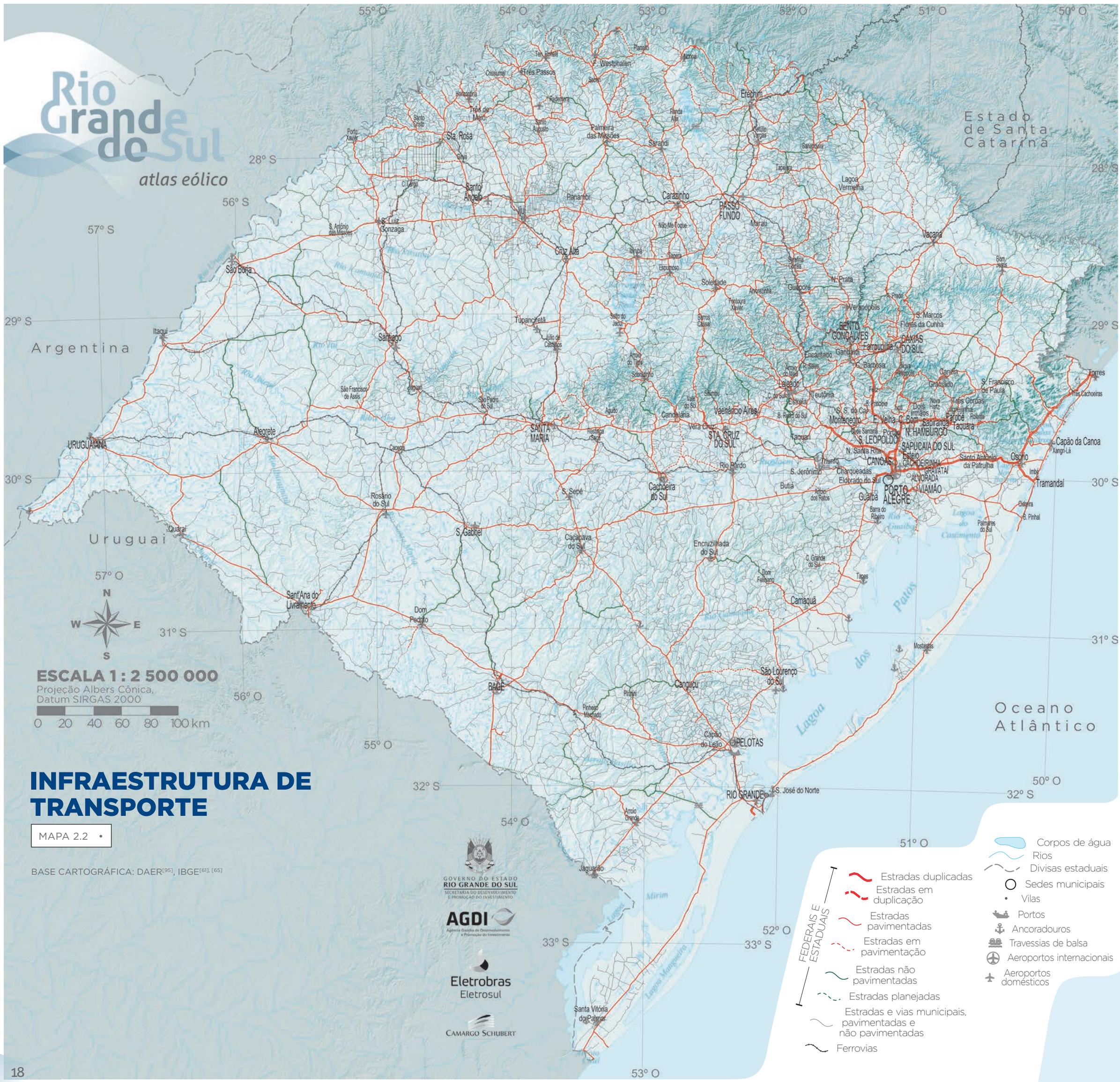


FIGURA 2.10 Porto de Rio Grande.



FIGURA 2.11 Porto de Pelotas, pontes rodoviária (BR-392) e ferroviária sobre o canal de São Gonçalo.

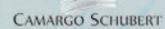
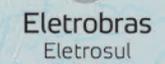
FOTOS ZIG KOCH



INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

MAPA 2.2

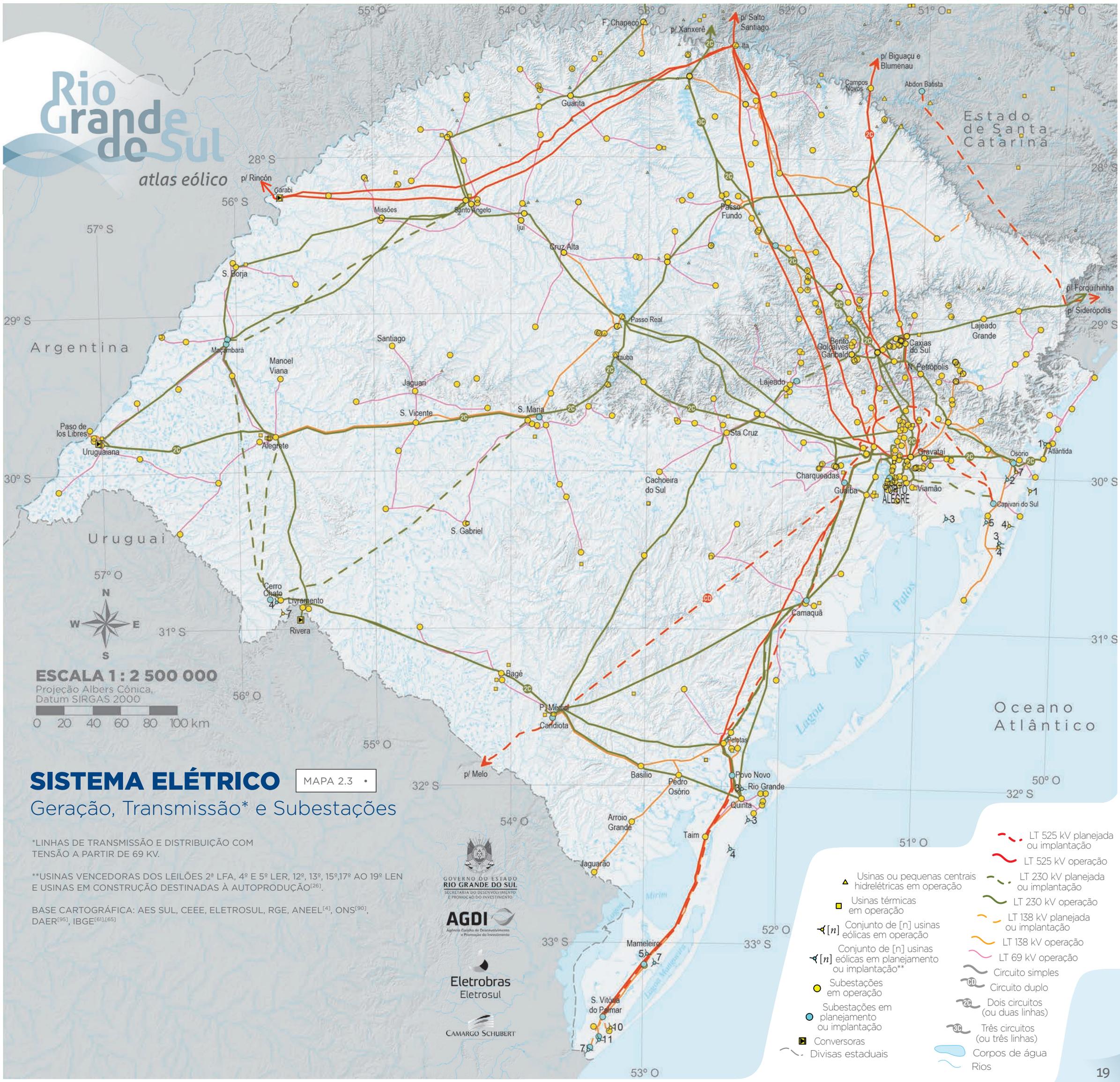
BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^[61], [65]



- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Sedes municipais
- Vilas
- Portos
- Ancoradouros
- Travessias de balsa
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Estradas duplicadas
- Estradas em duplicação
- Estradas pavimentadas
- Estradas em pavimentação
- Estradas não pavimentadas
- Estradas planejadas
- Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas
- Ferrovias

Rio Grande do Sul

atlas eólico



SISTEMA ELÉTRICO

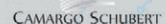
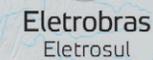
MAPA 2.3

Geração, Transmissão* e Subestações

*LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO COM TENSÃO A PARTIR DE 69 KV.

**USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2º LFA, 4º E 5º LER, 12º, 13º, 15º, 17º AO 19º LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO^[26].

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^{[61],[65]}



- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Circuito simples
- Circuito duplo
- Dois circuitos (ou duas linhas)
- Três circuitos (ou três linhas)
- Corpos de água
- Rios
- Usinas ou pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em planejamento ou implantação**
- Subestações em operação
- Subestações em planejamento ou implantação
- Conversoras
- Divisas estaduais

3 · Climatologia



ZIG KOCH

FIGURA 3.1 São José dos Ausentes.

3.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

A atmosfera da Terra é extremamente dinâmica, apresentando padrões de circulação global nos campos de pressão, temperatura e umidade relativa. Essa característica está relacionada ao aquecimento proveniente da radiação solar, que ocorre sobre a superfície planetária de maneira desigual. As diferenças no aquecimento da superfície terrestre estão associadas à heterogeneidade da distribuição das massas de terra, água e gelo, e à declinação de 23,5° do eixo de rotação sobre o plano orbital.

A dinâmica de circulação atmosférica pode ser classificada em sistemas de três magnitudes distintas: os sistemas de macroescala (escala planetária ou continental, em milhares de quilômetros), mesoescala (escala regional, dezenas a centenas de quilômetros) e microescala (escala local, centenas de metros a alguns quilômetros). A atividade em macroescala é influenciada, por um lado, pelo aquecimento não uniforme entre o equador e os polos, e, por outro, pelo Efeito Coriolis (resultado da rotação da Terra), o qual dá origem ao vento geostrófico. Na mesoescala, os fatores mais significativos são as características locais da topografia e as mudanças bruscas de albedo da superfície relacionadas à cobertura da terra. Exemplos clássicos e de interesse para o estudo da energia eólica são os ventos catabáticos, que ocorrem em regiões montanhosas e as brisas terrestres e marinhas, nas regiões próximas ao litoral. A microescala é representada por características mais particulares do terreno, tais como variações na cobertura vegetal no caminho percorrido pelo vento e obstáculos.

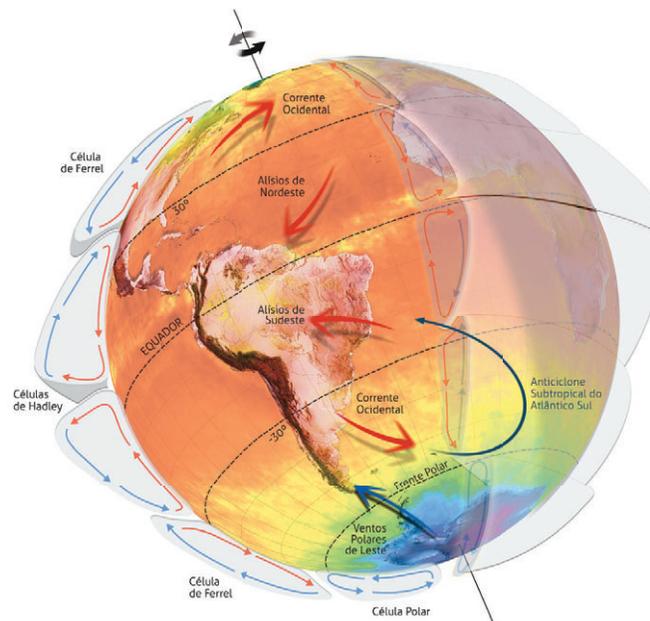
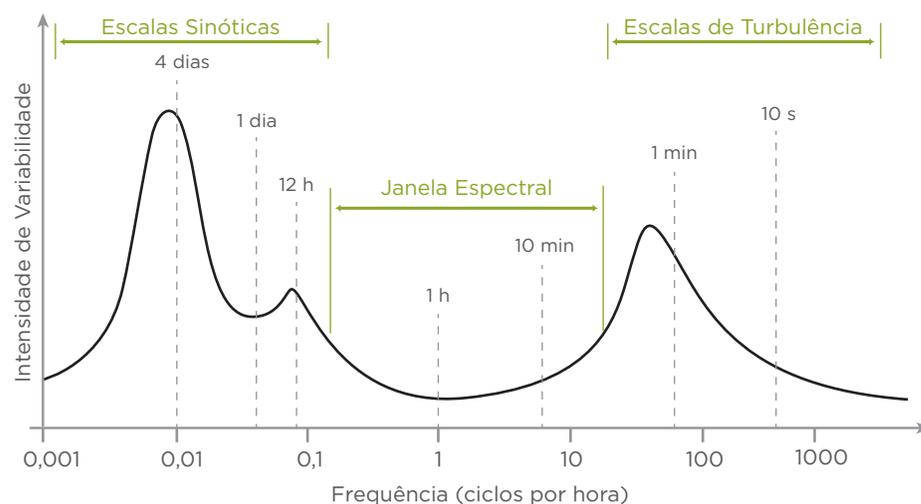


FIGURA 3.2 Circulação Atmosférica.

É de interesse para a energia eólica a análise do comportamento horizontal do escoamento do vento e da sua variabilidade vertical e temporal. No que diz respeito à variabilidade temporal, o vento apresenta comportamentos distintos nas escalas que vão de alguns segundos até a ordem de anos e décadas. No GRÁFICO 3.1, é apresentado o Diagrama de Van Der Hoven, que retrata a variabilidade do espectro de

energia do vento em diferentes escalas temporais. Pode-se observar, no primeiro pico, começando da direita para a esquerda, grande variação da energia do vento no intervalo de alguns segundos a poucos minutos, decorrente da rápida variação associada à turbulência. Na sequência, tem-se um período de relativa constância, entre a janela de alguns minutos a pouco menos de 12 horas. O próximo pico ocorre na frequência de 12 horas e está associado à variação da radiação solar ao longo do dia. O último pico é da ordem de poucos dias, resultante de movimentos das massas de temperatura e pressão em escalas globais.

O estudo do perfil vertical do vento é essencial no campo da energia eólica. O fluxo que corre mais próximo à superfície perde energia com o atrito causado pelo contato com a vegetação e obstruções, prédios e construções. Por isso, esse fluxo normalmente é de menor intensidade e apresenta maior turbulência. À medida que observamos o vento em alturas maiores, as influências da superfície do solo diminuem, assim como a turbulência, permitindo maiores velocidades. Esse comportamento, de modo simplificado, permite compreender o conceito de perfil vertical de velocidade do vento na camada-limite. Em condições de atmosfera neutra, esse perfil pode ser estimado por uma função matemática que associa a velocidade do vento à rugosidade local do terreno e à estabilidade térmica vertical. Como pode ser visto no GRÁFICO 3.2, acima da camada-limite a circulação atmosférica não é influenciada por características locais da cobertura da terra e topografia. O vento nessa região é conhecido como geostrófico, ou seja, aquele que não é influenciado por forças de fricção com a superfície da Terra.



FONTE: JOURNAL OF METEOROLOGY^[14]

GRÁFICO 3.1 Diagrama de Van Der Hoven, escalas temporais de variabilidade do vento.

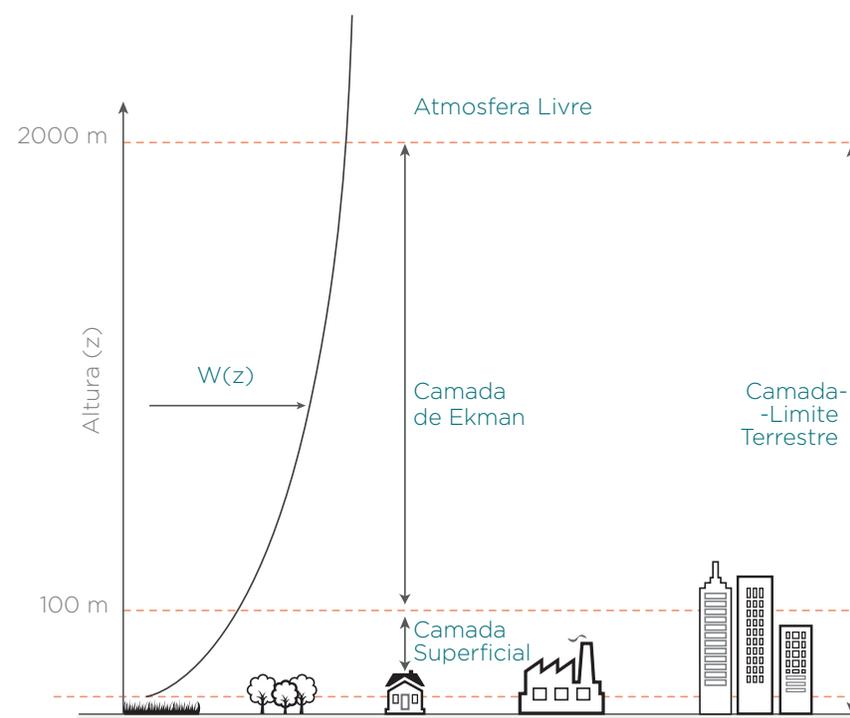


GRÁFICO 3.2 Elementos da camada-limite terrestre.

3 · Climatologia

3.2 ANÁLISE CLIMATOLÓGICA GLOBAL

A circulação atmosférica global, apesar de bastante dinâmica e não linear, pode ser bem representada por modelos matemático-computacionais baseados em interações físicas e químicas conhecidas.

Esses modelos são conhecidos como reanálises e são processados em supercomputadores nos principais centros de pesquisa em meteorologia pelo mundo. Os dados de reanálises são conjuntos de dados consistentes que representam o estado passado e a variabilidade da atmosfera. Esses modelos necessitam de grandes recursos computacionais para simular toda atmosfera do planeta em diferentes resoluções horizontais, verticais e temporais.

Para realizar as simulações, os modelos recebem como entrada dados das mais variadas naturezas, como temperatura, pressão, umidade relativa, velocidade e direção do vento, irradiação solar, concentração de elementos químicos na atmosfera, temperatura do oceano, cobertura de nuvens, entre outros. Esses dados são

obtidos em instrumentos a bordo de aeronaves, por balões atmosféricos, radares, satélites e sondas. Os modelos de reanálise assimilam todas essas informações de entrada e buscam soluções numéricas de equações físicas, convergindo para um resultado final. Esse resultado final é dado para cada ponto da malha do *grid* global, espacial e temporal, e consiste em centenas de variáveis atmosféricas para cada ponto. Os resultados são fisicamente coerentes e representam o estado da arte em modelagem atmosférica para representação da variabilidade climática. O grande diferencial desse tipo de modelo é a utilização de dados observados por uma rede de sensores meteorológicos.

Atualmente, os modelos de reanálise mais reconhecidos são os desenvolvidos nos Estados Unidos pelo *National Center for Atmospheric Research* – NCAR/NCEP e pelo *Global Modeling and Assimilation Office* – GMAO da *National Aeronautics and Space Administration* - NASA. O projeto de reanálises globais do GMAO é denominado *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* – MERRA.

O MERRA, lançado em 2008, já incorporou a base de dados

desde 1979, data conhecida como o início da era do satélite, e o processamento já atingiu a atualidade. Por pertencer à NASA, o MERRA utiliza como pontos de entrada dados coletados por quase todos os satélites que já estiveram ou estão em operação na órbita terrestre, juntamente com dados coletados por diversos instrumentos em solo em todo o mundo. Estima-se que para cada integração do modelo, a cada 6 horas, são consideradas mais de 4 milhões de medições^[97].

3.3 CHUVAS

Diferentes sistemas atmosféricos influenciam a precipitação ao longo do ano, tais como: os sistemas frontais; linhas de estabilidade; ciclones; complexos convectivos de mesoescala e circulações de brisa^[96].

O MAPA 3.1 apresenta as pluviosidades anuais e sazonais do Estado, características do clima temperado subtropical, demonstrando distribuição de chuvas relativamente uniforme durante todo o ano. O sul e oeste do Estado têm sua época mais seca durante o verão e o outono, com chuvas mais abundantes durante o inverno,



FIGURA 3.3 Nuvens sobre áreas agrícolas, em Jaguarão.

em contraste com o norte, que é a região mais chuvosa e atinge os níveis máximos entre a primavera e o verão. O litoral gaúcho apresenta regularidade pluviométrica ao longo do ano, sendo que, em geral, a pluviosidade anual aumenta no sentido sul-norte, variando entre 1.200 mm e 2.000 mm, em função do Planalto Basáltico no extremo norte do Estado, que facilita a subida de massas de ar, formando nuvens e aumentando a precipitação.

3.4 TEMPERATURAS

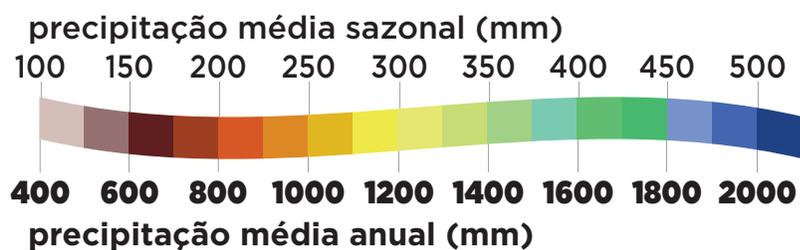
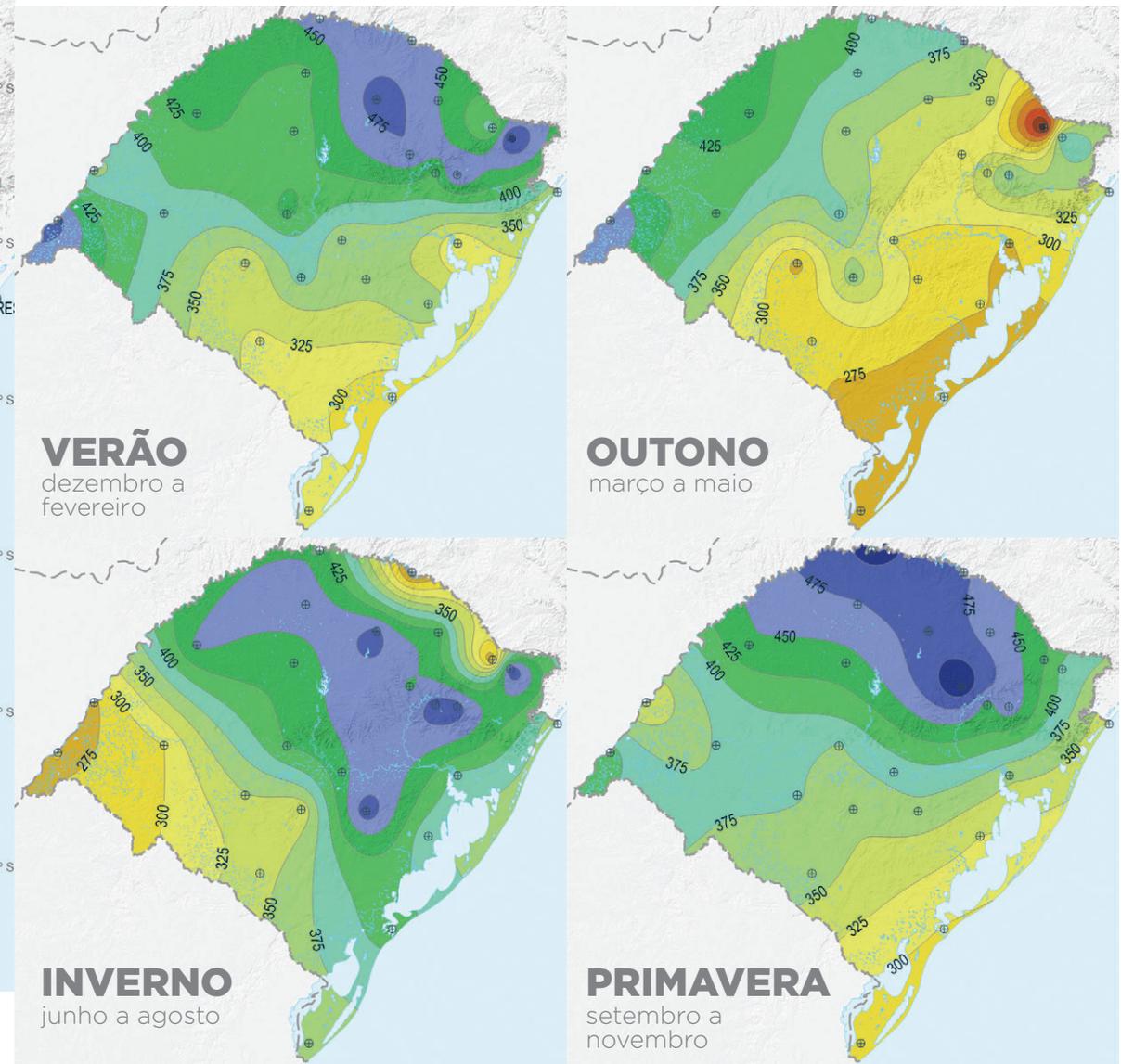
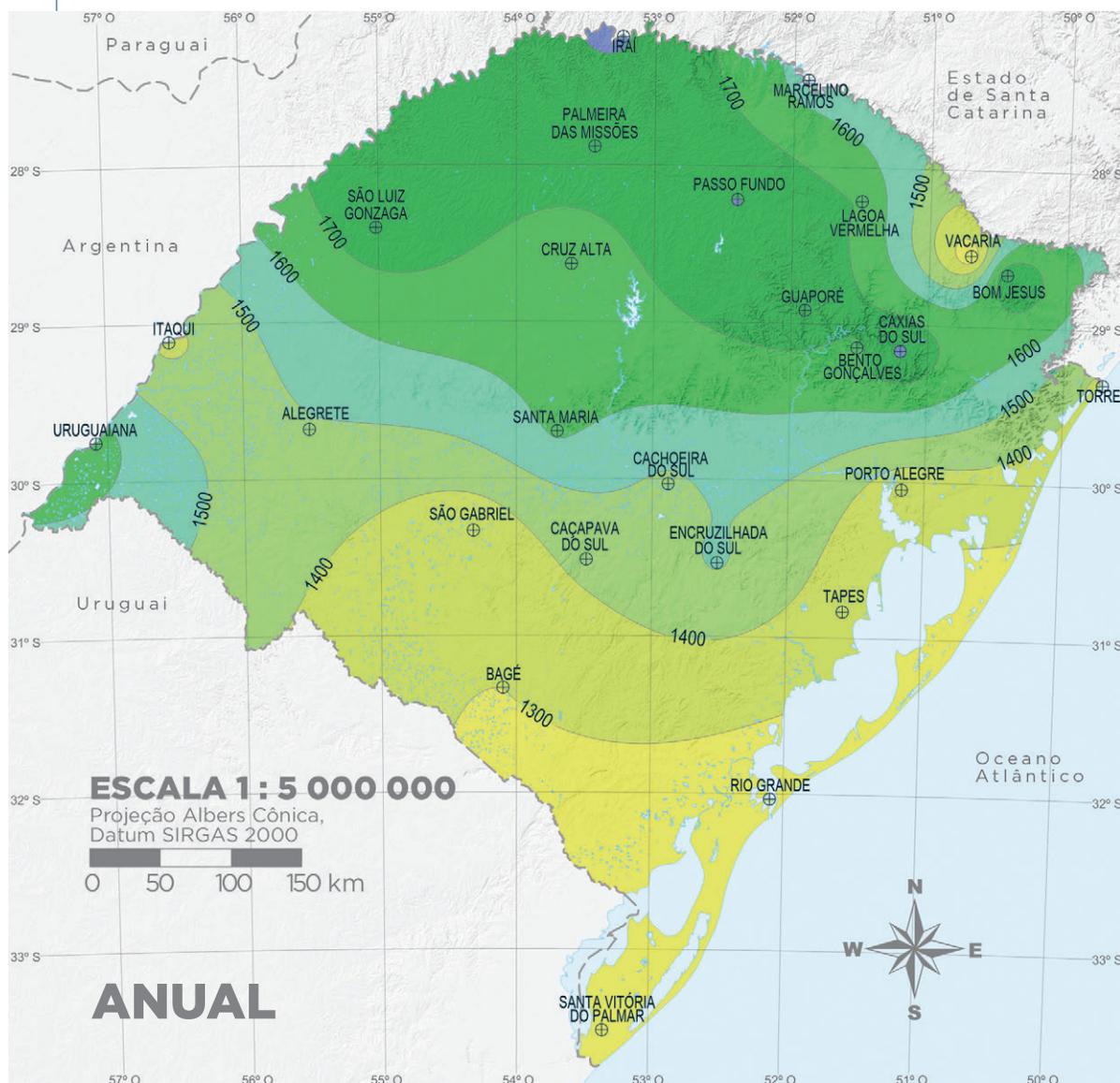
O Rio Grande do Sul apresenta as maiores amplitudes térmicas do Brasil. Isso decorre do relevo com variações de altitude muito acentuadas e das variações bruscas devido às entradas de massas de ar oriundas do Polo Sul. Durante o inverno, a média histórica chega a 10 °C nas regiões de maior altitude

no Planalto Basáltico, no nordeste do Estado, e médias diárias podem comumente atingir 0 °C. Já o oeste do Estado apresenta temperaturas médias acima de 30 °C no verão, e as temperaturas diárias máximas chegam a 40 °C^[106]. A sazonalidade da temperatura no outono e na primavera é muito similar, como pode ser visualizado nos MAPAS 3.2 e 3.3.

PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

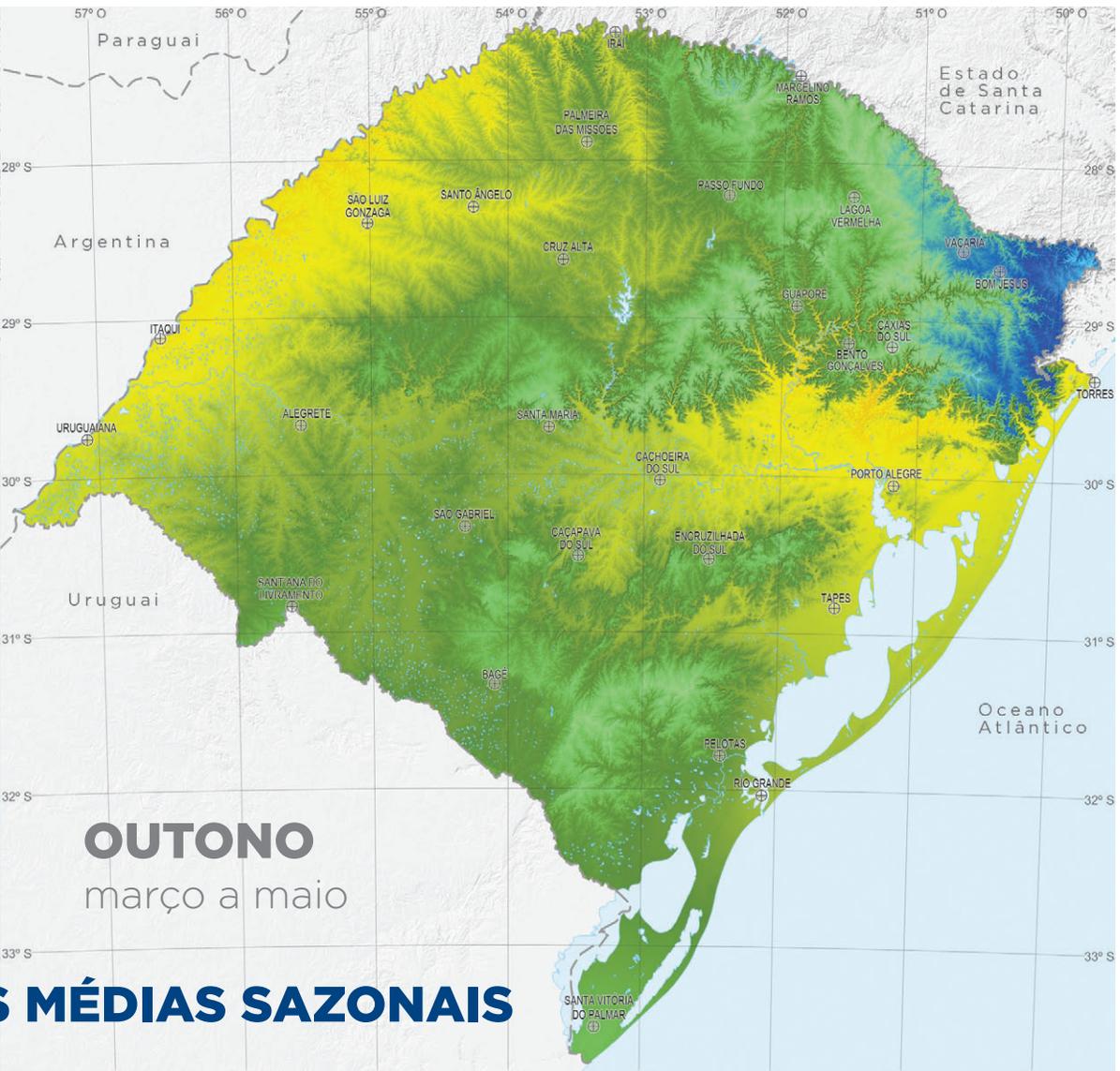
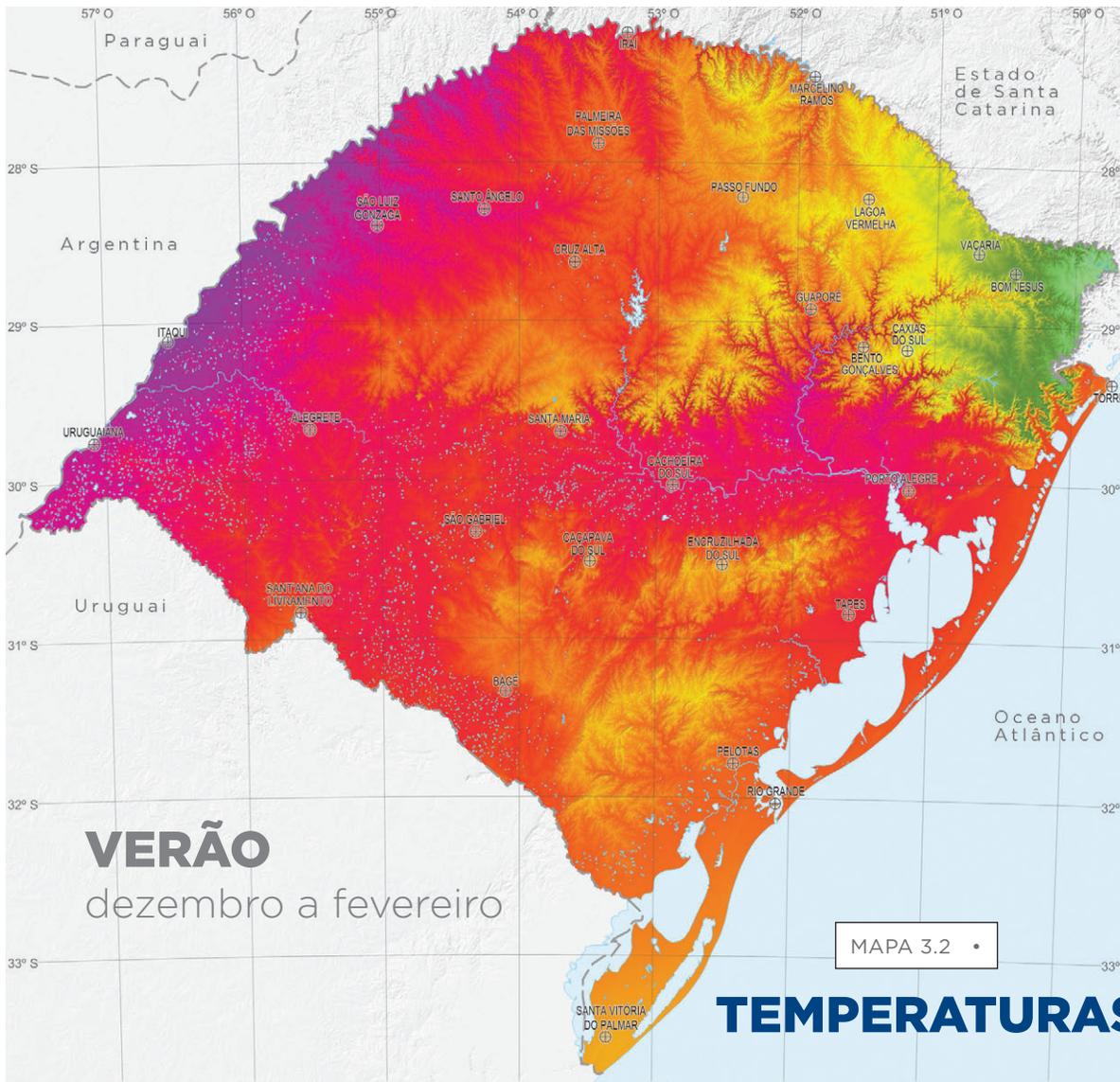
MAPA 3.1

PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL



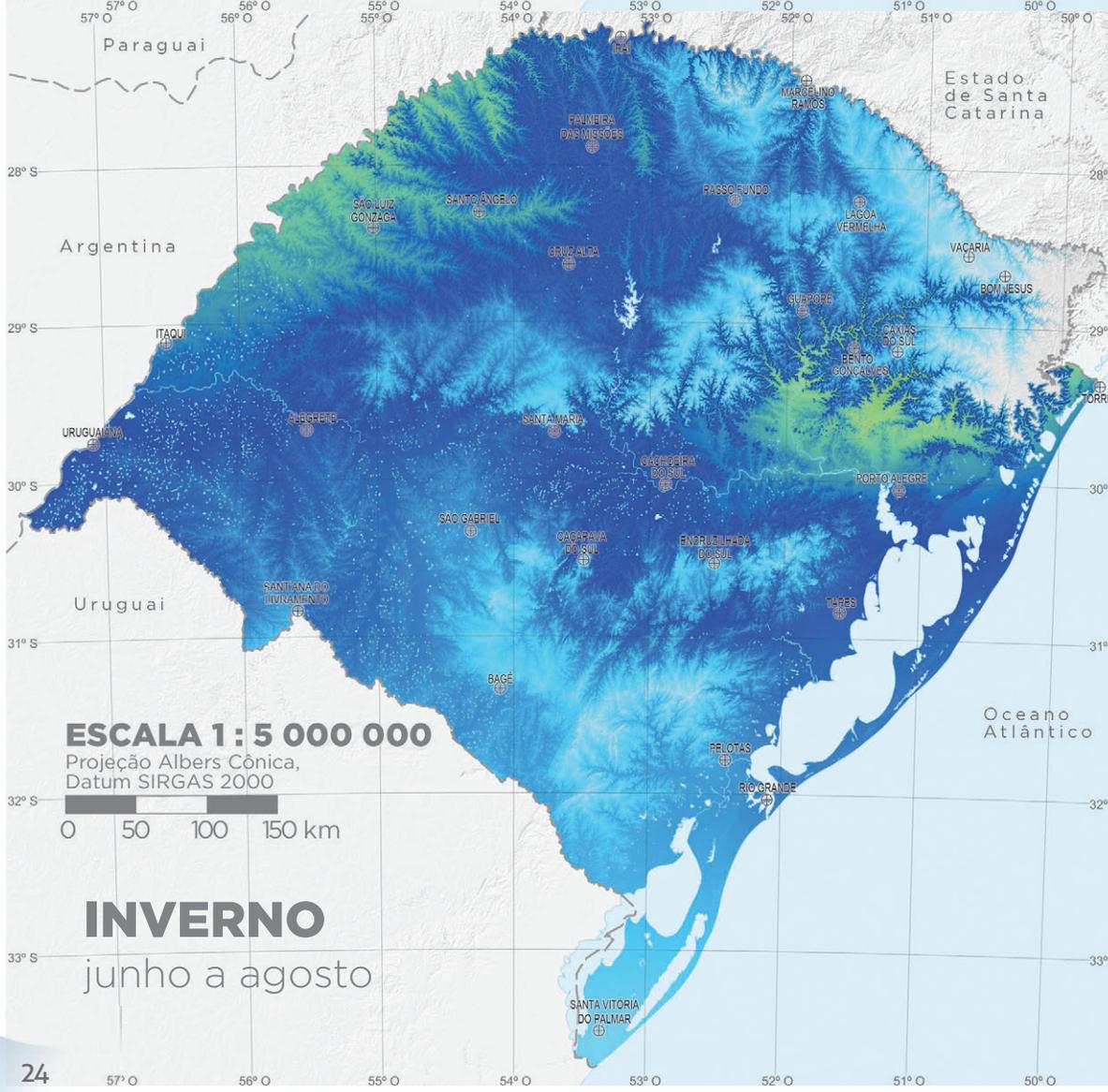
Mapas desenvolvidos a partir de dados climatológicos coletados em 26 estações do INMET no período de 1961 a 1990^[58].

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



MAPA 3.2 •

TEMPERATURAS MÉDIAS SAZONAIS

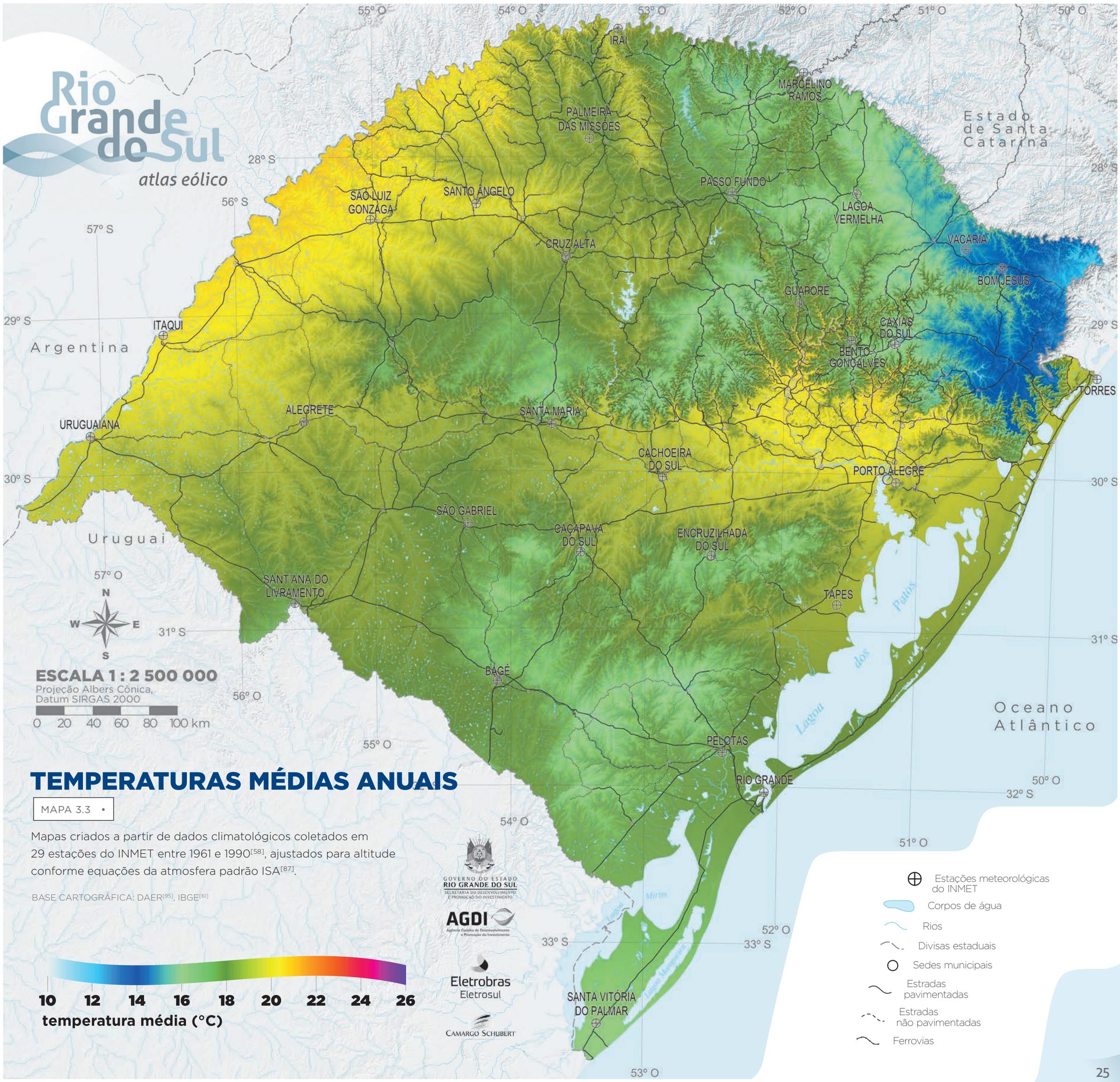


ESCALA 1 : 5 000 000
Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000



Rio Grande do Sul

atlas eólico

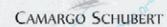
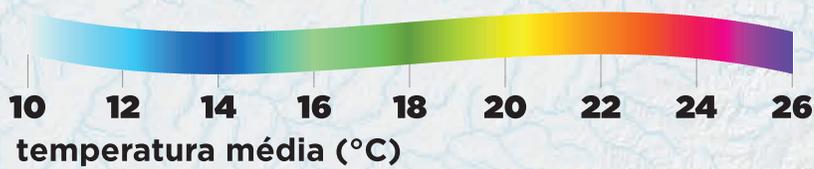


TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS

MAPA 3.3

Mapas criados a partir de dados climatológicos coletados em 29 estações do INMET entre 1961 e 1990^[58], ajustados para altitude conforme equações da atmosfera padrão ISA^[87].

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^[61]



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

3 · Climatologia

3.5 REGIMES DE VENTOS DO RIO GRANDE DO SUL

Como descrito no Item 3.1, a variabilidade sazonal e interanual do regime de ventos é modulada pelos fenômenos atmosféricos em todas as escalas espaciais e temporais, assim como por outros processos físicos, químicos, biológicos e tectônicos que ocorrem na biosfera.

Devido à sua posição geográfica, o Estado do Rio Grande do Sul está em uma zona de transição climatológica. Os principais sistemas globais impactantes na sua climatologia são os sistemas intertropicais (caracterizados por massas tropicais) e os extratropicais (caracterizados por massas e frentes oriundas do polo sul). Adicionalmente, o Rio Grande do Sul recebe influência de sistemas regionais ou de mesoescala, representados pela Baixa do Noroeste Argentino e pela Baixa do Chaco. Por fim, a interação entre alguns desses sistemas é responsável por frentes frias cíclicas de curta duração^[104].

Os fenômenos intertropicais do *El Niño* e *La Niña*, responsáveis por grandes variações de temperatura no Oceano Pacífico, e com efeitos nos campos de temperatura e pressão globais, distorcem sensivelmente o regime pluviométrico, trazendo ou chuvas abundantes, ou períodos de estiagem^[104].

O anticiclone tropical do Atlântico Sul é um fenômeno extratropical caracterizado por um sistema de alta pressão quase estacionário, com localização aproximada, no verão, no ponto de coordenadas geográficas 25° S, 20° O. Nesse ponto, a temperatura é elevada devido à alta insolação e grau de umidade^[104].

A Baixa do Noroeste Argentino é um sistema de baixa pressão oriundo de fortes fluxos de calor sensível da superfície. A Baixa do Chaco é um sistema de estrutura similar, mas que se localiza um pouco mais ao norte, sobre o território do Paraguai. A interação desses fenômenos com o anticiclone subtropical do Atlântico Sul resulta em ventos de intensidade moderada, mas com direção predominante leste e nordeste*.

O encontro moderadamente frequente de massas polares de ar frio com massas de ar tropical vindas do norte gera um anticiclone extratropical de curta duração (poucos dias). Essa movimentação carrega frentes frias oriundas do sudoeste, com rajadas e ventos resultantes acima de 10 m/s. Esses são conhecidos como *minuano* ou *pampeiro*, responsáveis por diminuir drasticamente os campos de temperatura e umidade.

A interação de todos os sistemas e fenômenos meteorológicos mencionados resulta em uma climatologia única e excepcionalmente dinâmica atuando sobre o Estado do Rio Grande do Sul, com rápidas variações de intensidade e direção do vento, assim

como da temperatura e da pressão. Essas variações estão diretamente vinculadas à energia cinética e à densidade atmosférica, variáveis de maior interesse para os estudos de aproveitamento do recurso eólico para a geração de energia elétrica.

As imagens da FIGURA 3.5 ilustram dois exemplos da dinâmica atmosférica sobre o Rio Grande do Sul. As duas sequências foram elaboradas a partir de dados de reanálises MERRA do período de inverno de 2011 e descrevem a rápida variação na intensidade e direção em um curto período de tempo. A escala de cores e vetores representa os deslocamentos de ar mais velozes que 3 m/s, na altura de 50 m acima do solo, sendo os ventos mais intensos ilustrados pelos vetores vermelhos e amarelos e os mais brandos, pelos azuis e cinzas. Apresentam-se duas sequências distintas de dinâmica atmosférica, ambas associadas a passagens de sistemas frontais sobre a região Sul do Brasil. Ambos os casos estão relacionados a fenômenos como rajadas de ventos e tempestades.

Na sequência I, há uma convergência de fluxos de ar sobre o Oceano Atlântico no sentido norte-sul, resultante da presen-

ça de um centro de baixa pressão ao sul e de um anticiclone, ambos localizados fora dos limites da figura, a leste, sobre o Oceano Atlântico. Um deles é o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul que aparece na FIGURA 3.2, como centro de alta pressão. O deslocamento desses sistemas no sentido oeste para leste provoca a intensificação do vento no litoral e alteração na direção, que muda de norte para oeste. A diferença temporal entre cada uma das imagens é de apenas 6 horas, caracterizando a rápida passagem da frente fria.

A sequência II exemplifica a mudança na direção e intensidade do vento devido à formação (quadros II-1 a II-3) e passagem de uma área de baixa pressão (indicada pela letra “B” nos quadros II-4 a II-6) sobre o continente, deslocando-se para o oceano. As seis imagens espaçadas temporalmente em 12 horas totalizam um período de 3 dias, durante o qual a direção do vento varia em 360°. Na última sequência (II-6) é possível observar o vento minuano vindo da direção oeste, no sul do Estado.

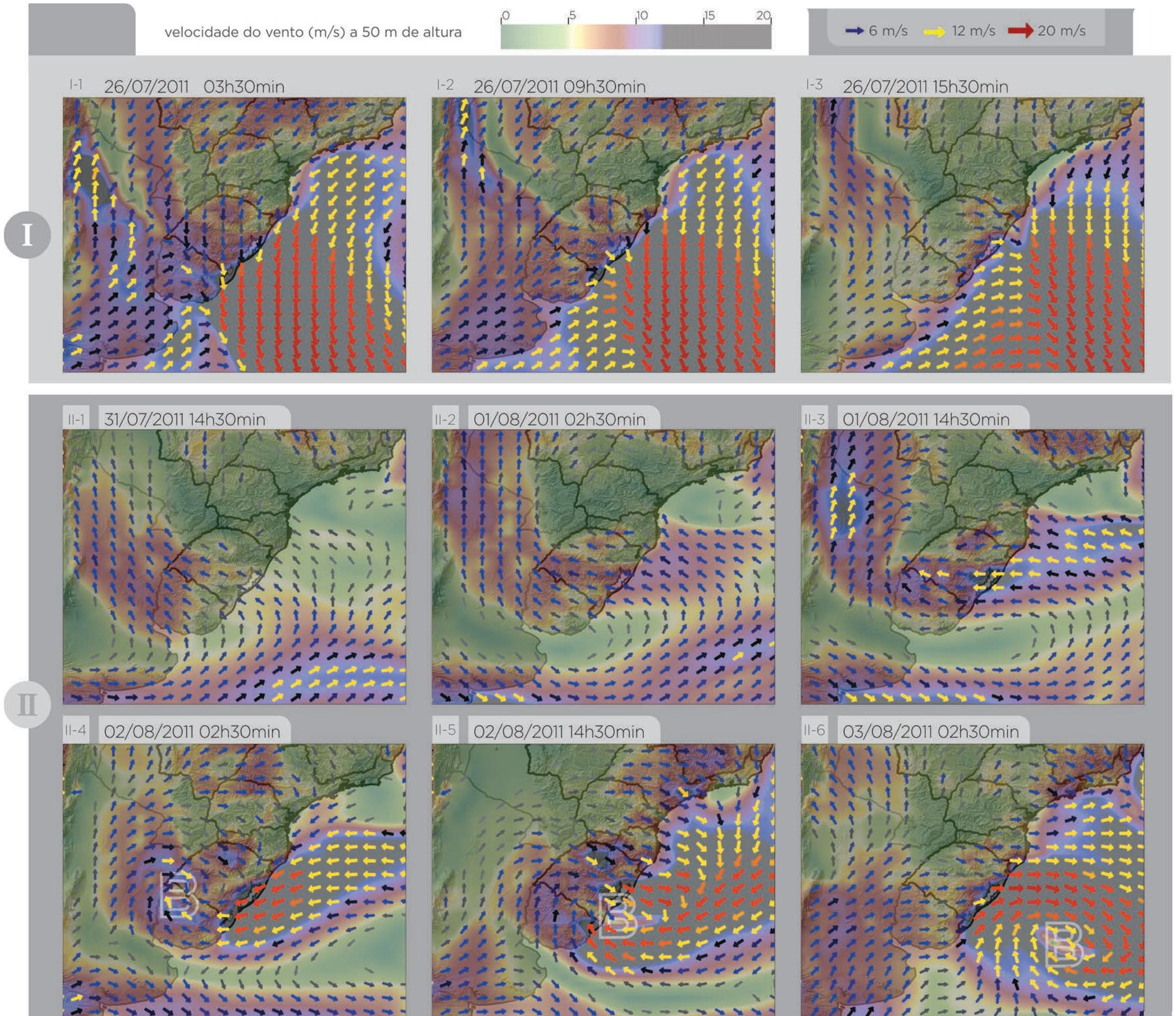
FIGURA 3.4 Nuvens sobre cânions próximos ao Pico Montenegro, em São José dos Ausentes.

ZIG KOCH



* POR CONVENÇÃO, DEFINE-SE A DIREÇÃO DO VENTO EM RELAÇÃO AO NORTE GEOGRÁFICO, DE ONDE O VENTO SOPRA.

FIGURA 3.5 Exemplos de dinâmica de circulação atmosférica sobre o Rio Grande do Sul.



FONTE: DADOS MERRA^[97]

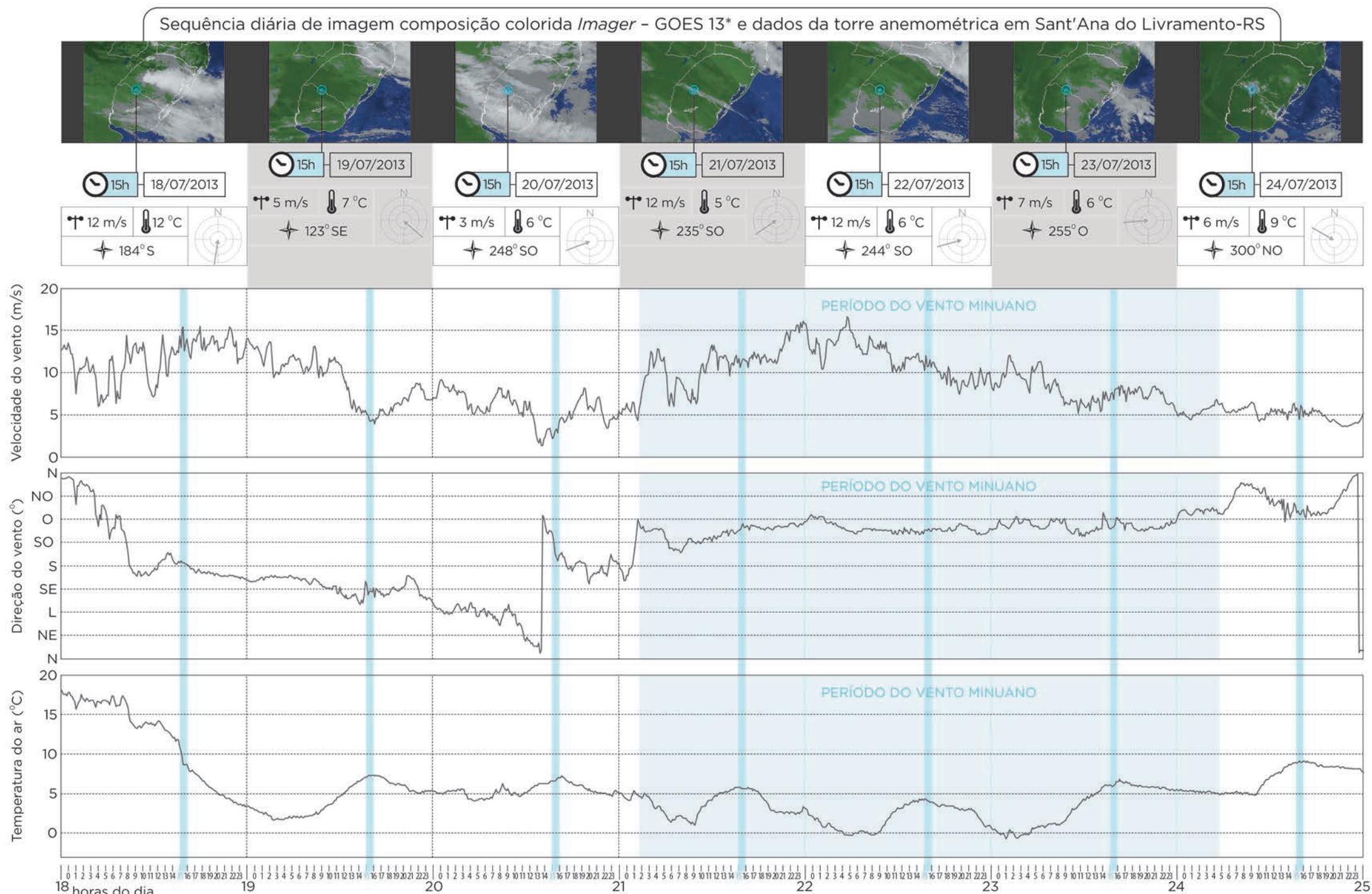
3 · Climatologia

As mudanças de direção e intensidade do vento no Estado do Rio Grande do Sul estão frequentemente relacionadas às passagens de sistemas frontais oriundos da Argentina e Polo Sul. A sequência diária de imagens do sensor *imager* a bordo do satélite geostacionário meteorológico GOES^{[72], [85]}, apresentada na FIGURA 3.6, ilustra a passagem de dois sistemas frontais ao longo de 7 dias do mês de julho de 2013. Nas imagens coloridas, o verde representa o continente; o azul, o mar, e as tonalidades de cinza e branco representam os vários tipos de nuvens. A localização aproximada da torre anemométrica é representada pelo ponto azul. No dia 18/07/2013 às 15h, observou-se que a primeira frente fria já havia passado pela torre,

o que é indicado pela densa camada de nuvens na parte central e leste do Estado. Nessa data, ocorreu mudança na direção do vento de norte para sul, conforme o gráfico de direção do vento. No dia 19, a direção do vento se manteve entre sul e sudeste e a temperatura diminuiu, devido à massa de ar frio trazida pela primeira frente fria. Na imagem, percebe-se que a nebulosidade na região da torre anemométrica diminuiu. Entre o dia 18 até a metade do dia 20, a direção do vento mudou 360°, girando no sentido anti-horário, devido ao Efeito Coriolis. Ao longo do dia 20, a segunda frente fria avançou rapidamente pelo Estado, mudando a direção do vento de leste no início do dia para sul no final do dia. Após a passagem da frente fria no

dia 21, ocorreu mudança na direção do vento de sul para sudoeste e oeste. Na região Sul do Brasil, esse vento é conhecido como minuano, com ocorrência típica no inverno e outono. O minuano permaneceu ao longo dos dias 21, 22 e 23, intensificando-se na madrugada do dia 22 e com pouca variação da direção. Durante esses dias, houve registros de temperatura negativa na madrugada e início da manhã, decorrentes da segunda massa de ar frio. A partir do dia 23, a intensidade do vento diminuiu até atingir um patamar menor que 5 m/s no dia 24, quando o vento mudou a direção para noroeste, com pequeno incremento na temperatura do ar.

FIGURA 3.6 Caracterização do vento minuano e exemplo da variabilidade semanal da temperatura do ar, velocidade e direção do vento.



* IMAGENS SENSOR *IMAGER* A BORDO DO SATÉLITE NOAA - GOES 13^{[72], [85]}.

3.5.1 REGIMES HORÁRIOS

Devido à heterogeneidade do recurso eólico no Estado, decorrente da dinâmica dos sistemas influentes na climatologia, diferentes regiões apresentam comportamentos diurnos do vento distintos, como se pode ver na FIGURA 3.8. Nos gráficos, é representada a variabilidade do vento, por meio das médias horárias mensais medidas em seis torres anemométricas integrantes da campanha da Eletrosul. É possível observar na torre anemométrica de São José dos Ausentes, localizada na Serra Gaúcha, que o vento acelera após o pôr do sol, em função da estabilidade térmica, e se intensifica durante a madrugada, voltando a patamares mais baixos logo após o nascer do sol do dia seguinte. Nas três torres próximas ao litoral, instaladas nos municípios de Mostardas, Jaguarão e Santa Vitória do Palmar, o efeito da brisa terrestre se inicia no fim de tarde, logo antes do pôr do sol, momento em que o ar sobre a areia esfria rapidamente e induz à circulação da terra para o mar. As torres no centro e oeste do Estado demonstram um comportamento contrastante, com ventos muito fortes a partir das primeiras horas após o pôr do sol, quando a atmosfera fica estável, permanecendo assim durante toda a madrugada.

3.5.2 REGIMES MENSIS E SAZONAIS

Além da variabilidade do perfil diurno, as medições também retratam o efeito sazonal dos fenômenos atmosféricos. Nas torres mais próximas ao litoral, o potencial eólico se intensifica no início da primavera e permanece assim até dezembro, durante o início do período mais quente do ano. Similarmente, as medições no centro-oeste gaúcho mostram o aumento da intensidade do vento a partir do inverno, atingindo o ápice na primavera, sendo um pouco menor no outono.

3.5.3 REGIMES INTERANUAIS

Para realizar o estudo do comportamento interanual do vento foram utilizados dados do modelo de reanálise atmosférica global do MERRA de um período de 20 anos, representativo do tempo de operação de uma usina eólica. A FIGURA 3.9 ilustra esse comportamento em nove pontos distintos do Estado. Nos gráficos, os valores do eixo vertical representam a variabilidade normalizada dos dados de reanálises em torno da

média desses 20 anos. Essa variabilidade interanual é de grande interesse para os estudos de produção de energia de parques eólicos, pois determina a correção climatológica que se faz sobre as medições de curto prazo das torres anemométricas, como será visto no Capítulo 6. Um exemplo do comportamento distinto entre os pontos do litoral e do interior é a tendência nos últimos dois anos de uma variabilidade negativa acentuada no litoral do Estado (Santa Vitória do Palmar, Mostardas e São José do Norte), invertendo-se para uma variabilidade positiva no norte, região de Giruá.

Os últimos gráficos, na porção inferior da figura, mostram a variabilidade mensal da velocidade média do vento em 20 anos, em dois pontos distintos, comparando-se o comportamento do interior com o do litoral, confirmando as maiores amplitudes mensais de velocidade sobre o litoral.

FIGURA 3.7 Nuvens sobre o complexo eólico de Osório.

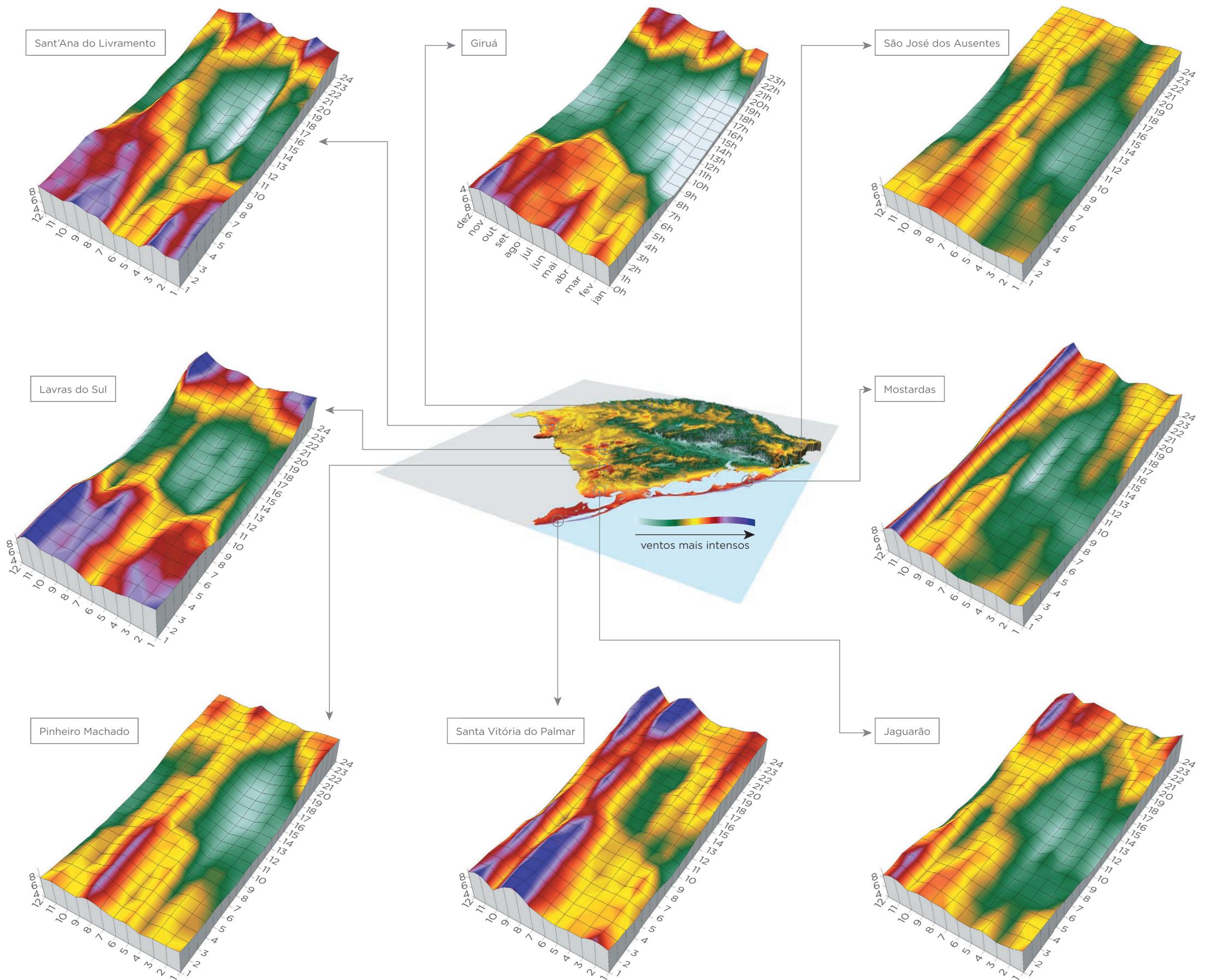


3 · Climatologia

regimes horários e mensais

Regimes horários médios, de curto prazo, para cada mês do ano, da velocidade do vento a 110 m de altura, estimada a partir de medições em torres anemométricas da Eletrosul.

FIGURA 3.8 ·



regimes interanuais

Variações interanuais da velocidade média do vento, período: jan/1994 a dez/2013.

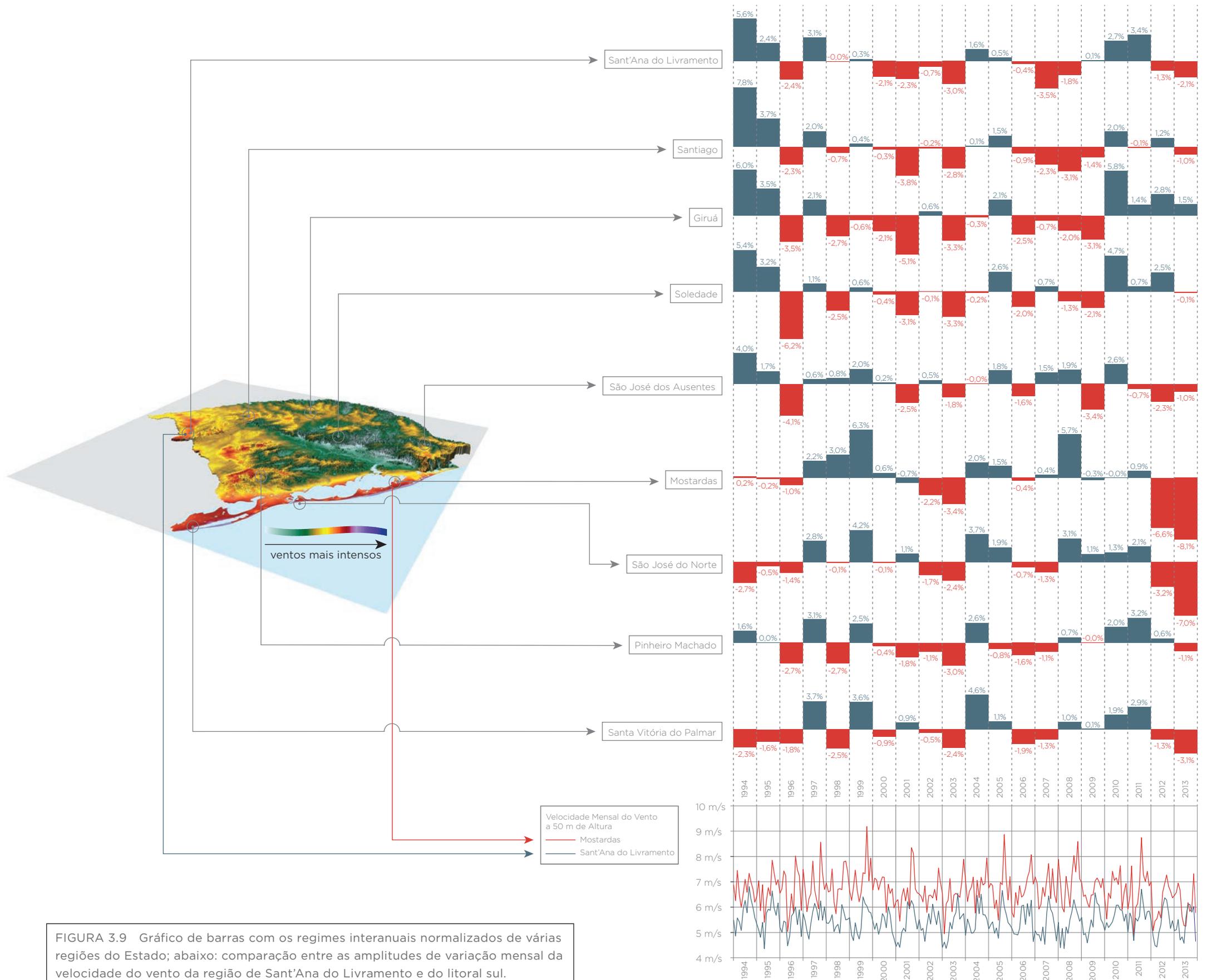


FIGURA 3.9 Gráfico de barras com os regimes interanuais normalizados de várias regiões do Estado; abaixo: comparação entre as amplitudes de variação mensal da velocidade do vento da região de Sant'Ana do Livramento e do litoral sul.

FONTE: DADOS DE REANÁLISES MERRA^[97]

4 · Meio Ambiente



ZIG KOCH

FIGURA 4.1 Parque Nacional da Lagoa do Peixe.

A geração de energia eólica é reconhecidamente uma das fontes menos agressivas ao meio ambiente dentre as formas de geração atuais, em essência por ser praticamente livre de emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE durante sua operação^[28]. Além disso, caracteriza a energia eólica como de baixo impacto o fato de que, normalmente, os empreendimentos eólicos não modificam o tipo de uso do solo, permitindo a convivência harmônica da produção de energia com outras atividades econômicas, como a pecuária e a agricultura.

Entretanto, no planejamento de parques eólicos, alguns impactos são identificados. Entre eles 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 *shadow flicker* (cintilação) nas proximidades dos parques e o afugentamento da fauna. Contudo, esses estão limitados, sobretudo, à fase de instalação dos parques.

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

No âmbito socioeconômico, as contrapartidas incluem programas de educação e profissionalização de comunidades locais, geração de renda e de empregos aos municípios. Nos casos em que as propriedades onde estão instalados os parques eólicos não pertencem ao empreendedor, ocorre o arrendamento pelo uso das terras. Esses contratos de arrendamento de terra, em geral, são realizados para todo o período de vida útil do parque eólico, de pelo menos 20 anos. Além disso, o uso e cobertura da terra ficam restritos somente no entorno do aerogerador.

FIGURA 4.2 Cânion Itaimbezinho.

4.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Os empreendimentos de energia eólica estão sujeitos à legislação ambiental federal, estadual ou municipal, aplicada por meio de procedimentos administrativos realizados pelos órgãos competentes, para licenciar a sua localização, instalação, ampliação, modificação ou operação^[53]. Na esfera federal, os processos são regulamentados pelo Ministério de Meio Ambiente – MMA e geridos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA ou, quando envolvem Unidades de Conservação – UC federais, pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio^[71]. Na esfera estadual, os processos são regulamentados pela Secretaria do Meio Ambiente – SEMA, e geridos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM.

A base da legislação ambiental vigente inclui o novo Código Florestal Brasileiro^[11], a Política Nacional do Meio Ambiente^[22], as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA^[29] a^[33]. No âmbito estadual, há o Código Estadual de Meio Ambiente^[100], o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul^[99], sendo os processos guiados pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA,

por meio de marcos regulatórios específicos^[52] que estabelecem 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 n. 279^[34], que prevê a apresentação do Relatório Ambiental Simplificado – RAS por parte do interessado, com prazo máximo de sessenta dias para a tramitação do processo^[32]. Em 2014, com a publicação da Resolução CONAMA n. 462, foram estabelecidos procedimentos específicos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, sendo que os prazos para análise da solicitação das licenças permanecem sendo regulados pela Resolução CONAMA n. 279.

Caberá ao órgão licenciador o enquadramento quanto ao impacto ambiental dos empreendimentos de geração de energia eólica, considerando o porte, a localização e o baixo potencial poluidor da atividade. Caso o órgão ambiental não considere o empreendimento como de baixo impacto, será exigida a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, além de audiências públicas^[32].

ZIG KOCH



4 · Meio Ambiente

4.2 ÁREAS DE PROTEÇÃO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

4.2.1 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Unidades de Conservação – UCs são áreas com seus respectivos recursos ambientais com “características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público (...) às quais se aplicam garantias adequadas de proteção”^[20].

A implantação de UCs é uma estratégia adotada por muitos países para garantir a preservação da diversidade biológica, “proteção do meio físico e preservação do patrimônio histórico-cultural associado a ambientes naturais”^[107]. Atribui-se parcialmente ao sucesso dessa estratégia o aumento detectado na cobertura florestal do Estado do Rio Grande do Sul, de 5,6%, em 1982, para 17,5%, em 2001^[108].

No Rio Grande do Sul, as UCs estão regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC e pelo Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC^[109]. O Estado atualmente possui 6 UCs federais cadastradas no SNUC, além de 22 UCs estaduais, 22 municipais e uma Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN cadastradas no SEUC^[109].

Ambos os Sistemas classificam as UCs em diversas categorias, as quais, por sua vez, dividem-se em dois grandes grupos: as Unidades de Proteção Integral – UPIs e as Unidades de Uso Sustentável – UUSs^{[20], [109]}. Estes grupos diferem-se pelos objetivos das categorias e pelas restrições sobre o uso dos seus recursos naturais. Enquanto nas UPIs é apenas permitido o uso indireto dos recursos, nas UUSs, tais recursos podem ser aproveitados parcialmente, por meio de utilização sustentável.

No entorno das UCs, é definida uma zona de amortecimento, cujos limites geralmente dependem do uso do solo no entorno dessas áreas e da finalidade específica das UCs. O licenciamento ambiental para as atividades que não dependem de

EIA e respectivo RIMA é regulado pela resolução CONAMA 428/2010^[33]. Para as UCs que não possuem zonas de amortecimento, a resolução estabelece uma distância de 3.000 m dos limites da UC.

Como a delimitação de UCs é de interesse direto do planejamento de empreendimentos de grande porte como é o caso de usinas eólicas, é apresentada, nas páginas a seguir, a lista de todas as Unidades de Conservação cadastradas no SNUC e SEUC, no território do Rio Grande do Sul. Não foram incluídas as Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN, tampouco as UCs não cadastradas no SNUC ou no SEUC. A localização dessas UCs é indicada no MAPA 4.1, que também apresenta os limites de Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Rurais, as quais, por sua vez, são outras áreas sob regime especial de administração, que possuem legislação específica para a implantação de novos empreendimentos.

Nas fotografias das FIGURAS 4.2 a 4.6 são ilustradas várias UCs no Estado do Rio Grande do Sul, localizadas sobre ou próximas a regiões de potencial eólico relevante.

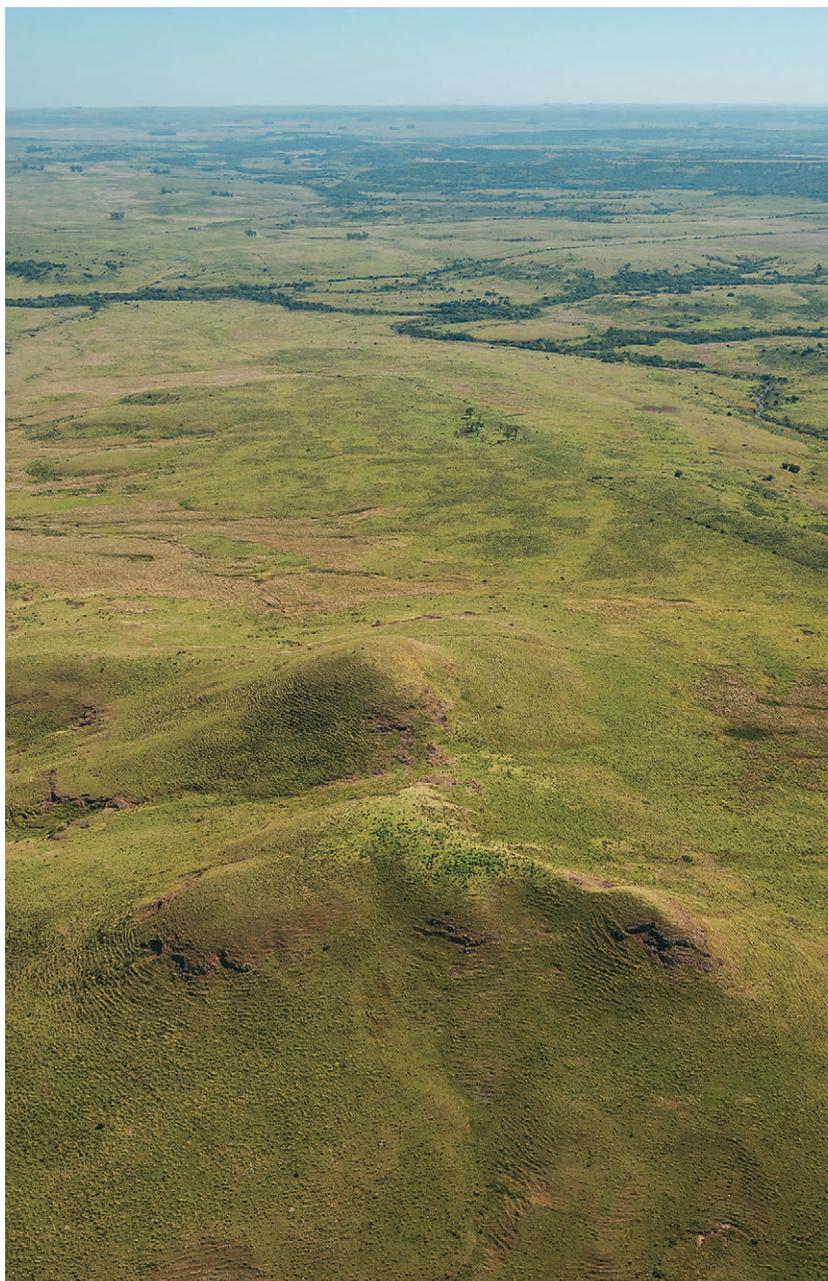


FIGURA 4.3 APA de Ibirapuitã.

FOTOS ZIG KOCH



FIGURA 4.4 Parque Estadual José Lutzenberger, mais conhecido como Parque da Guarita.

4.2.2 TERRAS INDÍGENAS, QUILOMBOBOS E ASSENTAMENTOS RURAIS

O Censo 2010 do IBGE acusa uma população indígena de 34.001 pessoas no Rio Grande do Sul, das quais 54% residem em terras indígenas^[64]. Os principais grupos étnicos são os Kaingang e os Guaranis, sendo a maior parte, cerca de 90%, pertencente ao primeiro^[113]. 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^[118]. Isso é estabelecido pela Constituição Federal, que dá à União a competência de “demarcar, proteger e fazer respeitar todos os bens e direitos dos povos indígenas^{[14]”}.

Em territórios quilombolas, a titularidade fundiária, em nome da associação de moradores, é coletiva e inalienável^[13]. Tais sítios, por se tratarem de reminiscências históricas, são tombados^[16], 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^[15].

Para o desenvolvimento do potencial eólico em assentamentos rurais, é preciso observar o prazo mínimo de 10 anos contados a partir da concessão de uso da terra aos assentados até a obtenção da plena titularidade do imóvel, de forma que os mesmos possam celebrar contratos de cessão do uso do solo diretamente a terceiros por: aquisição, cessão de direito de uso de superfície ou arrendamento^{[12], [19]}.

Enquanto a titularidade do imóvel não for obtida pelo assentado, a propriedade permanece registrada em nome da União. Assim, negociações pela cessão do direito de uso deverão obrigatoriamente incluir também a(s) instituição(ões) responsável(is) pelo assentamento: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA e/ou Secretaria de Desenvolvimento Rural, Pesca e Cooperativismo – SDR. O projeto fica submetido, desta maneira, a um processo de concessão de uso de terras públicas.

4.3 APROVEITAMENTO EÓLICO MARÍTIMO – OFFSHORE

O primeiro parque eólico instalado sobre a água – *offshore* – a entrar em operação foi na Dinamarca, em 1991. A Dinamarca possuía, na época, o sistema regulatório mais organizado do mundo, centralizado na Agência Dinamarquesa de Energia, que fazia a coordenação com os demais órgãos governamentais envolvidos^[102].

No Brasil, no contexto legal, não existe até o momento um marco regulatório para a exploração do potencial eólico marítimo que trate de questões tais como licenciamento ambiental, implementação, modelo de concessão ou modo de exploração das áreas. Ainda há poucas pesquisas e conclusões sobre os impactos ambientais. Em países com parques *offshore*, as pesquisas se concentram na avaliação dos impactos de parque eólicos *offshore* nos recursos pesqueiros e na biologia marinha local. Por se tratarem de áreas pertencentes à União, é necessário que ocorram definições sobre os modelos de inventário, a delimitação das áreas, a concessão e a exploração.

FIGURA 4.5 Parque Estadual de Itapuã.



FIGURA 4.6 Estação Ecológica do Taim.



		UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	MUNICÍPIO	ATO LEGAL	
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL	FEDERAL	1 PN da Lagoa do Peixe	Mostardas e Tavares	Decreto n. 93.546, de 06/11/1986	
		2 PN da Serra Geral	Jacinto Machado, Praia Grande e Cambará do Sul	Decreto n. 531, de 20/05/1992	
		3 PN de Aparados da Serra	Cambará do Sul e Praia Grande	Decreto n. 47.446, de 17/12/1959	
		4 EE do Taim	Rio Grande e Santa Vitória do Palmar	Decreto n. 92.963, de 21/07/1986	
		5 EE de Aracuri-Esmeralda	Muitos Capões	Decreto n. 86.061, de 02/06/1981	
		6 RVS Ilha dos Lobos	Torres	Decreto n. 88.463, de 04/07/2005	
	ESTADUAL*	7 PE do Turvo	Derrubadas	Decreto n. 17.432, de 11/08/1965	
		8 PE do Delta do Jacuí	Porto Alegre, Canoas, Eldorado do Sul, Nova Santa Rita, Triunfo e Charqueadas	Decreto n. 28.161, de 16/01/1979	
		9 PE do Camaquã	Camaquã e São Lourenço do Sul	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		10 PE do Tainhas	Jaquirana, São Francisco de Paula e Cambará do Sul	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		11 EE Estadual Aratinga	São Francisco de Paula e Itati	Decreto n. 37.345, de 11/04/1997	
		12 PE de Itapuã	Viamão	Decreto n. 35.016, de 21/12/1993; Decreto n. 33.886, de 11/03/1991	
		13 RB do Mato Grande	Arroio Grande	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		14 RB da Serra Geral	Maquiné, Terra de Areia e Itati	Decreto n. 30.788, de 27/07/1982	
		15 RB de São Donato	Itaqui e Maçambará	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		16 PE do Podocarpus	Encruzilhada do Sul	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		17 RVS Banhado dos Pachecos	Viamão	Decreto n. 41.559, de 24/04/2002	
		18 PE Quarta Colônia	Agudo e Ibarama	Decreto n. 44.186, de 20/12/2005	
		19 PE do Espinilho	Barra do Quaraí	Decreto n. 41.440, de 28/02/2002	
		20 PE do Espigão Alto	Barracão	Decreto n. 658, de 10/03/1949	
		21 PE de Itapeva	Torres	Decreto n. 42.009, de 12/12/2002	
		22 PE do Papagaio Charão	Sarandi	Decreto n. 30.645, de 22/04/1982	
		23 PE do Ibitirirá	Vacaria e Bom Jesus	Decreto n. 23.798, de 12/03/1975	
		24 RB do Ibirapuitã	Alegrete	Decreto n. 31.788, de 27/06/1982	
		25 RB Mata Paludosa	Itati	Decreto n. 38.972, de 23/10/1998	
		MUNICIPAL*	26 PNM Ronda	São Francisco de Paula	Decreto n. 027, de 06/08/1998; Lei n. 2.425, de 27/03/2007
			27 PNM de Sertão	Sertão	Lei Ordinária n. 1170, de 04/09/1998
			28 RBM Moreno Fortes	Dois Irmãos das Missões	Decreto n. 018, de 19/04/2004
			29 PNM Mata do Rio Uruguai Teixeira Soares	Marcelino Ramos	Lei n. 028, de 05/06/2008
			30 PNM Sagrisa	Pontão	Lei n. 232, de 26/11/1999
			31 RB Lami José Lutzenberger	Porto Alegre	Decreto-Lei n. 4.097, de 31/12/1975; Lei n. 9.781, de 05/07/2005
	32 PNM Imperatriz Leopoldina		São Leopoldo	Decreto n. 4.330, de 30/09/2005	
	33 PNM Morro do Osso		Porto Alegre	Lei Complementar n. 334, de 27/12/1994	
	34 RVS do Molhe Leste		São José do Norte	Lei n. 007, de 10/05/1996	
	35 PNM Manoel de Barros Pereira		Sto. Antônio da Patrulha	Lei n. 2.549, de 15/12/1992	
	36 PNM Apertado		Severiano de Almeida	Decreto n. 1.994, de 28/09/2005; Decreto n. 2.336, de 08/07/2008	
	37 PNM Longines Malinowski		Erechim	Lei Municipal n. 3.110, de 30/11/1998	
	38 PNM Tupancy		Arroio do Sal	Lei n. 468, de 29/12/1994	
	39 PNM Tancredo Neves		Cachoeirinha	Lei n. 1.527, de 22/03/1996	
	40 RB Dárvim João Geremia	Bento Gonçalves	Decreto n. 1.339, de 11/04/1980; Decreto n. 6.022, de 28/09/2005		
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL	FEDERAL	41 APA de Ibirapuitã	Alegrete, Rosário do Sul, Sant'Ana do Livramento e Quaraí	Decreto n. 529, de 20/05/1992	
		42 ARIE Pontal dos Latinos e Pontal do Santiago	Sta. Vitória do Palmar	Resolução n. 005, de 05/06/1984	
		43 FN de São Francisco de Paula	S. Francisco de Paula	Portaria n. 561, de 25/10/1968	
		44 FN de Passo Fundo	Mato Castelhano	Portaria n. 561, de 25/10/1968	
		45 FN de Canela	Canela	Portaria n. 561, de 25/10/1968	
	ESTADUAL*	46 APA do Banhado Grande	Glorinha, Gravataí, Viamão e Santo Antônio da Patrulha	Decreto n. 38.971, de 23/10/1998	
		47 APA Rota do Sol	Cambará do Sul, Itati, Três Forquilhas e São Francisco de Paula	Decreto n. 37.346, de 11/04/1997	
		48 APA Estadual Delta do Jacuí	Porto Alegre, Canoas, Eldorado do Sul, Nova Santa Rita, Triunfo e Charqueadas	Lei n. 12.371/2005.	
	MUNICIPAL** CADASTRADAS NO SEUC	49 APA de Riozinho	Riozinho	Decreto n. 348, de 25/09/1998	
		50 APA de Caraá	Caraá	Decreto n. 076, de 25/09/1998	
		51 APA Morro de Osório	Osório	Lei n. 2.665, de 27/09/1994	
52 APA dos Arroios Doze e Dezenove		Carlos Barbosa	Decreto n. 1.261, de 18/01/2000		
53 APA Lagoa Itapeva		Torres	Lei n. 3.372, de 07/12/1999		
UCs NÃO CATEGORIZADAS NO SNUC	54 ARIE Henrique Luís Roessler	Novo Hamburgo	Decreto n. 4.129, de 21/12/2009		
	55 ARIE São Bernardo	São Francisco de Paula	Lei n. 2.424, de 27/03/2007; Decreto n. 863, de 30/09/2011		
	56 Parque do Caracol	Canela	Decreto Estadual n. 27.389, de 21/07/1978		
	57 Parque Estadual da Guarita	Torres	Decreto Estadual n. 2.1540, de 11/08/1965; Lei n. 11.884 de 03/01/2003		

TABELA 4.1 Unidades de Conservação no Estado do Rio Grande do Sul.

TABELA 4.2 Terras Indígenas no Estado do Rio Grande do Sul.

TERRA INDÍGENA	MUNICÍPIO
TI-1 TI Guarita	Erval Seco, Redentora e Tenente Portela
TI-2 TI Nonoai	Gramado dos Loureiros, Nonoai, Planalto e Rio dos Índios
TI-3 TI Nonoai / Rio da Várzea	Gramado dos Loureiros, Liberato Salzano, Nonoai, Planalto e Trindade do Sul
TI-4 TI Serrinha	Constantina, Engenho Velho, Ronda Alta e Três Palmeiras
TI-5 TI Votouro / Kandoia	Benjamin Constant do Sul e Faxinalzinho
TI-6 TI Kaingang de Iraí	Iraí
TI-7 TI Ligeiro	Charrua
TI-8 TI Cacique Doble	Cacique Doble e São José do Ouro
TI-9 TI Mato Preto	Erebango, Erechim e Getúlio Vargas
TI-10 TI Votouro	Benjamin Constant do Sul e Faxinalzinho
TI-11 TI Inhacorá	São Valério do Sul
TI-12 RI Aldeia Kondá	Chapecó
TI-13 TI Guarani Barra do Ouro	Caraã, Maquiné e Riozinho
TI-14 TI Passo Grande do Rio Forquilha	Cacique Doble e Sananduva
TI-15 TI Pacheca	Camaquã
TI-16 TI Monte Caseros	Ibiraiaras e Muliterno
TI-17 TI Varzinha	Caraã e Maquiné
TI-18 TI Ventarra	Erebango
TI-19 TI Guarani Votouro	Benjamin Constant do Sul
TI-20 TI Rio dos Índios	Vicente Dutra
TI-21 TI Carreteiro	Água Santa
TI-22 TI Cantagalo	Porto Alegre e Viamão
TI-23 TI Salto Grande do Jacuí	Salto do Jacuí
TI-24 TI Guarani de Águas Brancas	Arambaré
TI-25 TI Irapuá	Caçapava do Sul
TI-26 TI Capivari	Palmares do Sul

TABELA 4.3 Quilombos no Estado do Rio Grande do Sul.

Quilombo	Município
Q-1 São Roque	Praia Grande e Mampituba
Q-2 Casca	Mostardas
Q-3 Cambará	Cachoeira do Sul
Q-4 Arvinha	Sertão
Q-5 Rincão dos Caixões	Jacuzinho
Q-6 São Miguel	Restinga Seca
Q-7 Manoel Barbosa	Gravataí
Q-8 Rincão dos Martimianos	Restinga Seca
Q-9 Família Silva	Porto Alegre
Q-10 Chácara das Rosas	Canoas
Q-11 Morro Alto	Maquiné e Osório
Q-12 Palmas	Bagé
Q-13 Limoeiro	Palmares do Sul
Q-14 Mormaça	Sertão

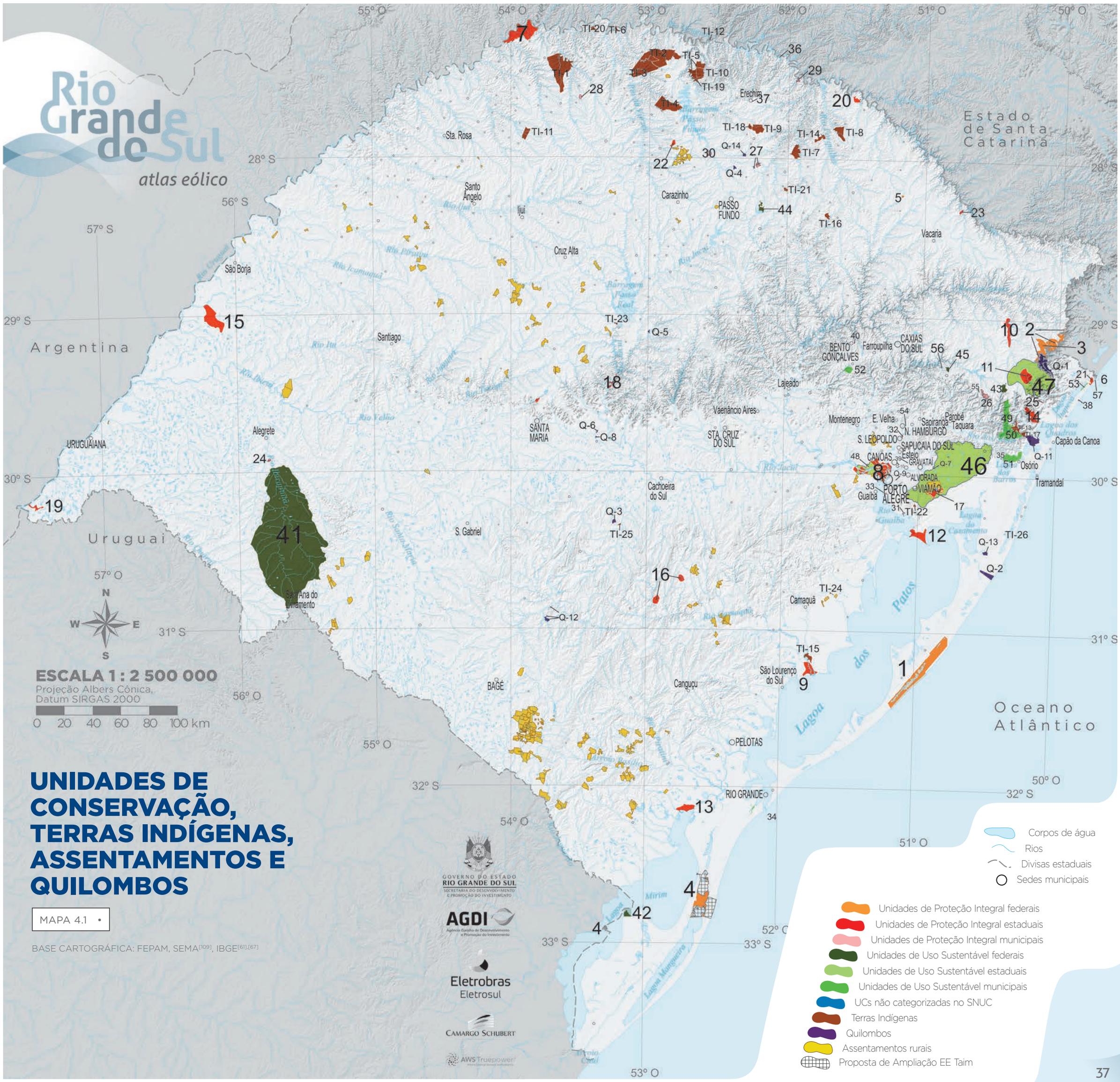
FONTE: FEPAM, SEMA^[09]

SIGLAS UTILIZADAS	
PN	Parque Nacional
PE	Parque Estadual
PNM	Parque Natural Municipal
EE	Estação Ecológica
RVS	Refúgio de Vida Silvestre
RB	Reserva Biológica
RBM	Reserva Biológica Municipal
MNM	Monumento Natural Municipal
APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
FN	Floresta Nacional
TI	Terra Indígena
Q	Quilombo

*UNIDADES DE CONSERVAÇÃO CADASTRADAS NO SISTEMA ESTADUAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO - SEUC.

Rio Grande do Sul

atlas eólico



UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, TERRAS INDÍGENAS, ASSENTAMENTOS E QUILOMBOS

MAPA 4.1

BASE CARTOGRÁFICA: FEPAM, SEMA^[109], IBGE^[61], [67]

GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO
E PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO

AGDI
Agência Gestora de Desenvolvimento
e Promoção do Investimento

Eletrobras
Eletrosul

CAMARGO SCHUBERT

AWS Truepower

- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Sedes municipais

- Unidades de Proteção Integral federais
- Unidades de Proteção Integral estaduais
- Unidades de Proteção Integral municipais
- Unidades de Uso Sustentável federais
- Unidades de Uso Sustentável estaduais
- Unidades de Uso Sustentável municipais
- UCs não categorizadas no SNUC
- Terras Indígenas
- Quilombos
- Assentamentos rurais
- Proposta de Ampliação EE Taim

5 · Energia Eólica e Tecnologia



FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 5.1 Parques eólicos do Complexo Cerro Chato em construção.

FIGURA 5.2 Complexo eólico de Osório.



5 · Energia Eólica e Tecnologia

5.1 HISTÓRICO

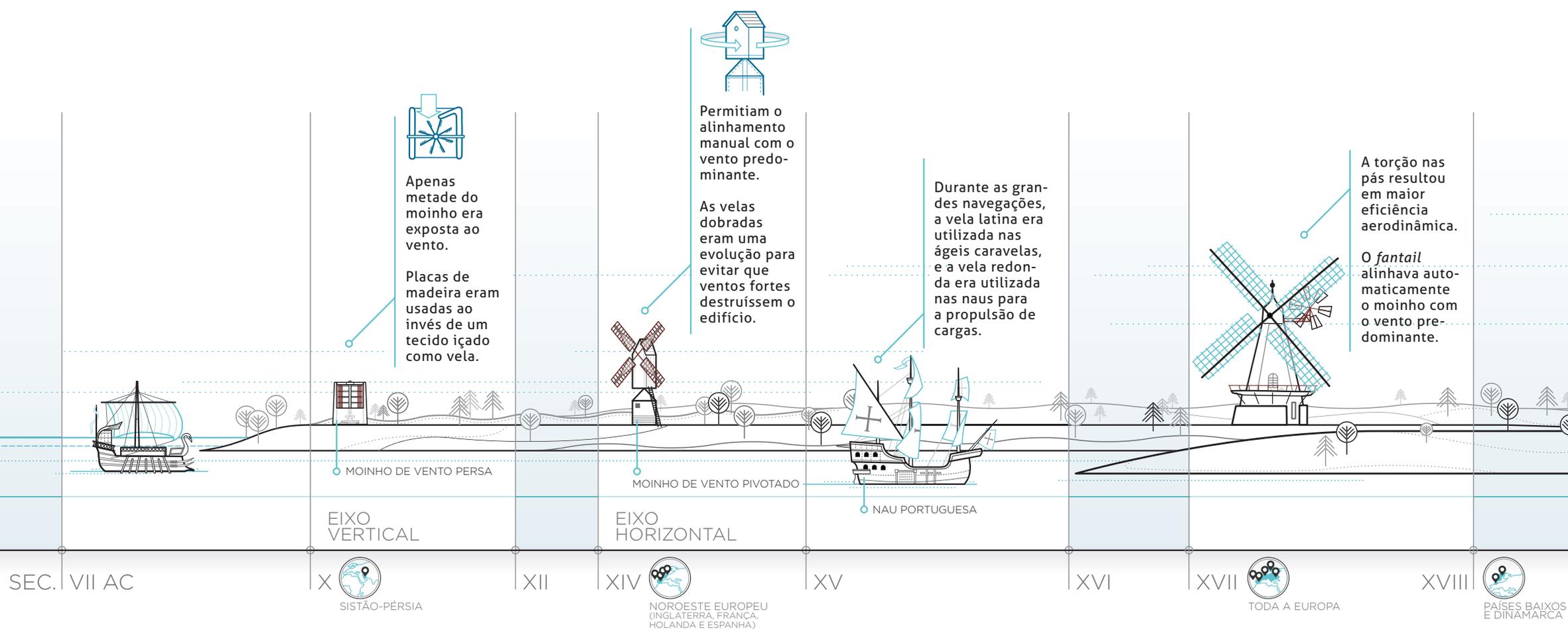
Um grande salto evolutivo na tecnologia humana foi a utilização das forças de sustentação em velas de tecido, que permitiram maior eficiência e liberdade na navegação, até contra o vento. No mar, a vela latina propeliu, muito tempo mais tarde, as caravelas para a descoberta de novos continentes e a expansão da civilização, enquanto em terra, os moinhos de vento trouxeram os benefícios da maior escala no processamento e moagem de grãos, contribuindo para uma nova era para a humanidade.

Os primeiros registros confirmados do aproveitamento da força do vento em máquinas motoras remontam ao século X, na Pérsia, região de Sistão, hoje sudeste do Irã^[110]. Máquinas de eixo vertical eram usadas para a moagem de grãos, utilizando a força de arrasto para mover velas, parcialmente protegidas por paredes. Evidências indicam que essa tecnologia foi desenvolvida paralelamente na China, no início do século XIII.

Na Europa Ocidental, durante a Idade Média, a tecnologia que se desenvolveu foi a de moinhos de eixo horizontal, mais complexos e eficientes^[110], propulsionados pela força de sustentação, mais eficaz que a de arrasto para a produção de

trabalho. Os primeiros moinhos de eixo horizontal foram os pivotados (*post mills*), montados sobre postes ou tripés, e já permitiam o alinhamento com o vento predominante.

Avanços posteriores ocorreram entre os séculos XIII e XIX, especialmente na Inglaterra e nos Países Baixos, com melhorias nos sistemas mecânicos e de controle, e 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. As pás também evoluíram 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 criados mecanismos de controle automático, como, por exemplo, o *fantail* (patente de Edmund Lee, 1745) para girar a máquina em direção ao vento, mecanismos para frenagem aerodinâmica e outras automatizações que foram se agregando à funcionalidade das máquinas.



Entre meados e final do século XIX, nos Estados Unidos, foram projetados moinhos de múltiplas pás para o bombeamento de água. Essas foram invenções de importância histórica para o povoamento do oeste americano, pois facilitaram o acesso à água e a fixação em extensas áreas áridas ou semiáridas.

Ainda no final do século XIX, essas máquinas eólicas começaram a ser empregadas para a produção de energia elétrica. A primeira com essa função, uma turbina com 12 kW, foi criada em Cleveland, nos Estados Unidos, por Charles F. Brush. Quase simultaneamente, na cidade de Askov, Dinamarca, o cientista e inventor Poul la Cour adaptava moinhos de 4 pás para geração de corrente contínua^[110].

Pequenos aerogeradores para carregamento de baterias passaram a ser amplamente utilizados no interior dos Estados Unidos, a partir da década de 1930 e pelos subsequentes 30 anos, caindo em desuso somente com a chegada das redes elétricas nas áreas rurais.

A geração eolioelétrica em grande escala, conectada ao

sistema elétrico e com o emprego de turbinas de grande porte, iniciou-se durante as décadas de 1940-1950, também nos Estados Unidos e Dinamarca. Um precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha, com Ulrich Hütter em 1955^[57]: uma turbina com pás já fabricadas de materiais compostos, com controle de passo e torre tubular esbelta.

Em 1970, a primeira crise de preços do petróleo motivou a pesquisa para geração eólica em vários países, incluindo o Brasil. Em São José dos Campos, SP, desenvolvia-se, conjuntamente pelos Centro Técnico Aeroespacial do Brasil – CTA e *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt* – DLR, a turbina DEBRA 100 kW (Deutsche-Brasileira), posteriormente transferida à indústria e comercializada na Alemanha com o nome Adler 25.

Na década de 1980, houve nova onda de esforços governamentais para incentivar o mercado, o que levou, progressivamente, à redução do custo do quilowatt instalado, à produção em escala industrial e ao aperfeiçoamento da tecnologia, com o aumento da capacidade unitária dos aerogeradores.

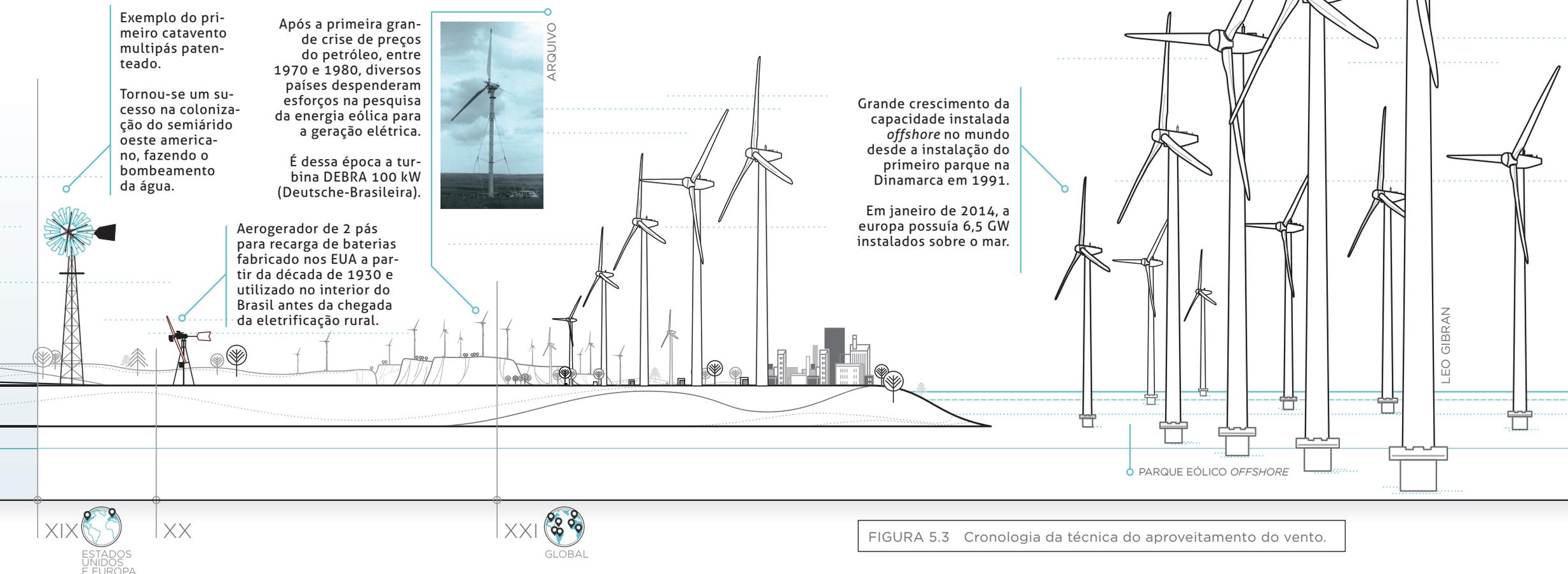


FIGURA 5.3 Cronologia da técnica do aproveitamento do vento.

5 · Energia Eólica e Tecnologia

FIGURA 5.4 Evolução da Capacidade Instalada Brasileira.

FONTES: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL^[43]

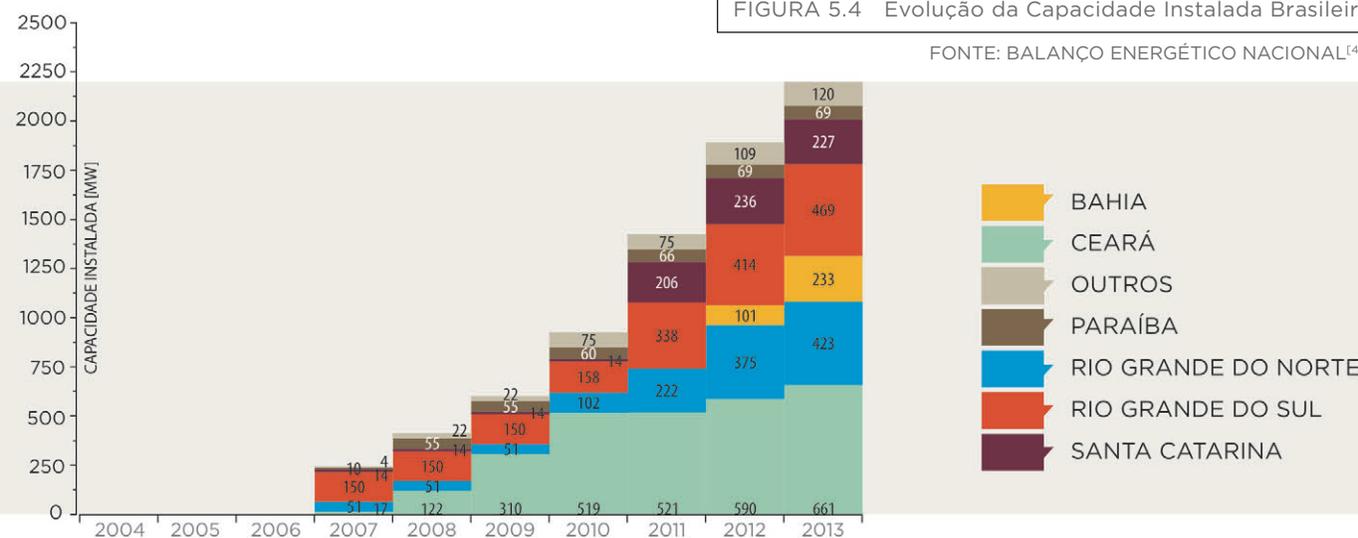
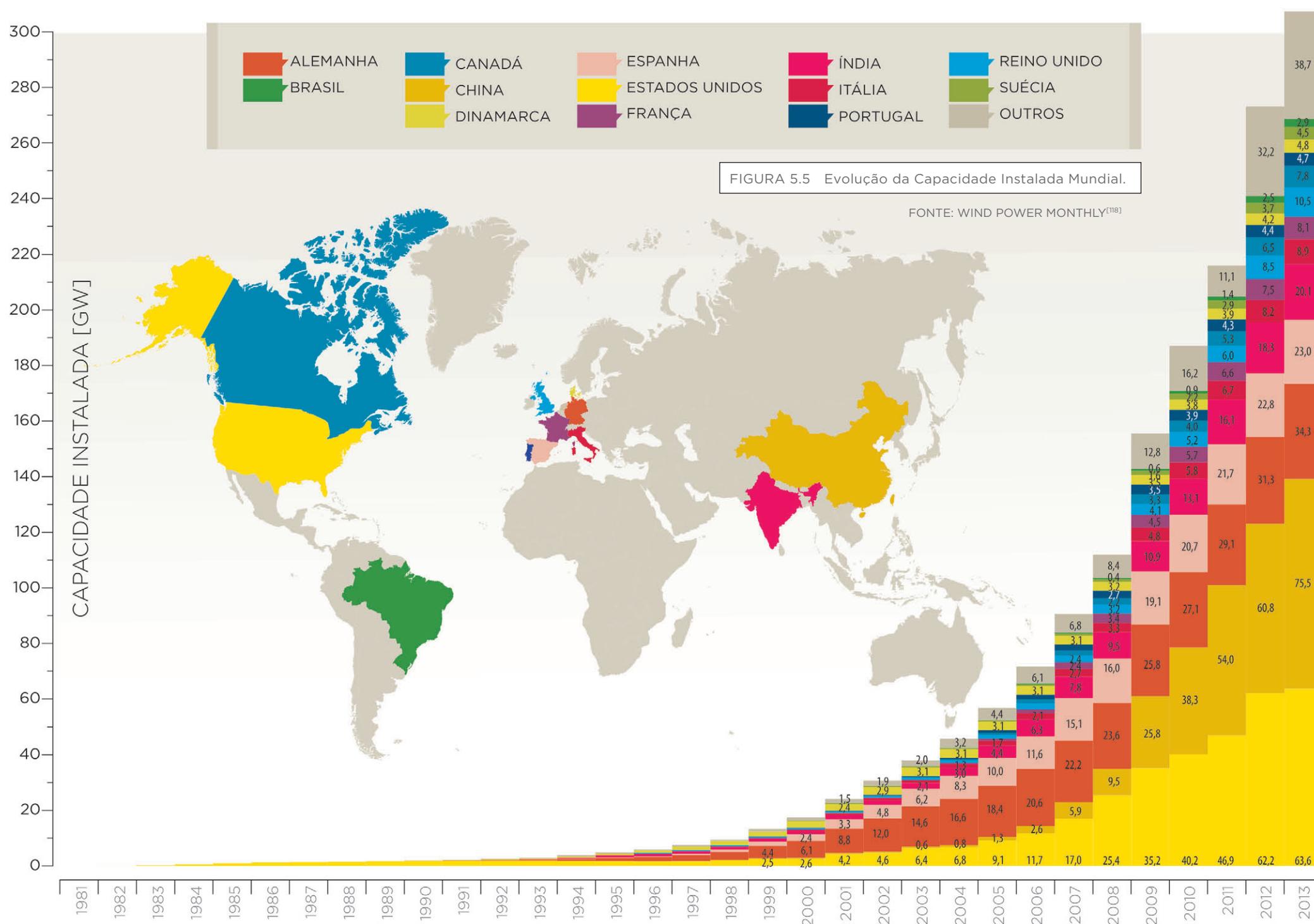


FIGURA 5.5 Evolução da Capacidade Instalada Mundial.

FONTES: WIND POWER MONTHLY^[118]



Na primeira década do século XXI e no início da segunda, a energia eólica consolida-se na matriz energética de inúmeros países, com o crescimento exponencial da capacidade instalada nos cinco continentes. Igualmente nessa época, a geração eolielétrica na modalidade *offshore* gradativamente ganha espaço no mercado, facilitada pelo contínuo aperfeiçoamento tecnológico e impulsionada pelo esgotamento das áreas para implantação de parques em solo firme, especialmente na Europa, onde a capacidade instalada sobre o mar atingiu 6,5 GW no início de 2014^[102].

5.1.1 BRASIL: PROINFA E O SISTEMA DE LEILÕES

O primeiro grande impulso à geração eólica em larga escala no Brasil foi dado pelo Programa de Incentivo a Fontes Alternativas – PROINFA, aprovado pelo Congresso Nacional em 2002^[21] e operacionalizado a partir de 2003 e 2004^[17], com o objetivo de aumentar a participação no sistema de energia produzida por empreendimentos da fonte eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas^[81]. O programa resultou na contratação de 1.422,9 MW de energia eólica, 1.191,24 MW de Pequenas Centrais Hidrelétricas e 685,24 MW de Termelétricas à biomassa.

O segundo impulso ocorreu no ano de 2009, quando o Segundo Leilão de Energia de Reserva – LER, promovido pelo Ministério de Minas e Energia – MME, foi aberto exclusivamente à participação da fonte eólica, resultando em uma contratação de 1.805 MW em todo o país^[44]. Nos anos subsequentes, o MME continuou a promover diversos leilões abertos à participação da fonte, com relativa constância, obtendo bons resultados: entre 2009 e junho/2014 foram contratados 12,3 GW pelo sistema de leilões, dos quais 1,8 GW destinaram-se ao Rio Grande do Sul.

Este grande fomento à fonte eólica resultou no aumento da competitividade do mercado e na progressiva redução dos custos no Brasil. A redução dos custos é associada ao aumento do parque industrial nacional para fabricação de aerogeradores, à acomodação da cadeia de fornecimento ao ambiente competitivo dos leilões e a eventos ligados à dinâmica da economia global, que favoreceu os preços de importação desses equipamentos especialmente durante os primeiros anos de leilões.

O ambiente extremamente competitivo dos leilões no Brasil propicia a busca pela melhor tarifa da energia em detrimento da otimização do uso da terra, isto é, da relação entre a produção de energia e a área do terreno. Em países onde o preço da terra e da infraestrutura é maior, ou a disponibilidade de áreas é menor, como Alemanha e Holanda, a iniciativa do governo é direcionada

para maximizar a produção. No Brasil, por outro lado, a infraestrutura, como a construção dos acessos e a terra, representam parcelas menores na composição do investimento. A busca pela eficiência financeira nessas condições resulta, normalmente, em uma quantidade menor de megawatts instalados por área.

5.1.2 EÓLICA NO RIO GRANDE DO SUL

No Rio Grande do Sul, a energia eólica teve início por meio de iniciativas isoladas, notadamente na academia, onde foram desenvolvidos diversos estudos e pesquisas. Destaca-se, entre essas iniciativas, a do professor Debi Pada Sadhu, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, pioneiro à época, que produziu estudos, dissertações e teses na década de 1980. A partir de 1995, a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, sob a liderança do professor Jorge Villar Alé, também fez estudos, pesquisas e dissertações sobre o tema, resultando, inclusive, na implantação de um laboratório especializado em energia eólica na década de 2000.

A partir de 1999, o setor eólico ganhou grande impulso no Estado, oriundo da Secretaria de Energia, Minas e Comunicações, na gestão da então Secretária Dilma Rousseff. Com a denominação de Programa Ventos do Sul, foi instituída uma política de Estado para estímulo e viabilização dessa fonte de energia, compreendendo as seguintes iniciativas:

- realização do Primeiro Seminário Internacional de Energia Eólica no Rio Grande do Sul, em 1999;
- estruturação de uma campanha de medições de ventos, incluindo ao todo 52 estações em várias regiões do Estado, viabilizada por meio de protocolos de intenções acordados com empresas interessadas;
- elaboração do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, em 2002, que se tornou referência no setor e serviu de ferramenta importante no desenvolvimento e planejamento dessa fonte de energia;
- desenvolvimento de projetos de parques eólicos, subsidiados com as medições de vento, alcançando capacidade superior aos 1.000 MW.

Em 2006, dentro do contexto do PROINFA, foi implantado o Parque Eólico de Osório, de 150 MW, o primeiro do Rio Grande do Sul, que permaneceria na posição do maior da América Latina durante vários dos anos subsequentes.

No âmbito da política energética do Brasil, que adotou o sistema de leilões, o Rio Grande do Sul se destacou como

vencedor já no LER de 2009, com os parques do Complexo Eólico Cerro Chato, com 90 MW, em Sant’Ana do Livramento, e outros cinco parques eólicos em Osório e Palmares do Sul, com 96 MW, dando início a uma nova era. Desde então, 1.798,9 MW foram contratados para essa fonte de energia no Estado, correspondendo a 14,6% do total contratado no Brasil.

Além dos parques comercializados em leilões, distingue-se o parque eólico Xangri-lá (FIGURA 5.18), com 27,7 MW, no litoral norte. É o maior parque eólico brasileiro destinado à autoprodução de energia e o primeiro do Rio Grande do Sul. De acordo com o cenário atual, o Rio Grande do Sul possui 880 MW em parques eólicos em operação, além de outros 1.151,4 MW que devem entrar em operação até maio de 2018, correspondendo a investimentos de R\$ 8,5 bilhões e deixando perspectivas bastante promissoras para o setor.

As fotografias das FIGURAS 5.6 a 5.10, a seguir, ilustram parques eólicos instalados no Rio Grande do Sul e viabilizados por meio do PROINFA e do sistema de leilões.

Entre as iniciativas mais recentes tomadas para alavancar o setor eólico no Rio Grande do Sul destacam-se:

- inclusão da energia eólica como um dos setores estratégicos na Política Industrial do Estado, em março de 2012;
- instituição do Programa Gaúcho de Estruturação, Investimento e Pesquisa em Energia Eólica – RS Eólica, sancionado por lei estadual em junho de 2012;
- promoção do seminário “Panorama da Energia Eólica para o Rio Grande do Sul”, em junho de 2012^{[98], [101]};
- implantação do Sistema de Transmissão Sul Litorâneo, projetado para o escoamento do grande potencial eólico do Extremo Sul do Estado, onde grandes parques eólicos já estão em implantação, constituindo um investimento de cerca de R\$ 800 milhões.

Busca-se, com tais iniciativas, consolidar o Rio Grande do Sul como polo de desenvolvimento da energia eólica, não somente a partir do seu potencial natural para instalação de empreendimentos de geração, mas também com atrativos para o estabelecimento de empresas fabricantes de máquinas e equipamentos da cadeia produtiva, e de prestadores de serviços especializados (engenharia, logística, montagem e manutenção). O Governo Estadual tem tomado medidas que devem abrir oportunidades para a geração de empregos qualificados e para o adensamento de conteúdo tecnológico da economia estadual.

5 · Energia Eólica e Tecnologia

FIGURA 5.6 Parque Eólico Cidreira I, em Tramandaí.



ZIG KOCH

FIGURA 5.7 Parque Eólico Geribatu (Complexo Eólico Campos Neutrais).



VANDERLEI TACCHIO

FIGURA 5.8 Complexo Eólico de Osório.



FIGURA 5.9 Complexo Eólico Cerro Chato.



FIGURA 5.10 Parques Eólicos em Cassino.



FOTOS ZIG KOCH

5.2 TECNOLOGIA

Um aerogerador de grande porte comercializado nos dias atuais é constituído, basicamente, por um rotor de três pás esbeltas conectadas por um eixo a um sistema de geração alojado em uma nacela (FIGURA 5.11). A nacela se conecta à torre de sustentação por meio de um sistema de controle de azimute (*yaw*) que permite o alinhamento do eixo do rotor com a direção do vento predominante. A torre é sustentada pela fundação, a única obra civil propriamente envolvida na montagem de um aerogerador. Suas dimensões variam em função da geologia, das dimensões e características dos aerogeradores e das condições locais de vento.

Os rotores das turbinas eólicas são fabricados de materiais compostos, com tecnologia e requisitos de peso, rigidez e aerodinâmica típicos de estruturas aeronáuticas. Incrementos nos diâmetros das turbinas implicam em aumentos generalizados no peso das máquinas. Uma estimativa da massa de cada pá em função de seu comprimento pode ser dada por^[47]:

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

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 alargamento dos rotores, 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.

Observa-se a tendência ao crescimento das dimensões e capacidades das turbinas, bem como ao aumento da razão entre área do rotor e potência. Essa é verificada em especial no Brasil, onde, conforme descrito no Item 5.1.1, o competitivo sistema de leilões prioriza a eficiência das máquinas, que está associada a essa razão. Na FIGURA 5.12 são ilustradas as dimensões de turbinas disponíveis atualmente no mercado mundial, comparando-as com as de um avião de passageiros Airbus A380 e com a dimensão da chaminé do Gasômetro em Porto Alegre. Uma fotografia aérea do porto de Rio Grande é mostrada na FIGURA 5.13. No pátio do porto, é possível visualizar as dimensões das pás de uma turbina eólica e as comparar com a dimensão do navio cargueiro e docas. A pá tem comprimento de 59 metros, equivalente a aproximadamente 1/3 do comprimento do navio.

A construção de um parque eólico envolve escala industrial em quase todas as principais etapas, o que justifica, parcialmente, o rápido crescimento do mercado mundial de geração dessa energia. Outro aspecto que favorece a expansão do mercado é a constante evolução tecnológica, sempre levando à maior eficiência e a menores custos.

A seqüência de fotos da FIGURA 5.14 ilustra as etapas ci-

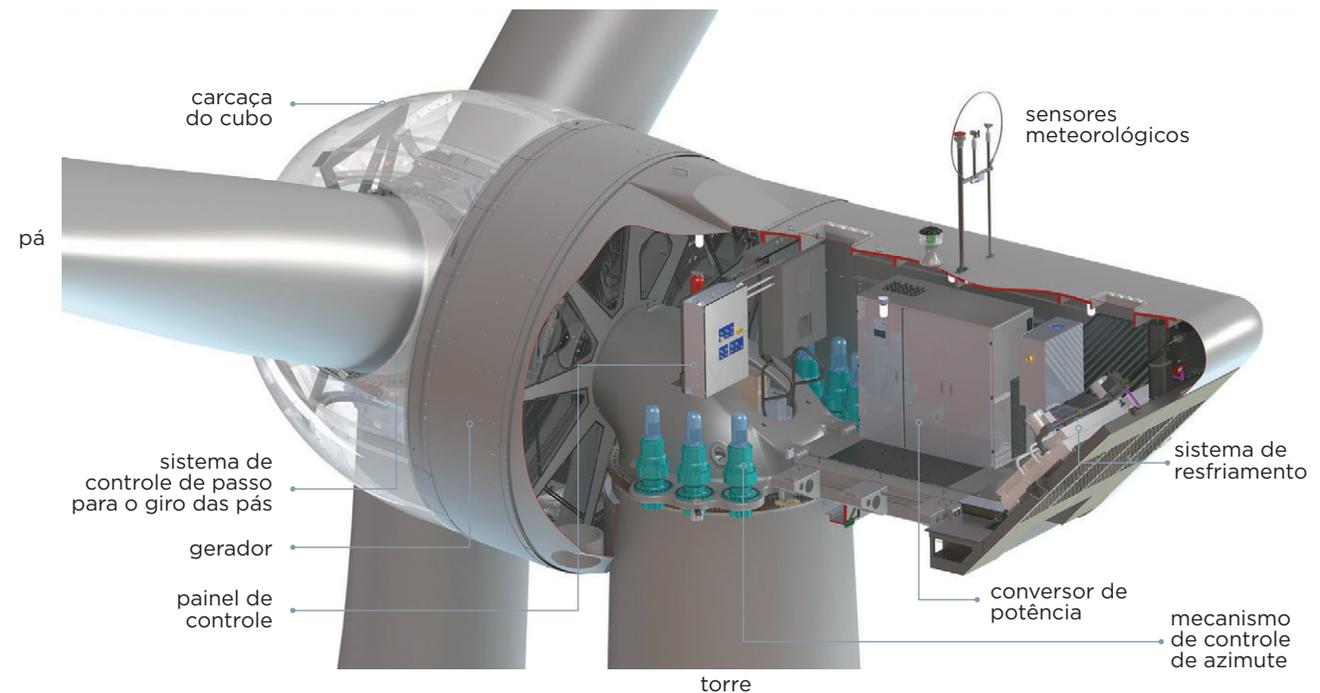


FIGURA 5.11 Nacela de aerogerador de 2,1 MW atualmente comercializado no Brasil.

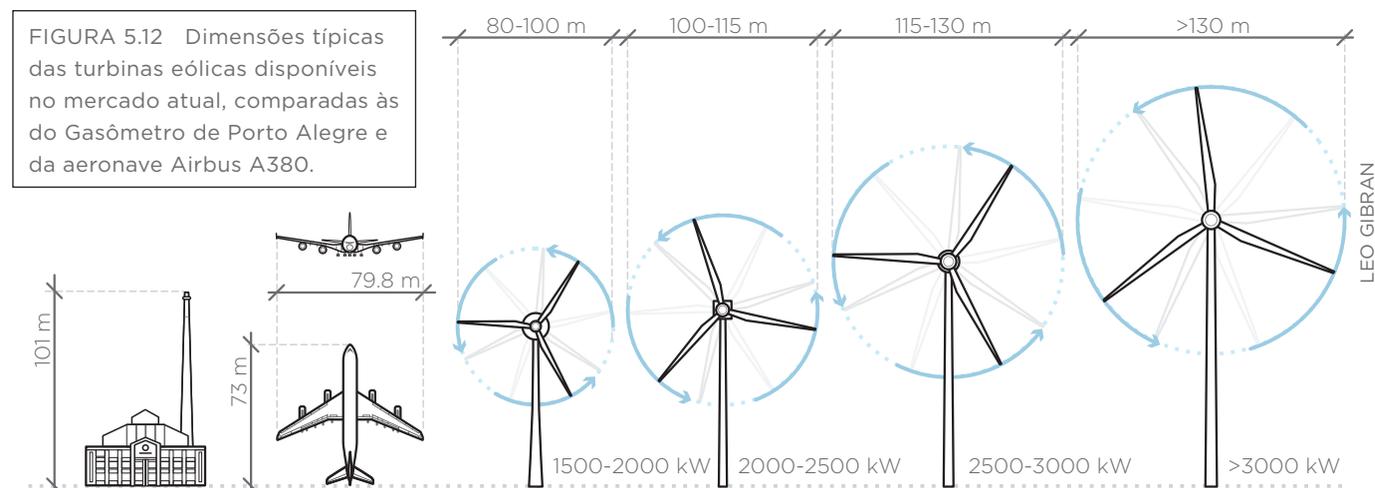


FIGURA 5.12 Dimensões típicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado atual, comparadas às do Gasômetro de Porto Alegre e da aeronave Airbus A380.

vis de montagem de aerogeradores em campo. A seqüência foi obtida a partir da campanha de documentação fotográfica, que testemunhou vários parques eólicos em construção do Rio Grande do Sul em abril de 2014, com obras em diversos estágios, tornando possível esta montagem.

FIGURA 5.13 Porto de Rio Grande, exemplo de transporte marítimo e dimensão das pás.



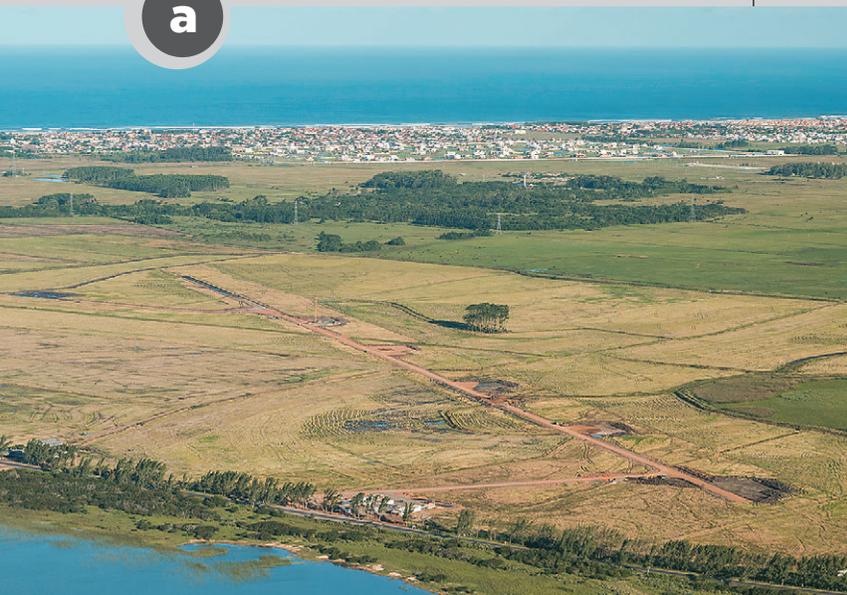
5 • Energia Eólica e Tecnologia

ETAPAS DE MONTAGEM DE AEROGERADOR EM CAMPO

FIGURA 5.14 •

a

Preparação dos acessos.



b

Escavação da fundação.



c

Preparação das ferragens da fundação.



d

Fundação concluída e transporte de nacele ao pátio de montagem.



e

Armazenamento dos componentes no pátio de montagem.



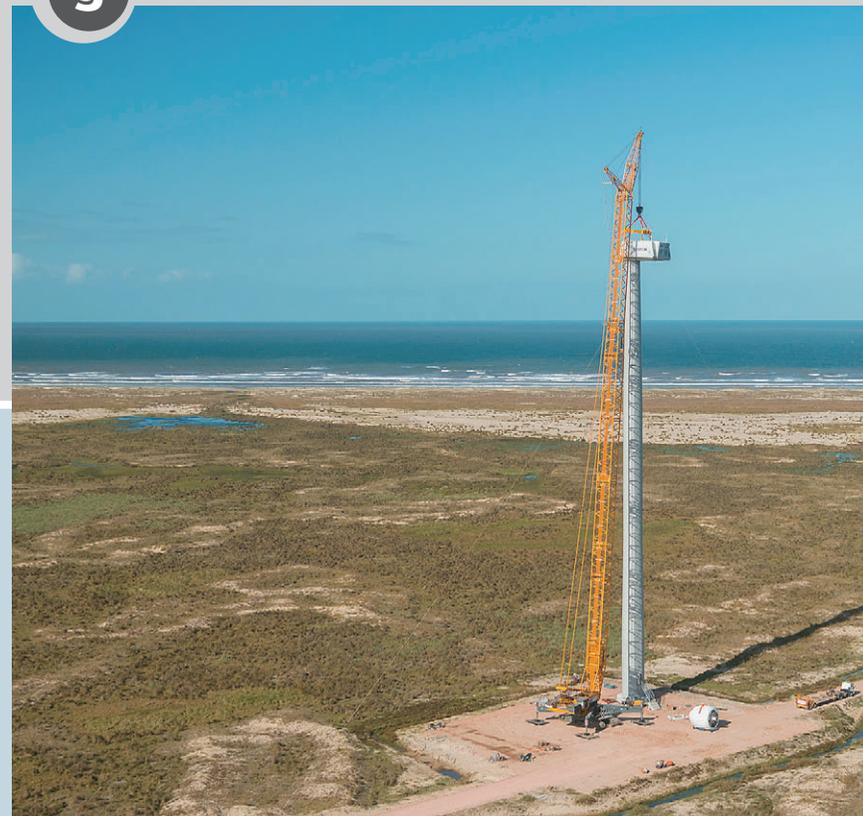
f

Torre parcialmente montada.



g

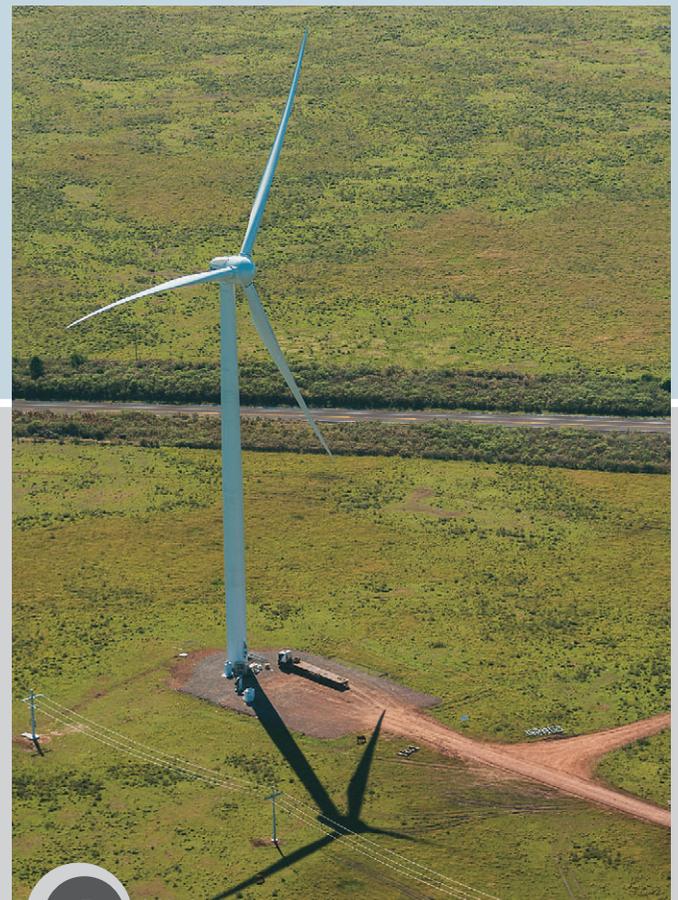
Montagem da nacele.





FOTOS ZIG KOCH

h Preparação para içamento do rotor.



j Aerogerador montado.



VANDERLEI TACCHIO

i



ARQUIVO ELETROSUL

⌘ içamento do conjunto de pás e cubo, o qual foi montado previamente em solo.

« Método alternativo de montagem, com içamento individual das pás.



k Manutenção na pá.



5 · Energia Eólica e Tecnologia

5.2.1 EFEITO ESTEIRA E POSICIONAMENTO DE TURBINAS

O rotor de uma turbina eólica absorve parte da energia cinética do vento, reduzindo a velocidade imediatamente a sotavento do disco formado pelo rotor em movimento. Essa velocidade recupera-se gradualmente, ao se misturar com as massas de ar do escoamento livre. Das forças de sustentação aerodinâmica nas pás do rotor resulta uma esteira helicoidal de vórtices (FIGURA 5.15) que também se dissipa. O Apêndice C apresenta informações e fórmulas sobre o cálculo do decaimento da esteira aerodinâmica de rotores.

A forma da esteira está associada à geometria e rugosidade do terreno, à velocidade, direção e turbulência do vento e às variáveis físicas do ar. Em um parque eólico com grande número de aerogeradores, a combinação de múltiplas esteiras aerodinâmicas depende da geometria de posicionamento das turbinas e da direção do vento. O estudo do posicionamento das turbinas de um parque eólico para a melhoria da eficiência pela minimização das perdas aerodinâmicas torna-se, portanto, um problema de otimização bem complexo. Uma das premissas básicas adotadas para melhorar o desempenho de um conjunto de aerogeradores é o afastamento mínimo entre as turbinas, conforme mostra a FIGURA 5.15. Em algumas regiões do Rio Grande do Sul, há predominância de mais de uma direção de vento, casos em que essas distâncias devem ser incrementadas. O processo de otimização envolve ainda outras variáveis, como a maximização do aproveitamento do terreno e da infraestrutura, e a compatibilização do projeto com as disponibilidades fundiárias na área de implementação do parque.

Desde 2010, a ANEEL regulamenta, por meio da Resolução Normativa – RN 391/2009 e suas alterações, os projetos de novos parques eólicos na vizinhança de parques já existentes, para evitar que os novos empreendimentos prejudiquem a geração de energia dos mais antigos. Pela regra da RN-391, estão sujeitos à regulamentação todos os novos aerogeradores que se situarem a uma distância de 20 vezes a altura máxima da sua própria pá ($20 \times H$), a barlavento de qualquer aerogerador já cadastrado no sistema de outorgas da ANEEL^[3].

FIGURA 5.15 Esteira aerodinâmica do rotor e distanciamento entre turbinas eólicas.

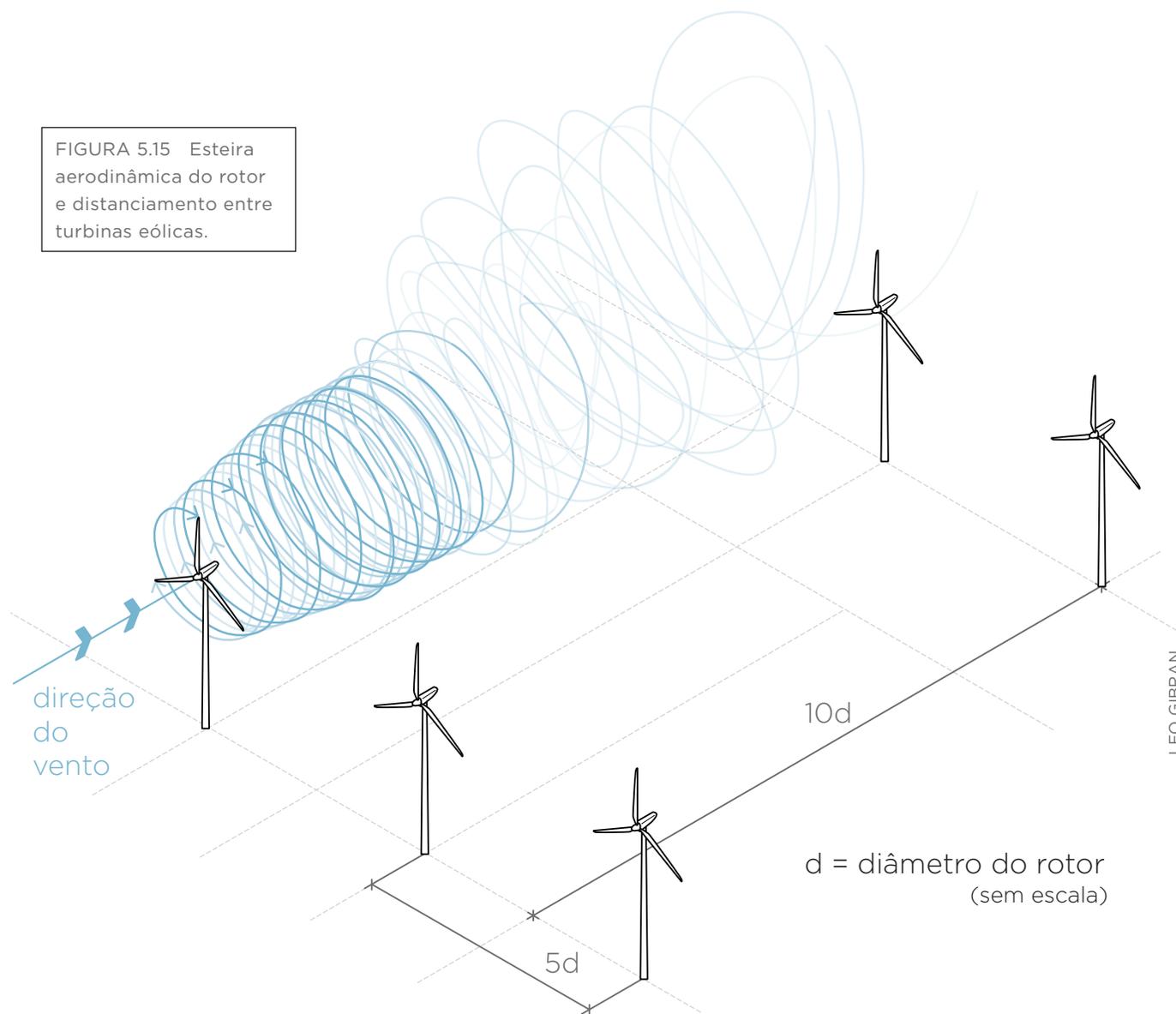


FIGURA 5.16 Complexo Eólico Cerro Chato, em Sant'Ana do Livramento.



5.2.2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A natureza intermitente do vento faz com que a potência elétrica gerada em uma fazenda eólica não seja constante. As variações de potência elétrica injetada no sistema de transmissão podem trazer dificuldades aos controles de tensão e frequência, interferindo significativamente na operação de um sistema interligado^[37]. No caso do Rio Grande do Sul, para garantir a robustez necessária ao sistema de transmissão que irá escoar a energia do Complexo Eólico Campos Neutrais, em implantação no extremo sul gaúcho, estão sendo instalados na Subestação Marmeleiro, em Santa Vitória do Palmar, dois compensadores síncronos rotativos de grande porte. Os compensadores síncronos rotativos são usados em grandes sistemas elétricos de geração e transmissão de energia para o controle mais efetivo da tensão na rede. No caso dos empreendimentos do Extremo Sul gaúcho, os equipamentos são indispensáveis para manter os níveis de tensão do sistema sob controle, e ainda elevar a potência de curto-circuito para permitir a geração eólica. A montagem dos compensadores síncronos foi um projeto inédito da fabricante WEG, de Jaraguá do Sul, SC, considerando as dimensões e potência das máquinas. Novidade no sistema elétrico brasileiro, o equipamento tem 11 metros de comprimento, 7 metros de altura, 110 mega-volt-ampères reativos de capacidade (MVar) e pesa 310 toneladas (FIGURA 5.17).

Na região da Campanha Gaúcha, a nova subestação Livramento 3, a ser construída em Sant'Ana do Livramento para conexão dos parques eólicos, também adotará a tecnologia de controle de tensão por meio de compensadores síncronos dinâmicos ou rotativos^[42].



WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. - ENERGIA

FIGURA 5.17 Compensador síncrono de grande porte para controle de tensão de rede, para instalação em Santa Vitória do Palmar, RS.



HONDA ENERGY

FIGURA 5.18 Parque Eólico Xangri-lá.

6 - Metodologia



ZIG KOCH

FIGURA 6.1 Torre anemométrica com 100 m de altura em São José do Norte.

O Mapeamento do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul foi realizado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap*^[23], balizado por medições anemométricas registradas em 70 torres pertencentes a empreendedores com projetos em desenvolvimento ou em construção no território estadual, que autorizaram o uso dos dados para este trabalho. As simulações de mesoescala foram executadas primeiramente na resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e posteriormente na resolução de 200 m x 200 m. Na simulação em resolução mais fina, utilizou-se o modelo de relevo da base topográfica *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*^[35] e os modelos de rugosidade elaborados a partir de imagens multitemporais derivadas do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS*,

com base em uma metodologia que considera a variação fenológica da vegetação^[27].

A metodologia adotada representa um grande salto tecnológico em relação a quaisquer outros estudos já publicados previamente a respeito do potencial eólico do Rio Grande do Sul. A resolução final de mapeamento (200 m x 200 m) significa um nível de detalhamento 25 vezes superior ao apresentado nos Atlas Eólico Brasileiro^[6] e primeira versão do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul^[7], que era, em ambos os casos, de 1 km x 1 km. As metodologias de modelamento do terreno empregadas no presente trabalho evoluíram em relação ao atlas anterior. Além disso, o conjunto de dados anemométricos

que fundamentou a validação é consideravelmente maior, compreendendo número superior de torres e contemplando anemômetros em alturas mais elevadas, compatíveis com as alturas de rotor dos aerogeradores comercializados no Brasil. Da mesma forma, o período individual de medição das campanhas anemométricas foi, em média, mais longo, tendo algumas torres alcançado um histórico de duração que ultrapassou 6 anos.

A TABELA 6.1 resume o processo de evolução da metodologia, sob os vários aspectos. A evolução metodológica também refletiu nos resultados, conforme será visto no Capítulo 8.

TABELA 6.1 Comparação entre metodologias utilizadas para os mapeamentos realizados em 2002 e 2014.

ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL

descrição	2002	2014	
campanha anemométrica	altura média das torres	40 m a 50 m	80 m a 120 m
	quantidade de torres	21	70
	período das campanhas de medição	entre 1 e 2 anos	entre 1 e 6 anos
	climatologia	validação das medições próximas à planície litorânea, com dados climatológicos observacionais SSMI ^[86] de um período de 15 anos e dados de aeroportos	validação de todas as estações com dados de reanálises MERRA de um período de 20 anos
metodologia de modelamento	base para modelo digital de relevo	GTOPO30, 1 km x 1 km e Globe DEM, 1 km x 1 km	SRTM 4.1, 90 m x 90 m
	base para modelo de rugosidade	imagens LandSat 5	imagens multitemporais MODIS
	modelo de mesoescala	modelo de mesoescala <i>MesoMap</i> em duas resoluções: [1] 15 km x 15 km a leste do meridiano 55° O [2] 3,6 km x 3,6 km no restante do Estado	modelo de mesoescala <i>MesoMap</i> na resolução de 2,5 km x 2,5 km
	simulação de camada-limite final, em alta resolução	<i>software WindMap</i> , versão 2.2, na resolução final de 1 km x 1 km	<i>software WindMap</i> , versão CMD 2.1.0 (2012), na resolução final de 200 m x 200 m
método de integração dos mapas eólicos	taxa de ocupação	1,5 MW/km ²	taxa de ocupação de 2,6 MW/km ² , validada por projetos reais, tendo sido descontadas as áreas ocupadas por cidades, estradas, rios, Unidades de Conservação, áreas muito próximas a linhas de transmissão, áreas ao redor de edificações rurais e áreas de relevo complexo
	curvas de potência	representativas de aerogeradores em uso no início da década de 2000	representativas de aerogeradores comercializados para projetos no Brasil em meados da década de 2010

6 • Metodologia

6.1 O SISTEMA MESOMAP

O *MesoMap* é um conjunto integrado de modelos de simulação atmosférica, bases de dados meteorológicos e geográficos, redes de computadores e sistemas de armazenamento. O sistema foi desenvolvido nos Estados Unidos pela *Truwind Solutions* (hoje, *AWS Truepower LLC*) com suporte do *New York State Energy Research and Development Authority* – NYSERDA e do *US Department of Energy* – DoE. O *MesoMap* foi utilizado para o projeto inicial de mapeamento eólico do Estado de Nova York, e posteriormente para projetos similares na Europa, Ásia, Américas do Norte, Central e Sul, incluindo o projeto do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro^[6].

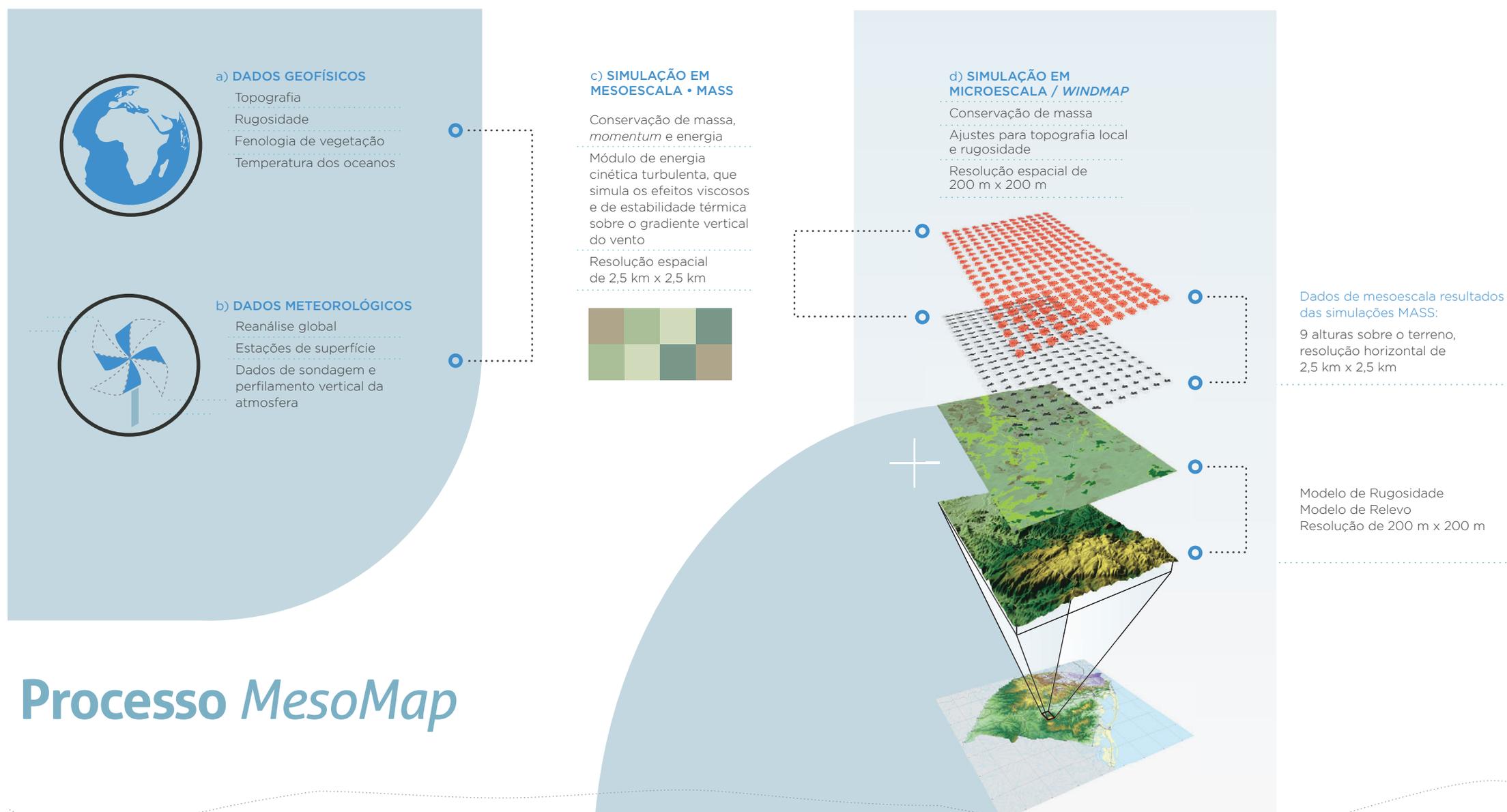
Atualmente, é o mais avançado, testado e validado sistema de mapeamento em uso, possuindo diversas vantagens sobre

métodos tradicionais de avaliação de recursos eólicos. Primeiramente, porque obtém representatividade para grandes áreas continentais sem a necessidade inicial de dados anemométricos de superfície efetivamente medidos. Em segundo lugar, porque modela importantes fenômenos meteorológicos não considerados em modelos mais simplificados de escoamento de ventos, como o *WASP/Jackson-Hunt*^[82] e o *WindMap/NOABL*^[94]. Tais fenômenos consistem em ondas orográficas, ventos convectivos, brisas marinhas e lacustres e ventos térmicos descendentes de montanhas, entre outros.

As etapas do processo *MesoMap* são ilustradas sucintamente na FIGURA 6.2. O processo é descrito em maiores detalhes no Apêndice A.

A etapa do *MesoMap* que diz respeito propriamente às simulações de mesoescala, denominada *Mesoscale Atmospheric*

Simulation System – MASS no caso do mapeamento do eólico do Rio Grande do Sul, foi realizada nas instalações da *AWS Truepower*, nos Estados Unidos. Os ajustes no modelo de mesoescala e o mapeamento na resolução final, utilizando o módulo *WindMap*, foram realizados pela Camargo-Schubert, em Curitiba. As simulações MASS, em resolução de 2,5 km x 2,5 km, foram divididas em 5 grandes áreas para permitir o processamento em paralelo e a otimização do tempo computacional. As simulações *WindMap*, na resolução final de 200 m x 200 m, foram subdivididas, por sua vez, em 36 subáreas. Considerando todas as subdivisões, foram necessárias cerca de 600 horas de processamento para as simulações finais *WindMap*.



Processo MesoMap

FIGURA 6.2 Representação esquemática do processo *MesoMap*.

ADAPTADO DE: BROWER (2008)^[23]

6.1.1 AJUSTES DO MODELO DE MESOESCALA

Ao final do processo de mapeamento, as médias de longo prazo previstas pelo modelo *MesoMap* foram comparadas com os dados anemométricos medidos, validados e ajustados climatologicamente conforme metodologias descritas no Item 6.3. A comparação foi resumida em estatísticas de desvios médios e erros quadráticos médios, que foram espacializados e visualizados em mapas de erros. Dependendo dos resultados das análises, os mapas foram ajustados, aumentando a exatidão e representatividade dos resultados. Os ajustes realizados, com base em metodologias estatísticas, levaram em consideração, além dos desvios médios e quadráticos, as incertezas de medição, extrapolação vertical e climatológica de cada uma das torres, de modo a ponderar nas análises a qualidade das medições.

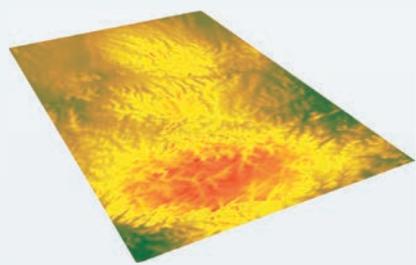
6.1.2 EFEITOS DE SUBESCALA

Os resultados de simulações numéricas estão limitados à resolução espacial e à precisão dos modelos de relevo e rugosidade. As representações de efeitos de subgrade e subescala não podem ser adequadamente resolvidas, o que pode gerar discrepâncias em relação ao valor observado ou esperado do escoamento do vento.

Embora o presente mapeamento apresente resultados com a resolução espacial de 200 m x 200 m, desvios em torno das médias podem ocorrer devidos às características locais de subescala, tais como a topografia complexa, obstáculos e variações bruscas na rugosidade. Como exemplo, observaram-se desvios nos parâmetros de direção do vento, nas linhas de ruptura do relevo, em locais como a divisa com o Uruguai na região da Coxilha de Santana, e a divisa com Santa Catarina na região de São José dos Ausentes.

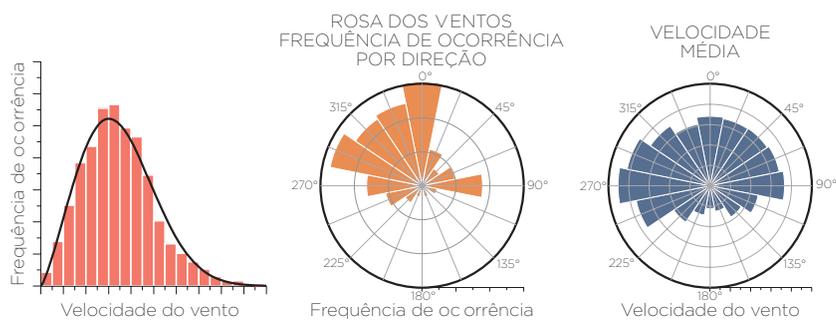
e) MAPAS EÓLICOS PRELIMINARES

resolução de 200 m x 200 m

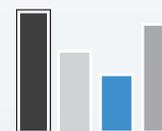


f) VALIDAÇÃO

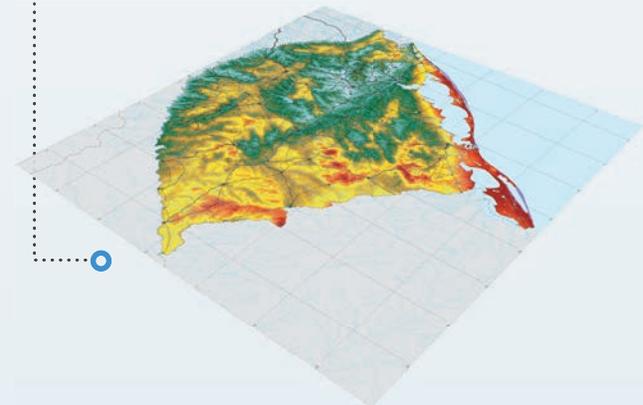
- Comparação com dados meteorológicos
- Ajustes
- Estimativa de erros



g) BASE DE DADOS



h) MAPAS EÓLICOS FINAIS



6 • Metodologia

6.2 MODELOS DE TERRENO

6.2.1 MODELO DIGITAL DE RELEVO

O modelo digital de relevo do Estado do Rio Grande do Sul foi elaborado a partir de dados coletados pela missão *Shuttle Radar Topography Mission*, obtidos por radar de abertura sintética nas bandas x e c. A missão foi executada em fevereiro de 2000 pela NASA, em cooperação com o departamento de defesa dos Estados Unidos e agências espaciais da Alemanha e Itália. O objetivo era o mapeamento da topografia da Terra utilizando a técnica de interferometria com um radar a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. Os dados coletados foram posteriormente processados, dando origem ao modelo digital de elevação de todo o planeta na resolução espacial de 90 m x 90 m.

Os dados do SRTM são disponibilizados por vários centros de pesquisa ao redor do mundo. Apresentando a melhor correção de falhas e consistência dos dados, neste trabalho utilizou-se a versão de processamento 4.1, disponibilizada pelo consórcio para informação espacial do *Consultative Group on International Agricultural Research*^[35] – CGIAR, instituição vinculada à Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – ONU-FAO, que realiza pesquisas agrícolas e mantém repositórios de dados espaciais.

O modelo SRTM é compatível com a escala de mapeamento regional desse estudo e, em geral, apresenta de forma satisfatória a identificação das principais formas do relevo, além de algumas características geomorfológicas.

A informação sobre a elevação foi de fundamental importância para diversas etapas deste trabalho:

- interpretação das imagens óticas dos sensores orbitais na elaboração do modelo de rugosidade, para inferência sobre as regiões de grande declividade;
- simulações de camada-limite atmosférica em microescala, muito sensíveis ao modelo de relevo;
- cálculo da densidade do ar, feito com base na altitude;
- integração do potencial eólico, da qual foram excluídas as áreas de elevada declividade;
- análises finais sobre as melhores áreas para instalação de empreendimentos.

O gráfico da FIGURA 6.3 ilustra um perfil transversal entre o litoral sul e a campanha gaúcha, permitindo a visualização dos principais elementos do relevo desta faixa do território

gaúcho que apresenta grande potencial eólico. O modelo de relevo do Estado do Rio Grande do Sul, baseado nos dados SRTM, é apresentado no MAPA 6.1.

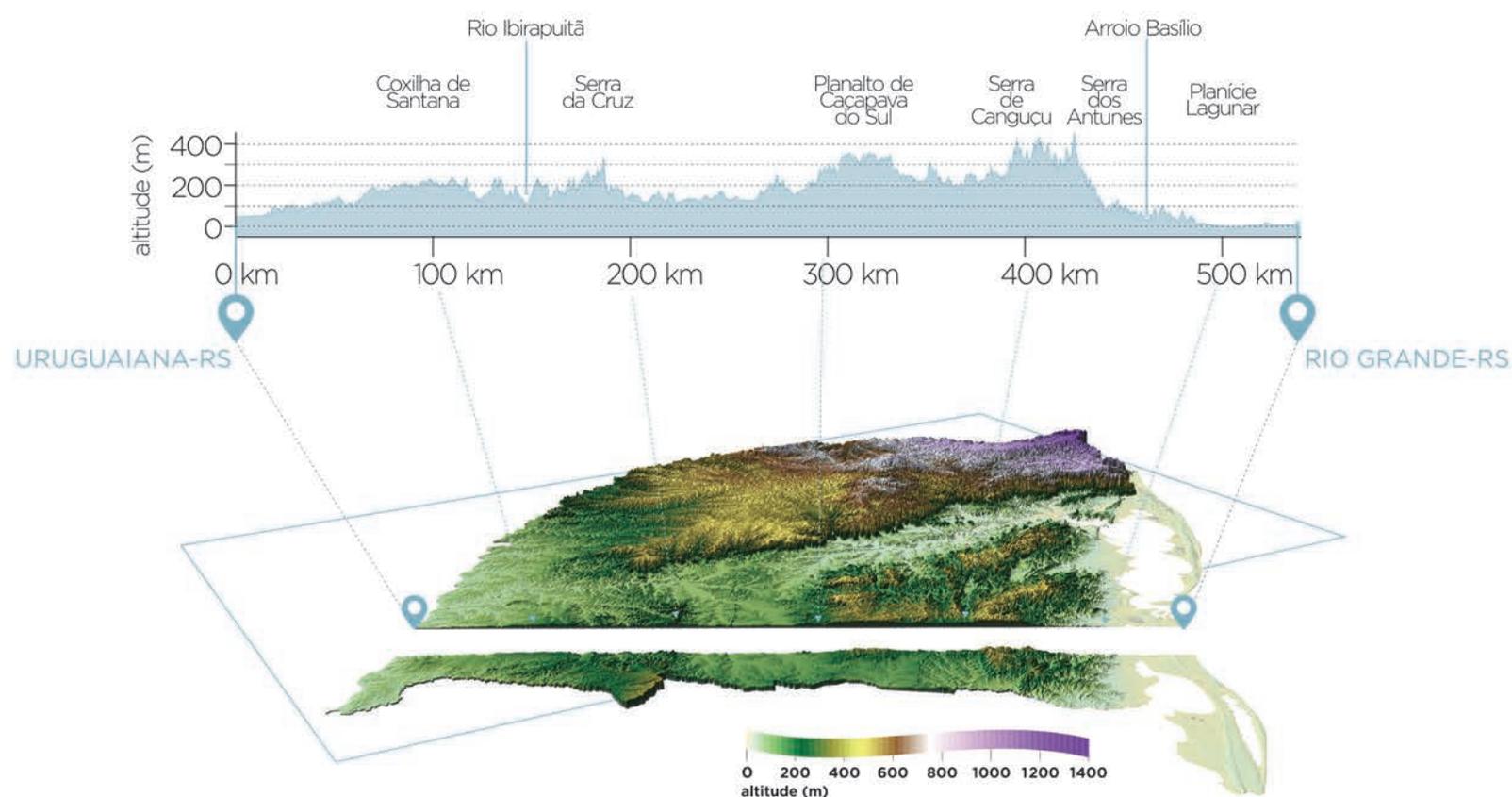
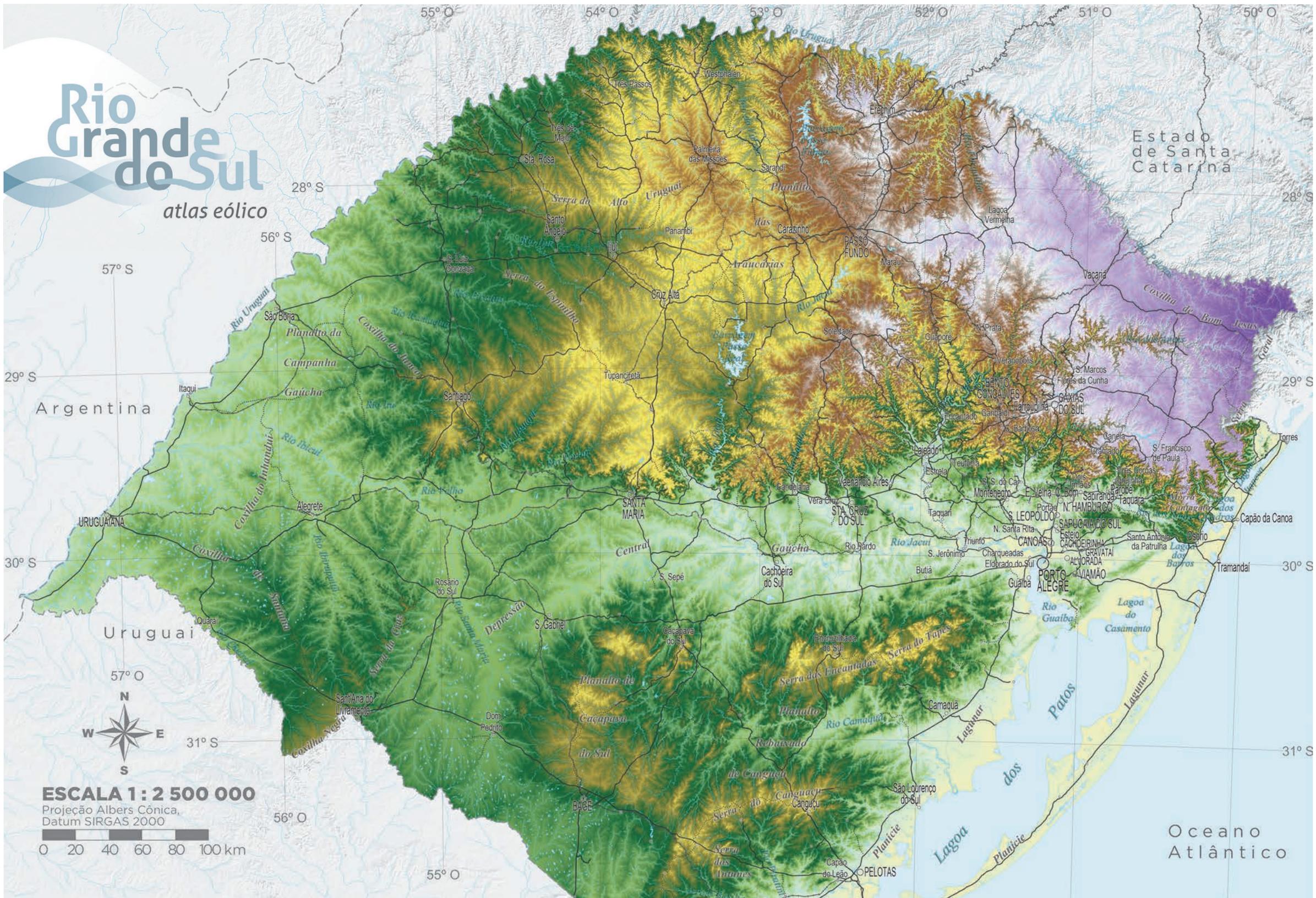
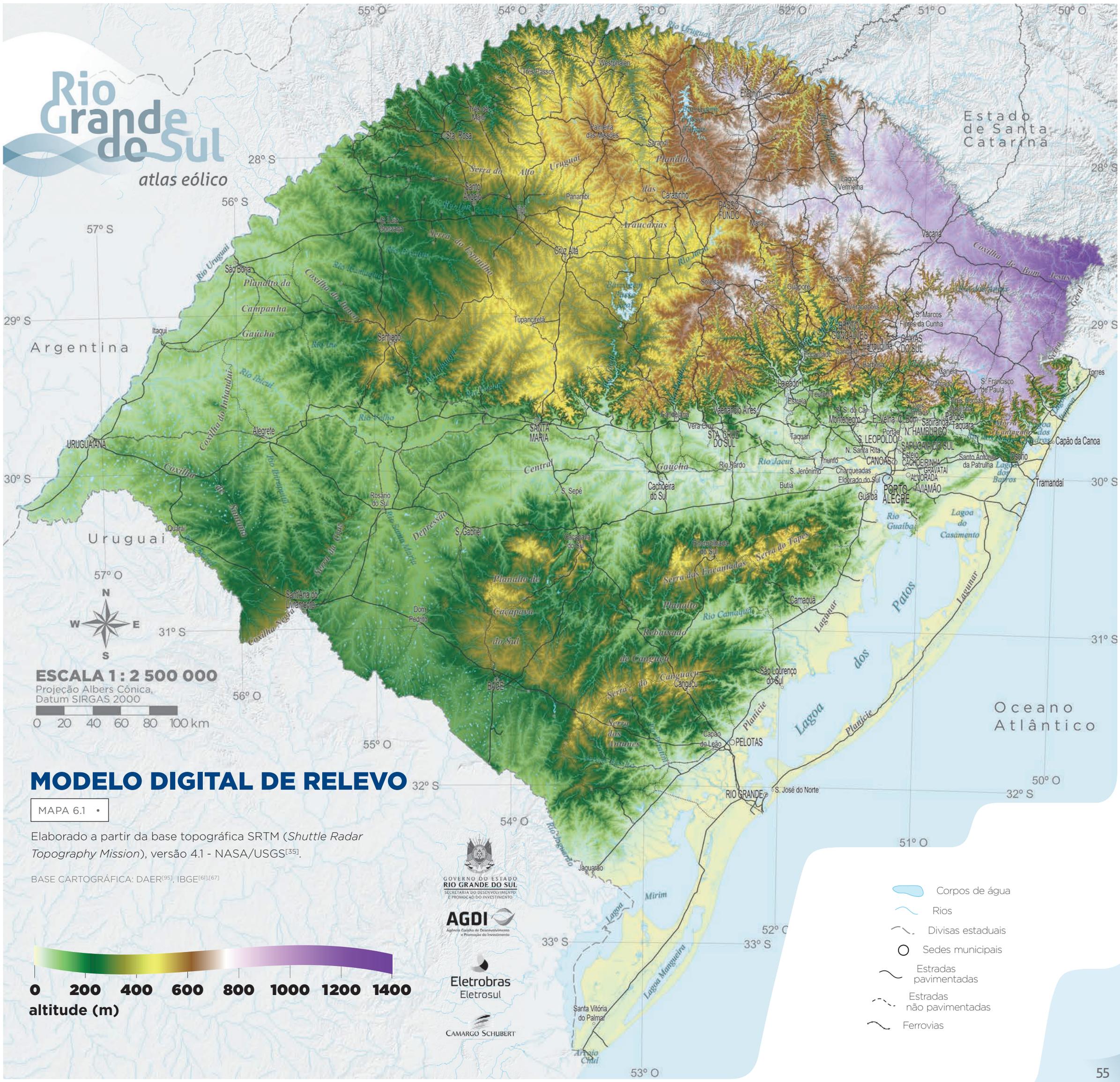


FIGURA 6.3 Perfil da elevação do Rio Grande do Sul, entre o litoral sul e a campanha gaúcha, extraído a partir do modelo digital de relevo SRTM.

Rio Grande do Sul

atlas eólico



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



MODELO DIGITAL DE RELEVO

MAPA 6.1

Elaborado a partir da base topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), versão 4.1 - NASA/USGS^[35].

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^{[61][67]}



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

6 • Metodologia

6.2.2 MODELO DE RUGOSIDADE

A rugosidade aerodinâmica, ou comprimento de rugosidade aerodinâmico z_0 , é a parametrização das características do uso e cobertura da terra na modelagem do vento próximo à superfície. A estimativa da rugosidade aerodinâmica ainda é um problema aberto na literatura especializada, na qual vários métodos para o cálculo da rugosidade estão disponíveis, em sua grande maioria na escala micrometeorológica^[78]. A estimativa correta dos valores de rugosidade aerodinâmica é importante nos projetos de engenharia eólica principalmente para modelagem do vento próximo à superfície. Além das aplicações em engenharia eólica, os métodos para o cálculo dos valores de z_0 são de interesse para estudos de química da baixa atmosfera,

como dispersão de poluentes, agrometeorologia ou qualquer outro segmento de micrometeorologia.

A parametrização do valor da rugosidade engloba um conjunto de condições de contorno e considerações termodinâmicas na atmosfera e na sua interação com a superfície. O valor z_0 representa a distância vertical sobre a superfície a partir da qual se pode considerar um perfil de velocidade. Como consequência, quanto maior a rugosidade, mais energia está sendo retirada do vento próximo à superfície, ou seja, a velocidade do vento ao longo do perfil vertical é função do tipo de cobertura da terra. Na FIGURA 6.4, ilustra-se a diferença entre o gradiente de velocidade sobre diferentes tipos de coberturas. Quando não há cobertura vegetal e a superfície é plana, a velo-

cidade torna-se assintótica a poucos metros acima do terreno. Quando há uma floresta, ou vegetação densa, o perfil de velocidade altera-se mais gradativamente.

A rugosidade do terreno é determinada pela altura, espaçamento e característica dos elementos distribuídos sobre a superfície do terreno. A TABELA 6.2 apresenta valores típicos de rugosidade associados a diversos tipos de cobertura e uso da terra. Na prática, em escalas regionais, a escolha da rugosidade aerodinâmica é realizada a partir da interpretação e classificação digital de imagens de sensor orbital (imagens de satélite) que representem o atual uso e cobertura da terra. As fotografias aéreas das FIGURAS 6.5 a 6.10 ilustram vários tipos de cobertura vegetal no Rio Grande do Sul.

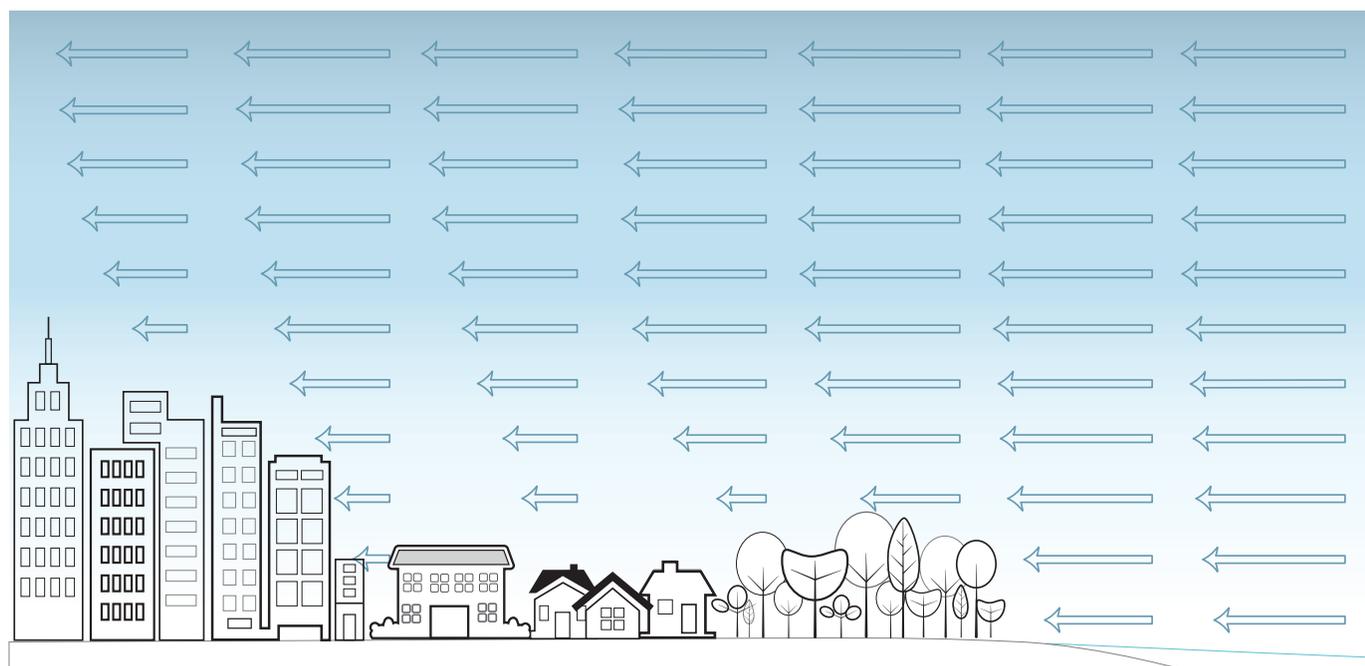


FIGURA 6.4 Gradiente de velocidade do vento em função da altura e tipo de cobertura da terra.

Tipo de Cobertura e/ou uso da terra	Faixa de Rugosidade Z_0 [m]
Áreas urbanas	0,7 - 3
Florestas	0,4 - 1
Reflorestamento	0,4 - 0,95
Vegetação de áreas úmidas	0,1 - 0,4
Culturas agrícolas	0,02 - 0,15
Pastagens	0,02 - 0,20
Solo exposto	0,001 - 0,01
Corpos de água [lagos, oceano] sem vento de superfície	0,0002 - 0,001

TABELA 6.2 Valores típicos de rugosidade associados a classes de cobertura da terra.

6.2.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DO MODELO DE RUGOSIDADE

A metodologia para geração do modelo de rugosidade aerodinâmica proposta nesse trabalho combina técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. O objetivo é considerar a variação fenológica da vegetação ao longo do ano, isto é, os seus períodos de crescimento e senescência.

A metodologia serve-se de dados multitemporais de sensoriamento remoto, combinados com mapeamentos já disponíveis de uso e cobertura da terra. O modelo digital de terreno auxilia no mapeamento e interpretação das áreas, principalmente as de elevada declividade e drenagem complexa.

A primeira etapa consiste na classificação multitemporal do uso e cobertura da terra a partir de um conjunto de imagens de

índice de vegetação derivados do sensor MODIS^[50]. Estes sensores de observação da Terra estão a bordo dos satélites Terra (NASA EOS AM-1) e Aqua (NASA EOS PM-1), e integram o programa de observação da Terra da NASA.

A próxima etapa é a associação de categorias de rugosidade para cada região classificada, e baseia-se no mapa de tipo de uso e cobertura da terra do IBGE^[69], fundamental para estimar a quantidade de biomassa na superfície, diretamente associada aos índices de vegetação. Elaborou-se uma grade numérica regular de resolução espacial de 250 m x 250 m, a partir da qual se extraiu, para cada elemento, o tipo de vegetação, o índice da vegetação e a estatística descritiva dos valores de EVI2 MODIS do período anual de 2013. A partir

dessas estatísticas, foram associados os valores de rugosidade, conforme tabela de referência.

O MAPA 6.2 apresenta a imagem sintética representando a variabilidade espacial da cobertura vegetal sobre o Rio Grande do Sul. Nesse mapa, as diferentes cores representam os diversos tipos de uso e cobertura do solo. O MAPA 6.3 apresenta o modelo digital de rugosidade desenvolvido para o Rio Grande do Sul.



FIGURA 6.5 Ecosistemas lacustres.



FIGURA 6.6 Dunas e corpos de água.



FIGURA 6.8 Cobertura mista de pasto e fragmentos de floresta e reflorestamento.



FIGURA 6.7 Áreas agrícolas.



FIGURA 6.9 Pampa com pastagens e quebra-ventos.

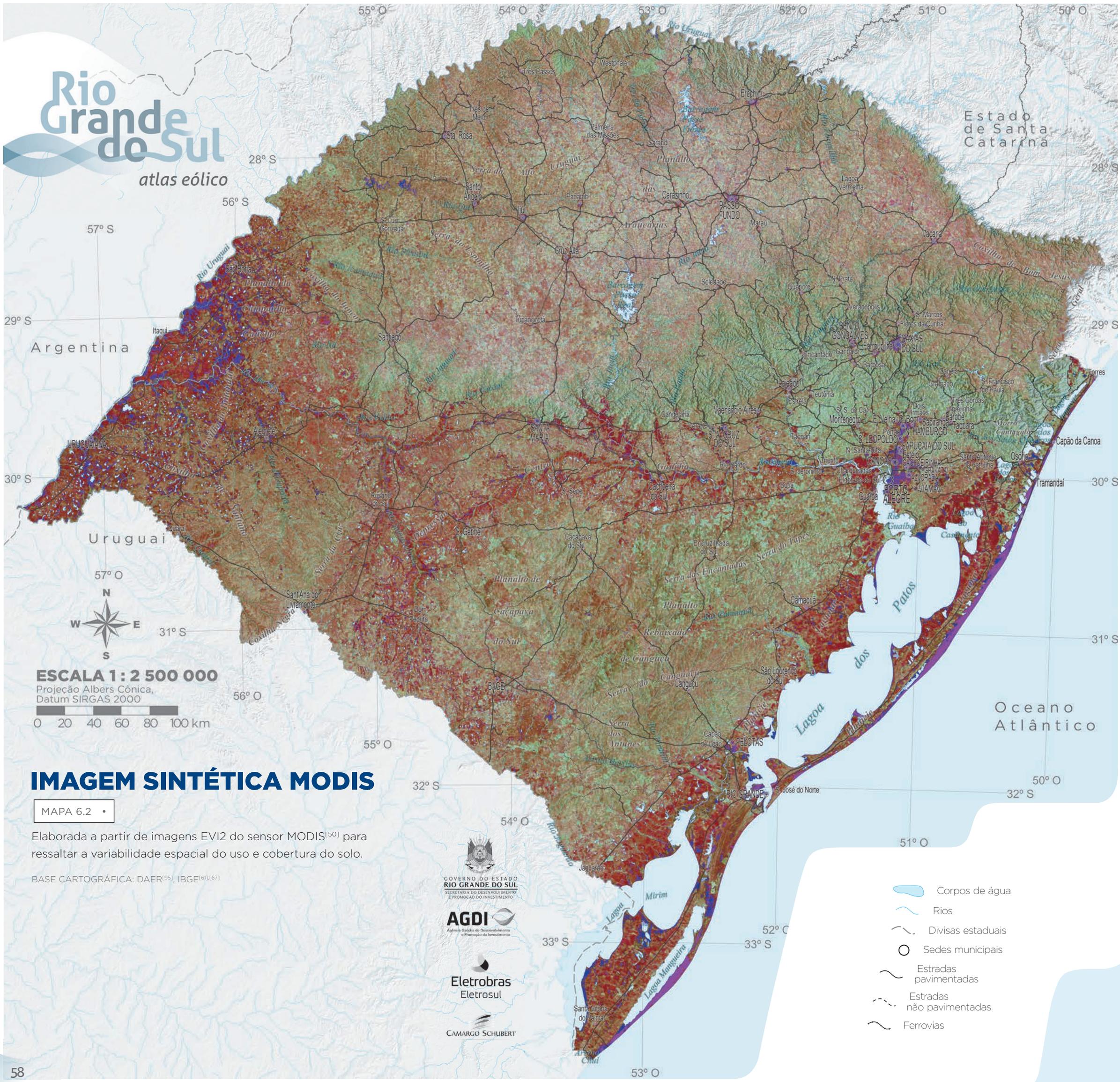


FIGURA 6.10 Cobertura mista de floresta de araucárias, pastagens e reflorestamento.

FOTOS ZIG KOCH

Rio Grande do Sul

atlas eólico



57° S

29° S

30° S

57° O

56° O

32° S

33° S

58

Estado de Santa Catarina

Argentina

Uruguai

Oceano Atlântico

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



IMAGEM SINTÉTICA MODIS

MAPA 6.2

Elaborada a partir de imagens EVI2 do sensor MODIS^[50] para ressaltar a variabilidade espacial do uso e cobertura do solo.

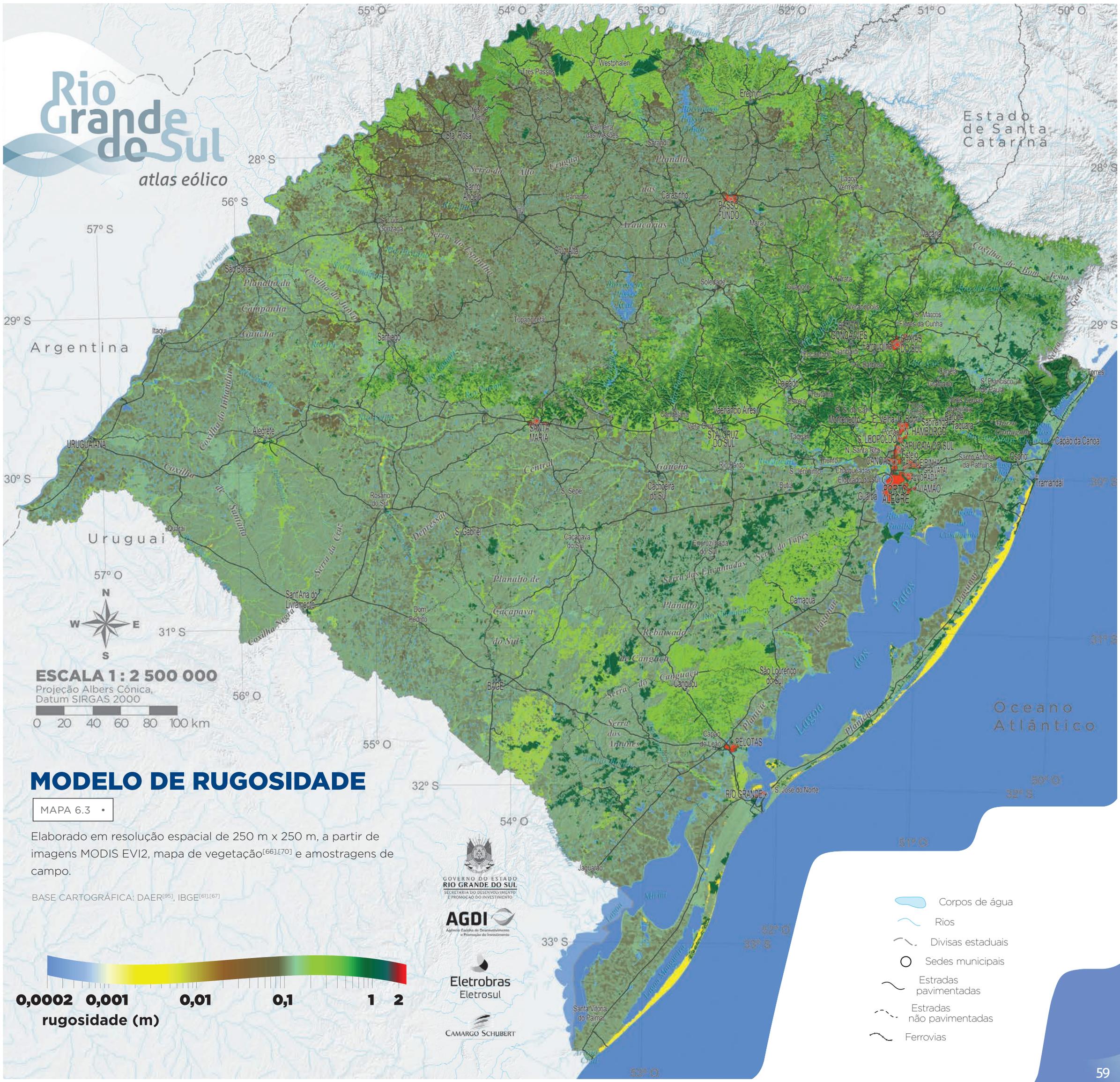
BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^{[61],[67]}



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

Rio Grande do Sul

atlas eólico



57° S

29° S

30° S

57° O

56° O

32° S

33° S

33° S

53° O

Estado de Santa Catarina

Argentina

Uruguai

Oceano Atlântico



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000



MODELO DE RUGOSIDADE

MAPA 6.3

Elaborado em resolução espacial de 250 m x 250 m, a partir de imagens MODIS EVI2, mapa de vegetação^{[66],[70]} e amostragens de campo.

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^{[61],[67]}



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

6 • Metodologia

6.3 MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS

6.3.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados anemométricos para o mapeamento eólico do Rio Grande do Sul foram obtidos pela Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção do Investimento – AGDI, por meio de Termos de Cooperação Técnica firmados com 22 empreendedores-proprietários de projetos em operação ou em desenvolvimento. A lista dos empreendedores que assinaram os Termos de Cooperação é apresentada na TABELA 6.3.

EMPREENDEDORES	
Termo de Cooperação Técnica Atlas Eólico do Rio Grande do Sul 2014	
Água e Solo Estudos e Projetos	Força Eólica do Brasil / Iberdrola / NeoEnergia
Atlantic Energias Renováveis	Fortuny Energía
Brain Energy Energias Renováveis	HGE Geração de Energia Sustentável
CEEE Geração e Transmissão	Honda Energy
CPFL Renováveis	Innovent Wind Energy Worldwide
DGE Soluções Renováveis	MML Energia
EcoProjeto Energia Eólica e Reflorestamento	Omega Energia
Electra Power	Renobrax Energias Renováveis
Eletrosul Centrais Elétricas	Sindieólica-RS Sindicato das Empresas de Energia Eólica do Rio Grande do Sul
Elecnor Renováveis	Trevisa Investimentos
Enerplan Energia Eólica	Ventos Bom Jesus Energia
EPCOR Energia	SEMC (Atlas 2002) Secretaria de Minas, Energia e Comunicações do Rio Grande do Sul

TABELA 6.3 Lista de empreendedores que aderiram ao Termo de Cooperação Técnica para elaboração do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul 2014.

Os dados fornecidos provieram, em sua maior parte, de locais com potencial eólico relevante. A localização estratégica foi, na maioria dos casos, norteada por estudos já realizados e publicados anteriormente, em especial, o Atlas Brasileiro de Energia Eólica^[6] (2001) ou o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul^[7] (2002).

Dados procedentes de cinco torres adicionais foram adquiridos da extinta Secretaria de Energia, Minas e Comunicações – SEMC, que os obteve para a elaboração do Atlas de 2002.

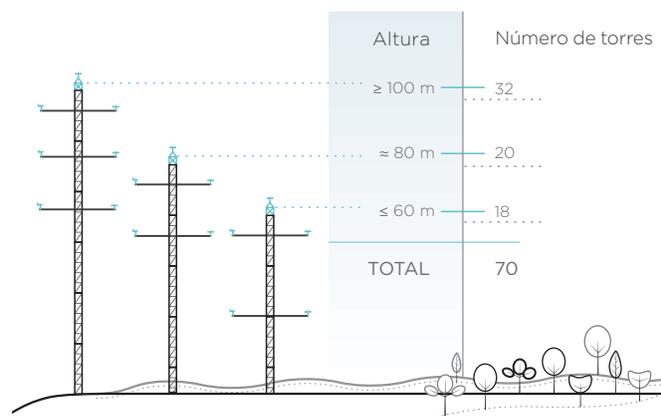


TABELA 6.4 Estatística das torres utilizadas no Atlas Eólico do Rio Grande do Sul por altura.

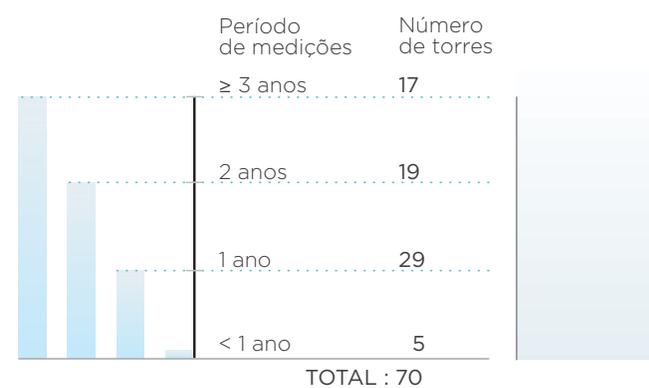


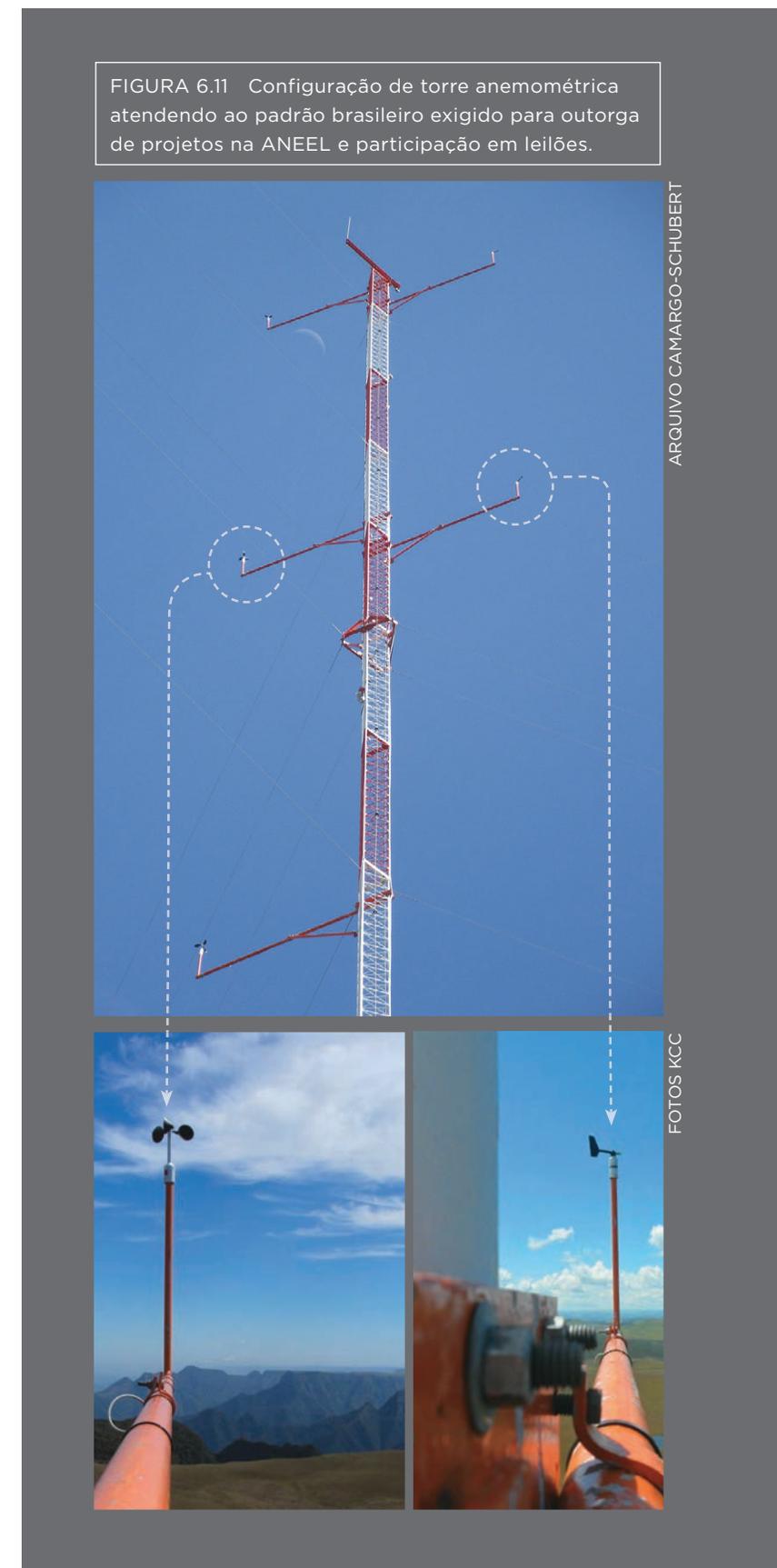
TABELA 6.5 Estatística das torres utilizadas no Atlas Eólico do Rio Grande do Sul por tempo de medição.

Essas torres, com 40 m ou 50 m de altura, foram necessárias para validar locais sem medições recentes.

Ao todo, foi reunido um conjunto de 70 estações, mais três vezes o número considerado no mapeamento anterior. Destas, 74% possuíam alturas maiores que 80 m, e 93%, histórico superior a um ano de duração, conforme nos informam as TABELAS 6.4 e 6.5. O uso de torres com alturas próximas à do rotor de aerogeradores contribuiu para reduzir a incerteza de extrapolação vertical, e o de torres com períodos de medição superiores a um ciclo climatológico completo (12 meses) contribuiu para reduzir a incerteza climatológica. A incerteza climatológica é importante tanto na estimativa de velocidades médias de longo prazo como na de ventos máximos. No geral, considerou-se alta a qualidade dos dados, sendo notável o fato de que todas as torres possuíam anemômetros calibrados em túnel de vento e estavam configuradas de acordo com as exigências das normas internacionais da indústria eólica. A FIGURA 6.11 ilustra uma instrumentação típica de uma torre de 100 m de altura configurada de acordo com esses padrões.

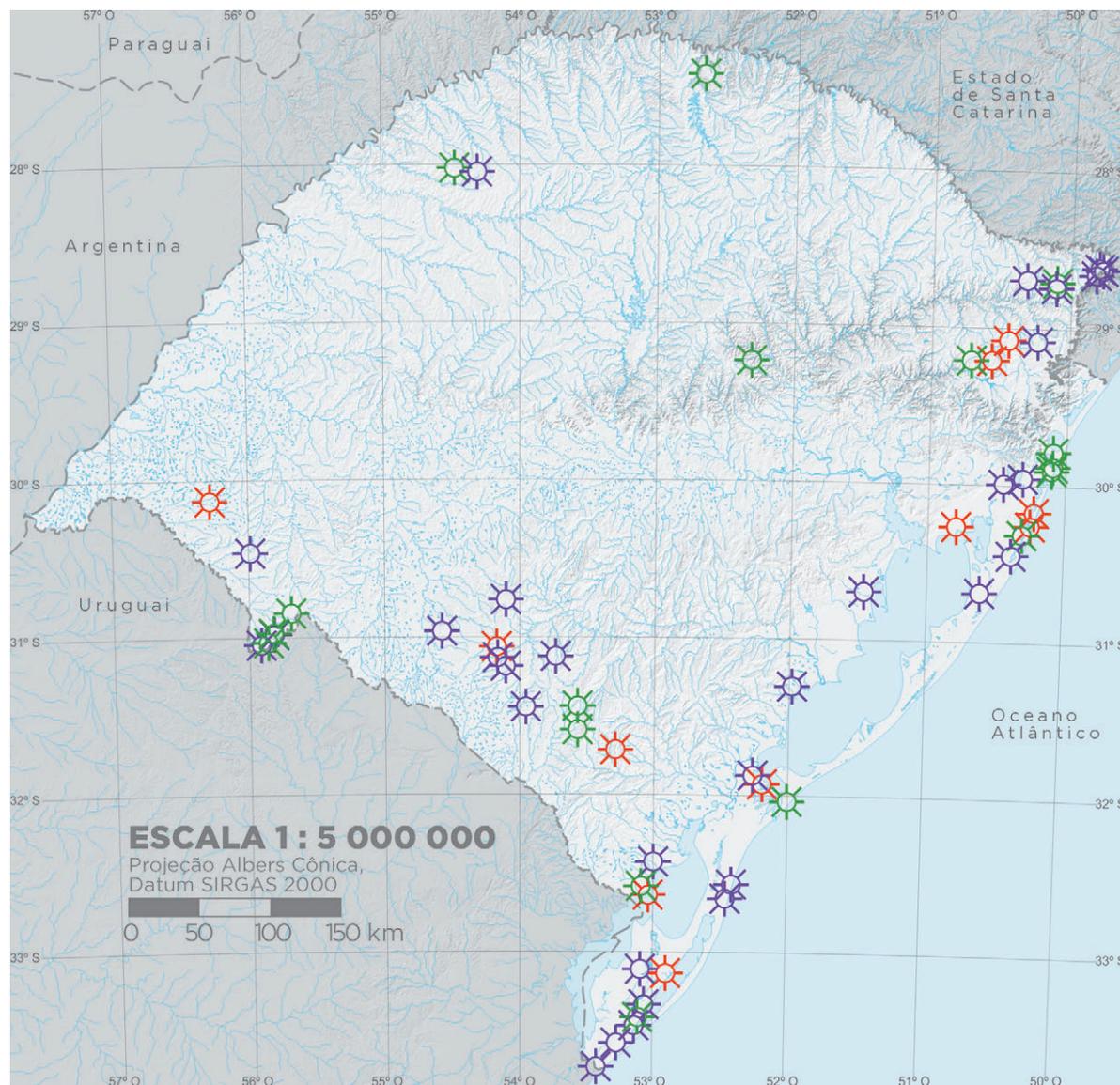
A distribuição espacial das torres é indicada no MAPA 6.4. Por solicitação de alguns empreendedores, algumas localizações não são apresentadas. A FIGURA 6.12 mostra uma campanha anemométrica em operação no Rio Grande do Sul.

FIGURA 6.11 Configuração de torre anemométrica atendendo ao padrão brasileiro exigido para outorga de projetos na ANEEL e participação em leilões.

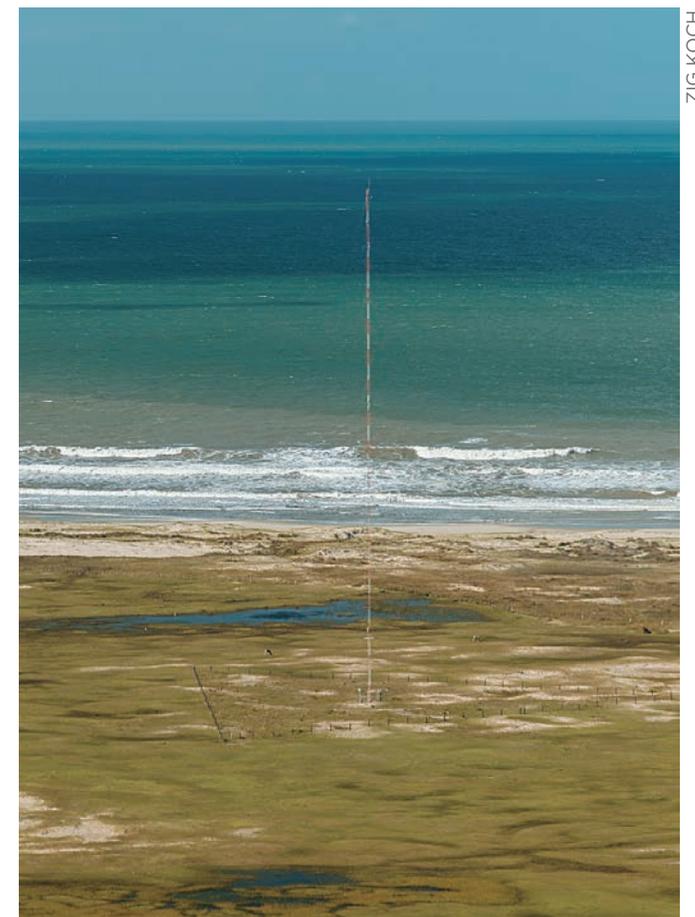


ARQUIVO CAMARGO-SCHUBERT

FOTOS KCC



MAPA 6.4
Distribuição espacial das torres anemométricas utilizadas para o mapeamento do potencial eólico do Rio Grande do Sul.



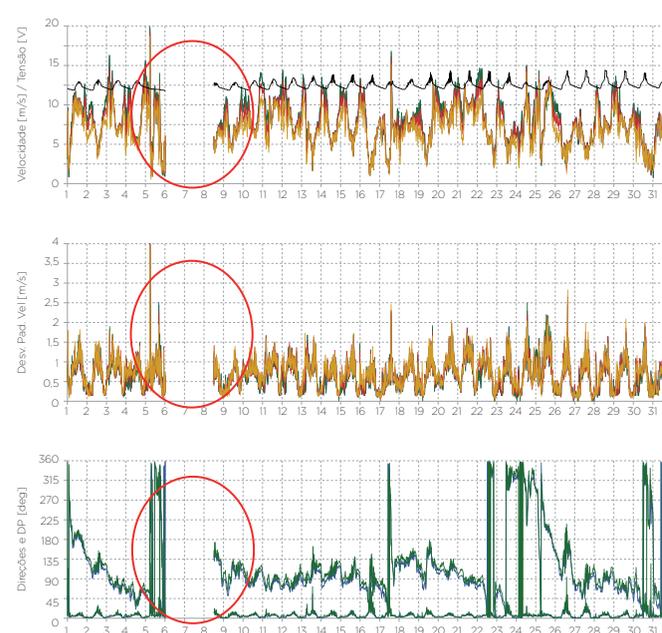
ZIG KOCH

FIGURA 6.12 Torre anemométrica em São José do Norte.

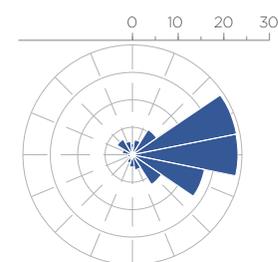
6.3.2 PROCESSAMENTO

As principais variáveis físicas envolvidas em campanhas de prospecção para a indústria eólica são a velocidade e a direção do vento, captadas, respectivamente, por sensores chamados anemômetros e *windvanes*, que traduzem essas variáveis em impulsos elétricos registrados por armazenadores digitais denominados *data-loggers*. Normalmente, os *data-loggers* armazenam estatísticas dos dados a cada 10 minutos, produzindo arquivos em formato binário, ou simplesmente, *arquivos brutos*, com alta taxa de compressão para facilitar o armazenamento e transmissão. O trabalho de processamento consiste, portanto, em descomprimir, traduzir, filtrar, corrigir e interpretar esses dados brutos para a posterior validação estatística dos mapas eólicos.

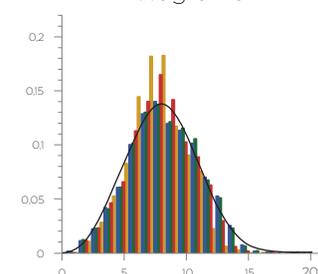
O processamento de dados anemométricos para este trabalho foi feito com o auxílio de várias ferramentas, que incluem os *softwares* específicos dos diversos fabricantes e *softwares* proprietários, para compilação e organização dos dados e sua posterior avaliação e inspeção. Uma das principais etapas foi a de inspeção, visual, realizada manualmente por meio de gráficos, e analítica, automaticamente por meio de checagem de parâmetros e comparação com dados de estações próximas. Um exemplo de visualização mensal identificando uma lacuna de dados e estatística descritiva é apresentado na FIGURA 6.13.



Rosa dos Ventos



Histograma



	V_m [m/s]	K_{wb}	C_{wb} [m/s]
108,0 m	8,06	3,16	9,00
107,7 m	8,03	3,18	8,97
80,0 m	7,64	3,32	8,51
52,0 m	7,04	3,41	7,83

FIGURA 6.13 Exemplo de visualização e identificação de lacuna em dados mensais de uma torre anemométrica.

6 • Metodologia

Durante o processo de auditoria, os dados inválidos ou defeituosos foram descartados ou corrigidos, por meio de análise do cruzamento de informações provenientes de outros anemômetros, ou outras torres. A extrapolação para as alturas de mapeamento (100 m e 150 m) foi efetuada com base na Lei Logarítmica, descrita no Apêndice C.

A última etapa do processo foi a análise de longo prazo, que consiste na correção da média da velocidade do vento medida, para uma média da velocidade do vento estimada, devendo representar um período de duração mais longo. Sabe-se que o período típico de abrangência das campanhas de medição de vento, de alguns anos, é bem inferior ao tempo de vida útil de uma usina eólica, tipicamente de 20 anos. Além, disso, o clima sofre variações determinadas por fenômenos relacionados às grandes escalas atmosféricas, como *El Niño* e *La Niña*, conforme explicado no Capítulo 3. Portanto, se uma determina-

da campanha de monitoramento eólico é realizada durante a ocorrência de um desses fenômenos, os parâmetros medidos representam condições atípicas e de representatividade limitada. Daí a necessidade do ajuste climatológico, que reduz as influências das variações interanuais do regime de ventos.

No caso deste trabalho, o ajuste climatológico foi baseado em dados de reanálises da base MERRA^[97], em conjunto com análises de correlação entre os resultados obtidos das 70 torres, cujos períodos de operação distribuem-se heterogeneamente ao longo dos últimos 14 anos. Uma definição da base de reanálises MERRA, bem como considerações sobre o regime interanual de ventos sobre o Rio Grande do Sul, já foram discutidas no Capítulo 3.

O fluxograma da FIGURA 6.14 sintetiza as principais etapas envolvidas no processamento dos dados anemométricos.

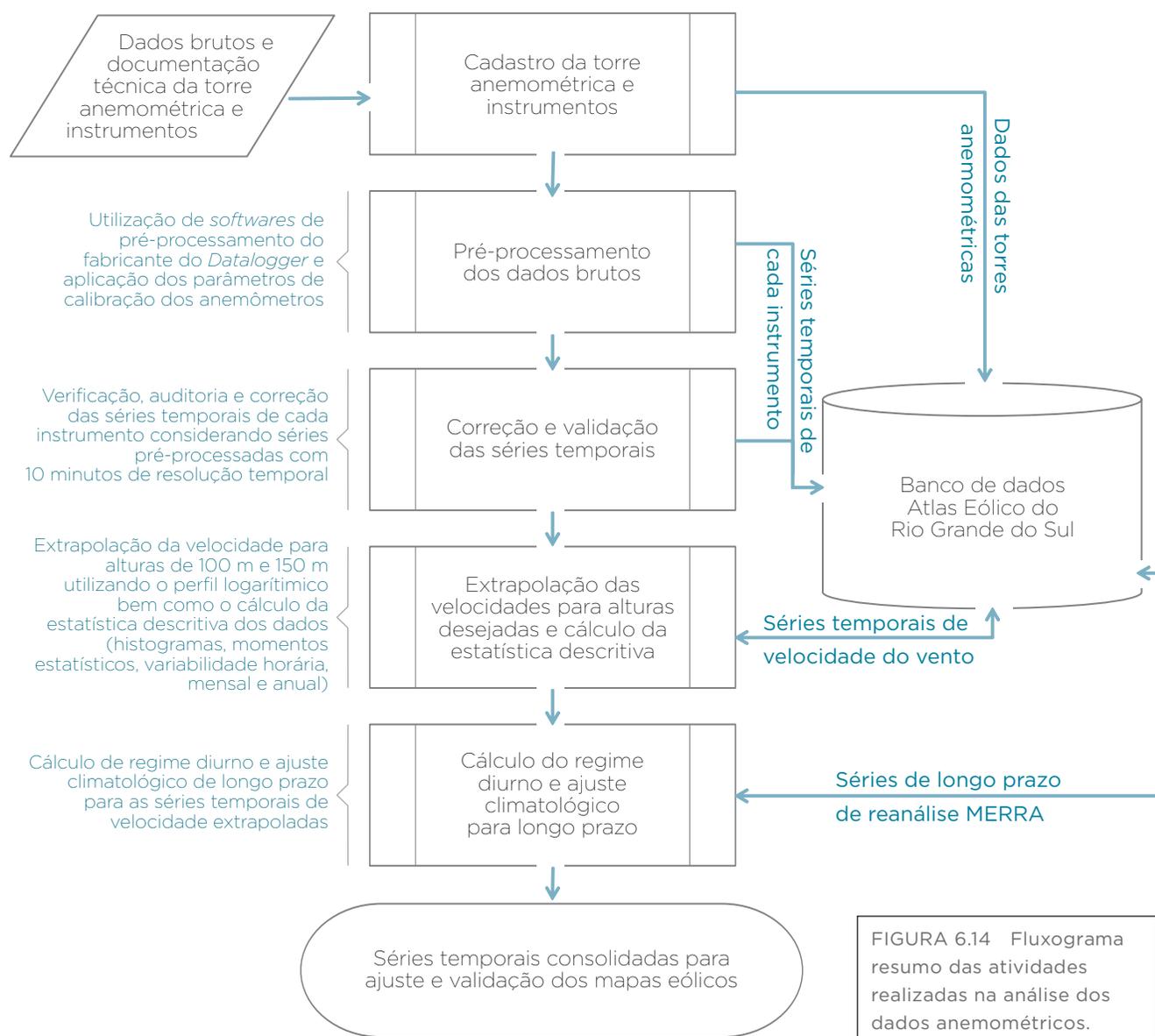


FIGURA 6.14 Fluxograma resumo das atividades realizadas na análise dos dados anemométricos.

6.3.3 O PADRÃO DAS MEDIÇÕES ANEMOMÉTRICAS NO BRASIL

O caráter extremamente competitivo estabelecido pelos leilões de energia a partir de 2009, conforme é explicado no Capítulo 5, aliado à penalização das incertezas nas condições de contrato e financiamento e a ações das agências reguladoras para definir especificações técnicas de campanhas de prospecção, forçaram os mais elevados padrões mundiais de qualidade nas medições de vento, tornando o Brasil um dos países com uma das melhores redes de medição de potencial eólico, tanto qualitativa quanto quantitativamente.

O esforço pela redução das incertezas da medição do vento deve-se ao fato de que, na conversão das variáveis físicas de velocidade em energia, as incertezas na medição refletem-se exponencialmente sobre os retornos energéticos dos parques eólicos. Esses retornos são posteriormente a base para o cálculo do P90 – produção de energia com probabilidade de excedência de 90%, parâmetro que, por sua vez, tem forte influência na determinação da Garantia Física* de produção de energia comercializável e também na proporção do investimento que é financiável pelo Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES. Daí a associação direta entre a qualidade das medições anemométricas e a viabilidade financeira dos empreendimentos eólicos.

A participação das agências reguladoras na definição dos padrões de medição de vento, além de se dar pelas condições de contrato acima mencionadas, ocorre por meio de exigências detalhadas e minuciosas, aplicáveis tanto a campanhas prospectivas como operacionais de parques, com o objetivo de melhorar a confiabilidade e a previsibilidade da fonte eólica no planejamento e operação do Sistema Elétrico.

Os rigorosos requisitos exigidos das campanhas de prospecção para a habilitação ou outorga de novos projetos para futura conexão ao Sistema Interligado constam na Resolução ANEEL 391/2009^[3] e subsequentes alterações. Entre eles, destacam-se: taxas mínimas de recuperação de dados de 90% em 12 meses, lacunas contínuas máximas de 15 dias no período; períodos mínimos de medição de dois ou três anos, altura mínima das torres e exigência de calibração dos sensores padrão MEASNET. Destaca-se também o critério de representatividade das medições por 10 km em terreno plano ou 6 km em terreno complexo que, particularmente, fizeram com que os empreendedores aumentassem a cobertura de torres sobre a área de projeto, com a necessária redundância. A Nota Técnica DEA 08/14^[46] define os padrões para instalação de torres de monitoramento de parques em operação, tais como distâncias entre anemômetros, classe dos sensores, padrão do sistema de transmissão de dados. A Nota é complementada pela

Nota Técnica DEA 04/13^[45], que define os padrões dos relatórios de instalação e manutenção.

O BNDES passou a exigir, nos processos de obtenção de financiamento, a partir de 2011, certificações de medições anemométricas e de produção de energia emitidas por, no mínimo, duas instituições independentes, visando garantir a aplicação das normas e boas práticas da indústria nos procedimentos de prospecção e cálculo de energia. O benefício do alto custo inicial para fazer a prospecção do vento retorna, eventualmente, para o próprio investidor, na forma de melhores condições de financiamento.

A qualidade das medições anemométricas obtidas para esse atlas eólico é, portanto, uma consequência desses esforços conjuntos de iniciativa pública e privada para se elevar o nível de confiabilidade da fonte eólica. A respeito do tema da qualidade de campanhas de medição, cabe relacionar uma pequena lista bibliográfica que se destaca entre uma vasta literatura redigida pelos diferentes setores da cadeia industrial sobre a tecnologia de prospecção. Além das normativas citadas acima, recomenda-se, para orientar, em especial, novos investidores, na familiarização com o tema:

- Measuring Network of Wind Energy Institutes: *Evaluation of Site-specific Wind Conditions*^[80];
- International Energy Agency: *Power performance measurements of electricity producing wind turbines*^[75];
- International Energy Agency: *Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry*^[91];
- Burton, T. et al: *Wind Energy Handbook*^[24].

6.4 VENTOS MÁXIMOS, RAJADAS

A estimativa dos ventos extremos é de fundamental importância no projeto e segurança das edificações e estruturas que sejam expostas à ação dos ventos atmosféricos. No Brasil, as diretrizes para cálculo dos efeitos do vento nas edificações foi padronizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, conforme os procedimentos descritos na Norma Brasileira NB-599/1987 e NBR 6123/1988 “Forças Devidas ao Vento em Edificações”^[8].

Este Atlas Eólico apresenta o mapa de ventos máximos sobre todo o território do Rio Grande do Sul, buscando estabelecer uma referência geograficamente mais detalhada para a análise

dos esforços devidos ao vento em edificações e estruturas de interesse para aproveitamento energético do vento, tais como torres de medições e turbinas eólicas.

Deve ser observado, entretanto, que os resultados apresentados por este Atlas constituem uma contribuição adicional ao estudo dos ventos extremos no Estado, não substituindo, sequer em parte, os procedimentos e resultados contidos na Norma Brasileira.

Define-se a velocidade básica do vento (V_0) como a “máxima velocidade média medida sobre 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano”. A norma NBR 6123/88 apresenta as isopletas de velocidade básica do vento para todo o território brasileiro, às quais se incorporam fatores decorrentes da topografia (fator S_1), rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (fator S_2), e um fator estatístico (fator S_3), na determinação da velocidade característica do vento, utilizada para cálculo dos esforços em edificações.

A partir das séries de velocidades máximas anuais de rajadas com até 25 anos de abrangência, obtidas em estações anemométricas de aeroportos (MAER/DPV), e das isopletas de velocidade básica do vento (V_0) apresentadas pela norma brasileira, complementadas por registros de rajadas nas torres anemométricas disponíveis para elaboração do Atlas Eólico, foram calculadas as *rajadas máximas* (velocidade extrema medida sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, $Ve50_{[3s, 50anos]}$) na altura de 100 m, para todo o Estado do Rio Grande do Sul.

Foram analisados os dados de rajadas das torres de medição, compondo períodos conjuntos de até 7 anos para torres numa mesma região, selecionando-se os valores máximos de eventos atmosféricos distintos (*Method of Independent Storms – MIS*^{[36], [55]}), que representam amostras independentes para a determinação da distribuição estatística de ventos máximos.

A extrapolação da velocidade básica para todo o território rio-grandense foi realizada a partir das considerações do Balanço Geostrófico, em conformidade com as metodologias descritas nas bibliografias referenciadas. O cálculo e a incorporação dos fatores de correção de topografia (S_1), rugosidade e altura da edificação (S_2) e estatístico (S_3) à velocidade básica do vento, seguem os procedimentos descritos na Norma Brasileira, aplicados aos modelos de topografia e rugosidade.

6.4.1 ESTIMATIVA DE VENTOS EXTREMOS

Ventos de pouca frequência, meteorologicamente distintos e mais intensos que os ventos máximos anuais, são denominados ventos extraordinários (e.g. furacões, tornados). Climas

em que não se espera a ocorrência de ventos extraordinários são chamados bem-comportados. Em tais climas, é razoável assumir-se que cada registro de uma série de ventos máximos contribui para a descrição do comportamento probabilístico dos ventos extremos, podendo-se esperar que uma análise estatística destas séries possa fornecer previsões dos valores extremos de vento de longo prazo. Desse modo, pode-se definir uma variável aleatória a partir das séries de ventos máximos anuais ou mesmo de períodos inferiores, desde que representativos de eventos independentes. A Função Distribuição Cumulativa dessa variável aleatória pode então ser estimada, modelando o comportamento dos ventos máximos. Aos ventos extremos são associados períodos de recorrência, ou seja, a velocidade do vento que, na média, é excedida uma vez no período^{[39], [111]}.

• DISTRIBUIÇÃO PARA VENTOS EXTREMOS

Uma Função Distribuição Cumulativa para valores extremos é referida como Distribuição de Valores Extremos Tipo I, ou ainda, Distribuição de Gumbel, sendo definida por^{[39], [111]}

$$F_I(x) = \exp\{-\exp[-(x - \mu)/\sigma]\}$$

em que μ é a moda da distribuição, o valor mais comum, e σ o fator de escala, uma medida da dispersão dos dados, decorrendo assim, que a Função Densidade de Probabilidade para Valores Extremos Tipo I seja dada por

$$f_I(x) = \frac{dF_I(x)}{dx}$$

$$f_I(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right] \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right]\right\}$$

Utilizando-se as definições de valor esperado e variância, pode ser mostrado que o valor médio e o desvio padrão da variável aleatória X são expressos, respectivamente, por^[111]

$$E(X) = \mu + \gamma\sigma \quad SD(X) = \frac{\pi}{\sqrt{6}}\sigma$$

em que $\gamma = 0,577216$ é a constante de Euler.

• INTERVALO DE RECORRÊNCIA

Considerando que a variável aleatória represente as velocidades máximas anuais em uma dada localidade, designada por V , a Distribuição de Gumbel pode ser escrita como

$$P(v) = \exp\{-\exp[-(v - \mu)/\sigma]\}$$

em que $P(v)$ é a probabilidade de que a velocidade máxima em um ano qualquer seja menor ou igual a v ($Prob(V \leq v)$). Se o período de recorrência associado à velocidade v for de

6 • Metodologia

T anos, então a probabilidade de que a velocidade v seja excedida em um ano qualquer é $1/T$ ($Prob(V > v)$)^[79]. Portanto,

$$P(v) = 1 - \frac{1}{T}$$

e assim^[79]

$$1 - \frac{1}{T} = \exp\left[-\exp\left(-\frac{v - \mu}{\sigma}\right)\right]$$

Explicitando v na expressão anterior tem-se

$$v_T = \mu - \sigma \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Assim, conhecendo-se os parâmetros μ e σ da distribuição, pode-se estimar a velocidade do vento extremo v_T associada ao período de recorrência T .

• DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO

A literatura apresenta vários estimadores para os parâmetros da Distribuição de Valores Extremos Tipo I (Distribuição de Gumbel), tais como: Simulação de Monte Carlo, Método dos Momentos, Ajuste por Mínimos Quadrados, Método da Ordem Estatística, Método dos Momentos Ponderados.

Na presente análise, os parâmetros foram determinados a partir das séries de valores máximos anuais, utilizando-se o Método dos Momentos Ponderados por Probabilidade (*Probability-Weighted Moment Method*)^{[1], [49]}.

Os registros de velocidades máximas anuais para um certo período (n) são classificados em ordem ascendente v_1^{\max} , v_2^{\max} , v_3^{\max} , ..., v_n^{\max} , calculando-se então o parâmetro λ ^[49]

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{i-1}{n-1} v_i^{\max}$$

Os parâmetros σ e μ podem então ser estimados a partir das seguintes expressões^[49]

$$\sigma = \frac{1}{\ln 2} \left(2\lambda - v^{\max}\right) \quad \mu = v^{\max} - \gamma\sigma$$

em que v^{\max} é o valor médio da série de valores máximos.

Conforme descrito a seguir, a partir das considerações da Lei de Arrasto Geostrófico e dos procedimentos contidos na Norma Brasileira, foram extrapoladas as velocidades básicas do vento, corrigidas pelos Fatores S_1 , S_2 e S_3 ^[8], para todo o Estado do Rio Grande do Sul.

6.4.2 ARRASTO GEOSTRÓFICO E VENTO BÁSICO

O vento na camada-limite é gerado por gradientes de pressão causados, principalmente, pelos mecanismos sinóticos, de mesoescala e microescala, atuantes na dinâmica atmosférica. Como a camada-limite tem uma resposta razoavelmente rápida às variações de pressão, existe um equilíbrio aproximado entre as forças de pressão e as forças viscosas na superfície da Terra. O vento que escoa na atmosfera livre, no topo da camada-limite, é chamado Vento Geostrófico. O resultado desse balanço de forças é referido como Lei de Arrasto Geostrófico, que relaciona a velocidade de fricção na superfície u_* e o Vento Geostrófico G , matematicamente expressa por^[76]

$$G = \frac{u_*}{\kappa} \sqrt{\left[\ln\left(\frac{u_*}{fz_0}\right) - A\right]^2 + B^2}$$

em que $\kappa=0,4$ é a constante de von Kármán, z_0 é a rugosidade do terreno, A e B são funções da estabilidade térmica da atmosfera e f é um termo associado à Força de Coriolis, calculado pela expressão^[76]

$$f = 2\Omega \sin(\phi)$$

sendo Ω a velocidade angular de rotação da Terra e ϕ a latitude local. Em condições de ventos extremos, espera-se que a camada-limite esteja neutra ou quase neutramente estratificada e, portanto, que os desvios entre o perfil vertical real de velocidade do vento e o perfil logarítmico de camada-limite sejam pequenos. Nessas condições, de atmosfera neutra, os parâmetros A e B assumem os valores 1,8 e 4,5, respectivamente^[93].

A velocidade de fricção u_* pode ser calculada a partir da velocidade do vento extremo v_T para cada estação considerada, pela relação

$$u_* = \frac{\kappa v_T}{\ln\left[(z + z_0)/z_0\right]}$$

em que z é a altura em relação ao terreno.

Introduzindo u_* na expressão da Lei Geostrófica, calcula-se o valor da velocidade do vento geostrófico na região de cada estação, extrapolando-se a seguir, para toda a área do Estado. Como o escoamento geostrófico é, por definição, independente das condições do terreno, pode-se, assim, calcular a velocidade de fricção u_{*D} sobre terrenos com rugosidades quaisquer z_{0D} , pela solução da equação^[76]

$$G = \frac{u_{*D}}{\kappa} \sqrt{\left[\ln\left(\frac{u_{*D}}{fz_{0D}}\right) - A\right]^2 + B^2}$$

A velocidade básica do vento pode então ser calculada pela relação logarítmica, sob condições neutras de estabilidade térmica, pela expressão

$$V_{Bas} = \frac{u_{*D}}{\kappa} \ln\left(\frac{10 + z_{0D}}{z_{0D}}\right)$$

6.4.3 FATORES DE CORREÇÃO E VELOCIDADE CARACTERÍSTICA

Para o projeto de edificações e estruturas sujeitas à ação dos ventos, a velocidade básica do vento deve ser corrigida para as peculiaridades da estrutura e características locais do terreno, definindo-se uma velocidade característica para os cálculos de carregamento aerodinâmico.

A velocidade característica (V_k) é obtida a partir da velocidade básica (V_0) pela multiplicação de um fator topográfico (S_1); um fator de rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2); e um fator estatístico (S_3)^[8]:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

Obtida a velocidade característica, pode-se calcular a pressão dinâmica ($q=(1/2)\rho V^2$, em que ρ é a densidade do ar), que serve de base para os cálculos dos esforços aerodinâmicos nas estruturas.

• FATOR TOPOGRÁFICO (S_1)

O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno na velocidade do vento. Para terrenos planos ou fracamente acidentados, assume-se um fator unitário ($S_1=1,0$); para vales profundos, protegidos do vento, a primeira aproximação é assumir um fator de 0,9 ($S_1=0,9$); para regiões de morros ou taludes, calcula-se o fator numa altura (z) sobre o terreno, a partir da inclinação (θ) e altura do morro/talude (d): $S_1=S_1(\theta, z, d)$, conforme apresentado na Norma Brasileira NBR 6123; em áreas de relevo muito complexo, recomenda-se a realização de ensaios experimentais em túnel ou medições anemométricas no próprio local^[8].

A partir do modelo de relevo, elaborado em resolução de 200 m x 200 m, foi realizado o cálculo dos fatores topográficos S_1 para todo o Estado, para a altura de 100 m. Estes fatores, juntamente com os fatores S_2 e S_3 , foram utilizados no cálculo

da velocidade característica e da rajada máxima ($Ve50$), conforme definida pela IEC^[73].

• FATOR DE RUGOSIDADE E ALTURA SOBRE O TERRENO (S_2)

Este fator insere uma correção na velocidade básica do vento, considerando os efeitos de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o nível do solo. O fator S_2 pode ser calculado pela seguinte expressão^[8]

$$S_2 = bF_R \left(\frac{z}{10} \right)^p$$

em que: b , p são parâmetros meteorológicos variáveis com a rugosidade do terreno e o intervalo de média; F_R é o fator de rajada, que permite relacionar valores de velocidade do vento calculados sobre intervalos de tempo distintos, sendo função do intervalo de média e da intensidade de turbulência do escoamento.

O intervalo de média associado às dimensões de uma edificação é determinado pela sua resposta dinâmica induzida pelo espectro de frequências de uma rajada. De modo geral, edificações pequenas são mais afetadas por rajadas de curta duração e edificações grandes, por rajadas de duração maior. No cálculo de S_2 , considerou-se um intervalo de média de 3 s (edificações da Classe A^[8]), correspondendo a um fator de rajada unitário.

Os parâmetros meteorológicos foram calculados por interpolação dos valores associados às diferentes categorias de rugosidade apresentadas na Norma Brasileira, utilizando-se as classes do modelo de rugosidade para a altura de 100 m. O fator de rajada correspondeu ao intervalo de média da rajada máxima (média de 3 segundos) com período de recorrência de 50 anos ($Ve50_{[3s, 50anos]}$), referida pela Norma IEC^{[73], [74]}.

• FATOR ESTATÍSTICO (S_3)

Este fator considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, sendo calculado pela seguinte expressão^[8]

$$S_3 = 0,54 \left[- \frac{\ln(1 - P_m)}{m} \right]^{-0,157}$$

em que: m é a vida útil da edificação em anos; P_m é a probabilidade estabelecida pelo projetista. O fator S_3 foi calculado para uma vida útil da edificação de 50 anos (período de recorrência da velocidade básica do vento) e uma probabilidade de que esta velocidade seja igualada ou excedida neste período de 63% ($P_m = 0,63$), resultando num fator unitário ($S_3 = 1,0$).

6.4.4 RAJADA MÁXIMA (VE50)

A partir da velocidade básica do vento (V_o) e dos fatores de correção S_1 , S_2 e S_3 , foram calculadas as rajadas máximas (velocidade extrema medida sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, $Ve50_{[3s, 50anos]}$) na altura de 100 m.

Esta velocidade, juntamente com a velocidade de referência ($Vref_{[10min, 50anos]}$), distribuição de velocidade média anual e a intensidade de turbulência do vento, constituem parâmetros de projeto e classificação das classes de turbinas conforme a IEC 61400-1 : 2005/08^[73].

A estimativa de ventos extremos assume a existência de uma condição média de longo prazo constante, o que possibilita a extrapolação dos resultados para futuras condições de vento. Portanto, possíveis variações climáticas não são levadas em consideração nos resultados apresentados.

O mapa apresentado no Capítulo 7 mostra a rajada máxima ($Ve50$) calculada para todo o estado a 100 m de altura.

Os resultados apresentados são representativos das condições médias dentro da resolução de mapeamento (200 m x 200 m).

6.5 INCERTEZAS

A geração de energia é bastante sensível às variações da velocidade do vento. Pequenas variações na velocidade 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 de fundamental importância na avaliação da viabilidade e quantificação de risco, sendo uma condicionante do processo de financiamento de empreendimentos eólicos.

A quantificação das incertezas permite a determinação dos níveis de energia excedidos com uma determinada probabilidade para distintos períodos de variabilidade. Atualmente, a garantia física de energia (ou lastro de energia) dos parques eólicos é definida a partir da energia média anual de longo prazo que é excedida com 90% de probabilidade (P90), considerando um período de variabilidade de 20 anos; ou seja, é a energia média que apresenta um risco de 10% de não ser atingida ao longo da vida útil da usina.

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.

Para o mapeamento das incertezas foram combinadas as contribuições das incertezas de medição (anemometria), extrapolação vertical, extrapolação horizontal e climatologia. Dessas, a incerteza de extrapolação horizontal é a que apresenta maior contribuição, sendo inerente ao modelo de mapeamento. As incertezas de medição, extrapolação vertical e climatologia foram determinadas a partir da análise das características específicas de cada torre anemométrica utilizada no mapeamento, considerando, por exemplo: tipo de anemômetro, alturas de medição, análise do posicionamento das hastes (quando possível), qualidade e abrangência dos dados, coeficiente de correlação com dados de outras torres na mesma região e com séries climatológicas de longo prazo (dados de reanálises).

A metodologia para avaliação das incertezas de extrapolação horizontal considerou a densidade regional de torres anemométricas, a complexidade do terreno (topografia e rugosidade), a similaridade entre o regime de ventos e o terreno e sua sensibilidade em relação às variações verificadas nas torres anemométricas mais representativas de cada região característica.

O mapa de incertezas foi calculado para a altura de 100 m sobre o terreno e é apresentado no Capítulo 7.

7 · Mapas Eólicos



ZIG KOCH

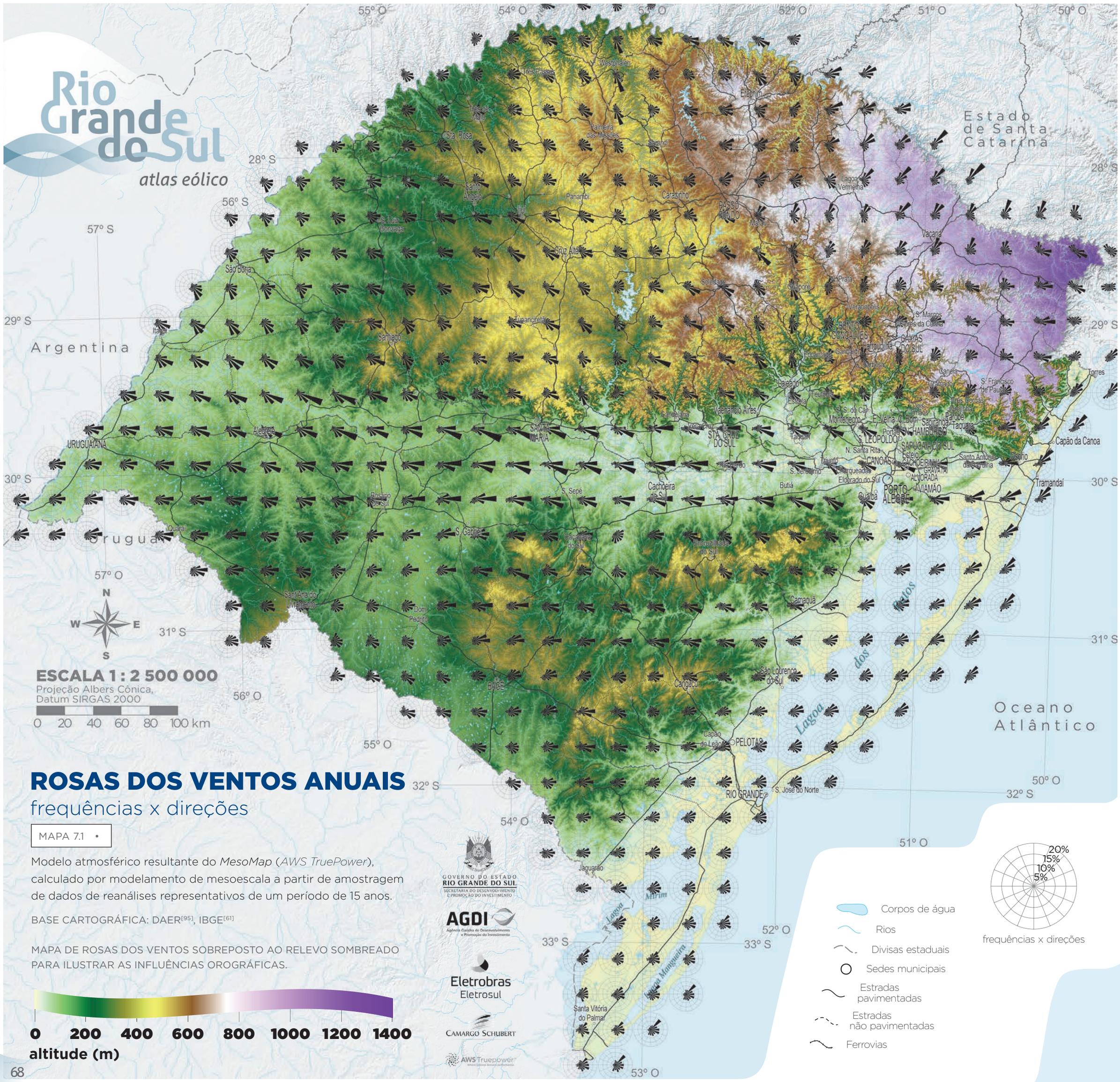
FIGURA 7.1 Parques Eólicos Cerro Chato I e III, em Sant'Ana do Livramento.

FIGURA 7.2 Complexo Eólico Atlântica, em Palmares do Sul.



Rio Grande do Sul

atlas eólico



ROSAS DOS VENTOS ANUAIS

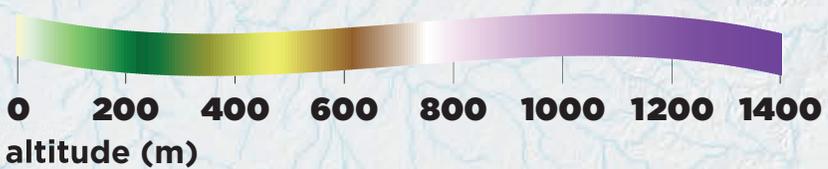
frequências x direções

MAPA 7.1

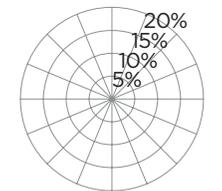
Modelo atmosférico resultante do MesoMap (AWS TruePower), calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises representativos de um período de 15 anos.

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^[61]

MAPA DE ROSAS DOS VENTOS SOBREPOSTO AO RELEVO SOMBREADO PARA ILUSTRAR AS INFLUÊNCIAS OROGRÁFICAS.



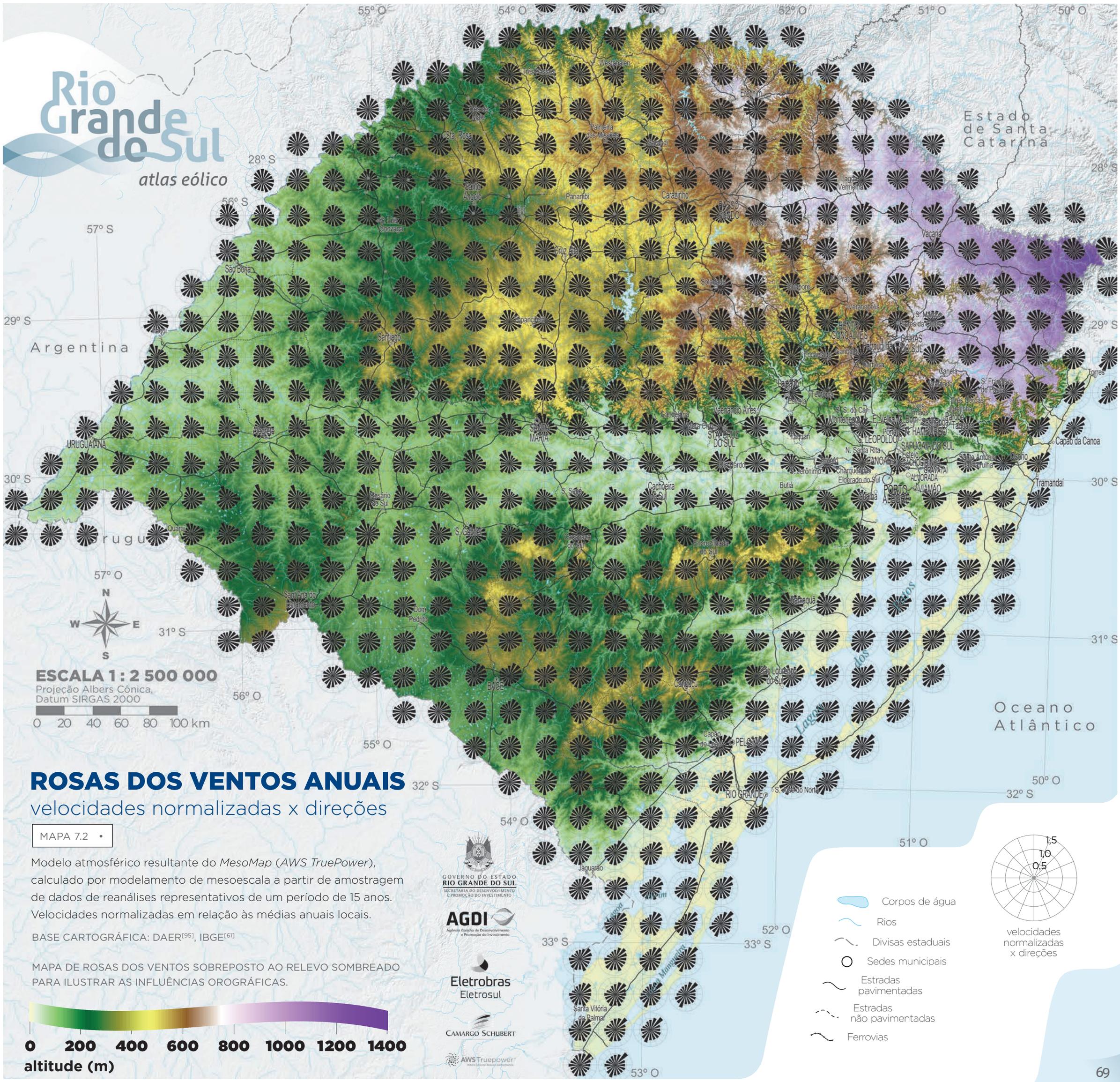
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias



frequências x direções

Rio Grande do Sul

atlas eólico



ROSAS DOS VENTOS ANUAIS

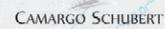
velocidades normalizadas x direções

MAPA 7.2

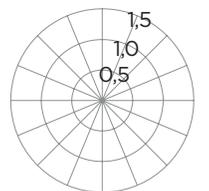
Modelo atmosférico resultante do *MesoMap (AWS TruePower)*, calculado por modelamento de mesoescala a partir de amostragem de dados de reanálises representativos de um período de 15 anos. Velocidades normalizadas em relação às médias anuais locais.

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^[61]

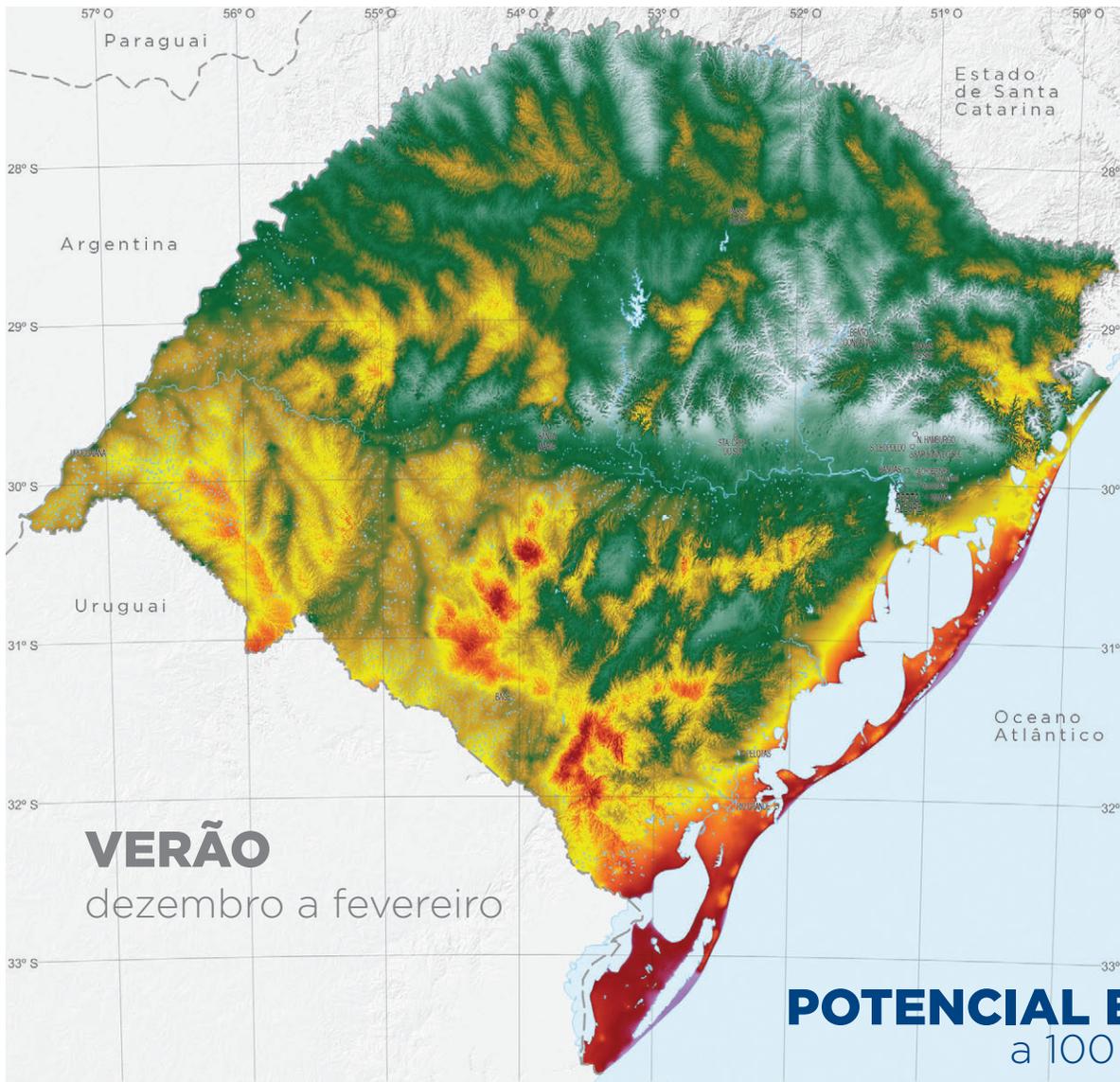
MAPA DE ROSAS DOS VENTOS SOBREPOSTO AO RELEVO SOMBREADO PARA ILUSTRAR AS INFLUÊNCIAS OROGRÁFICAS.



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

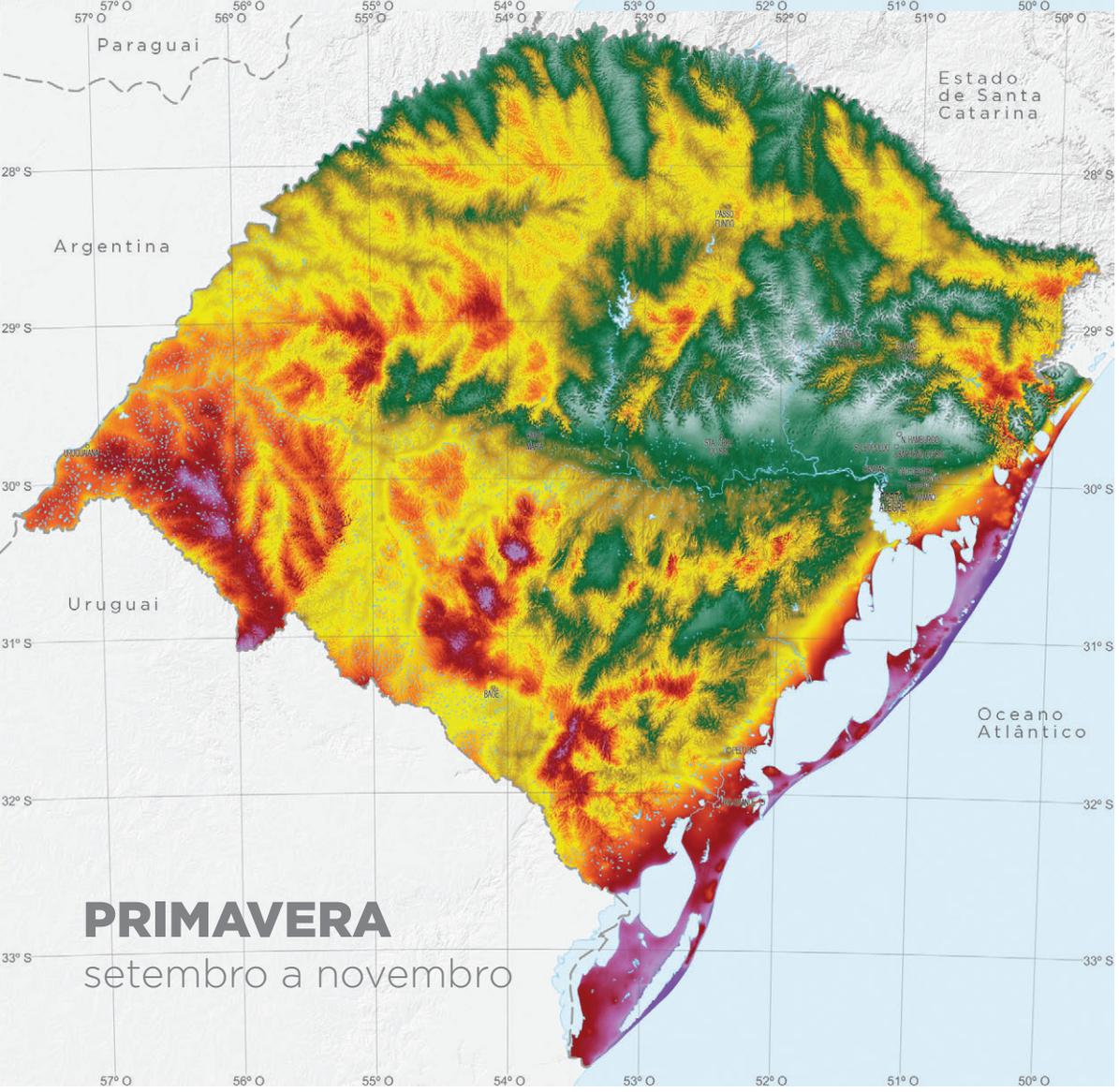
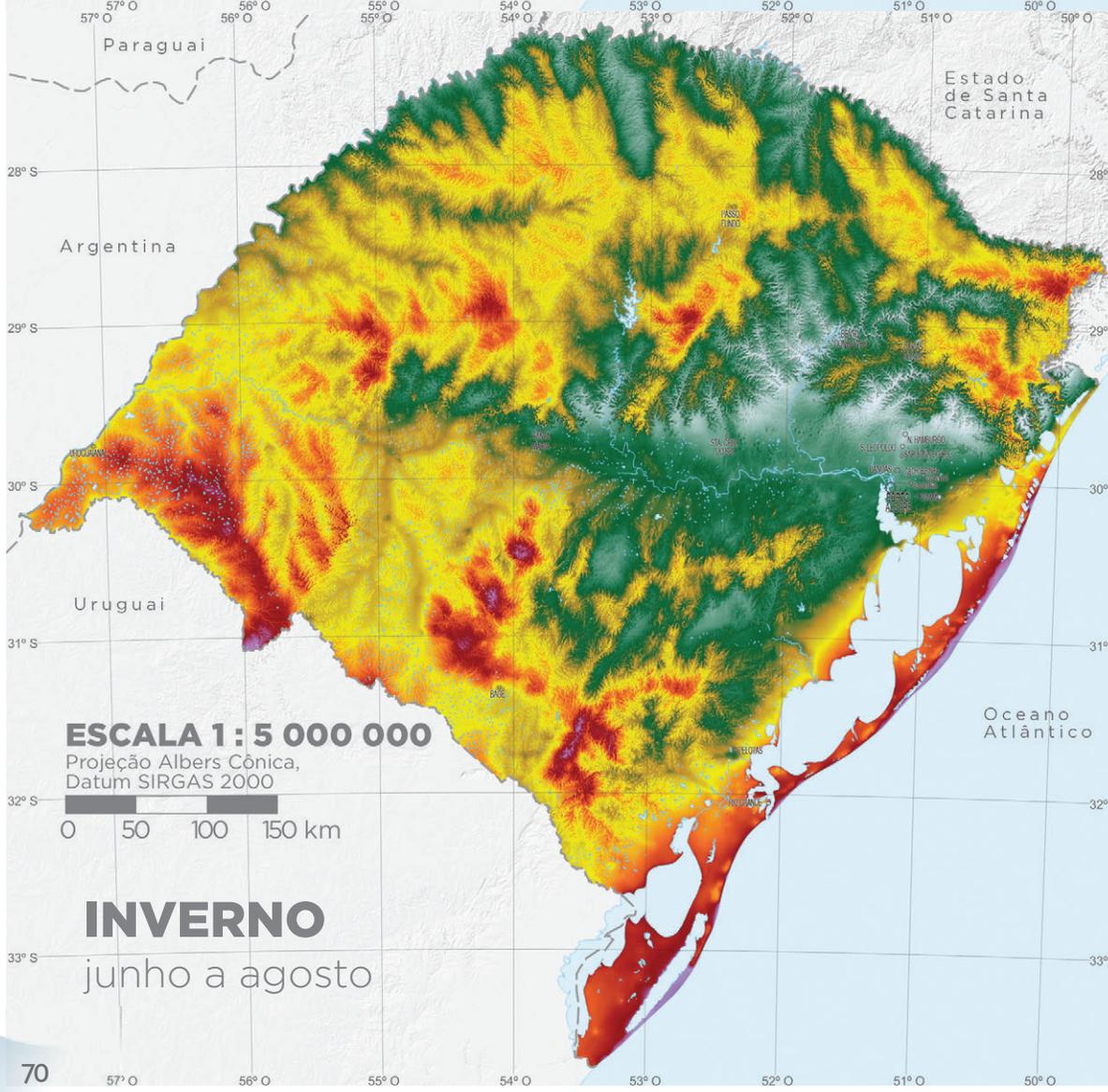


velocidades normalizadas x direções



POTENCIAL EÓLICO SAZONAL
a 100 m de altura

MAPA 7.3

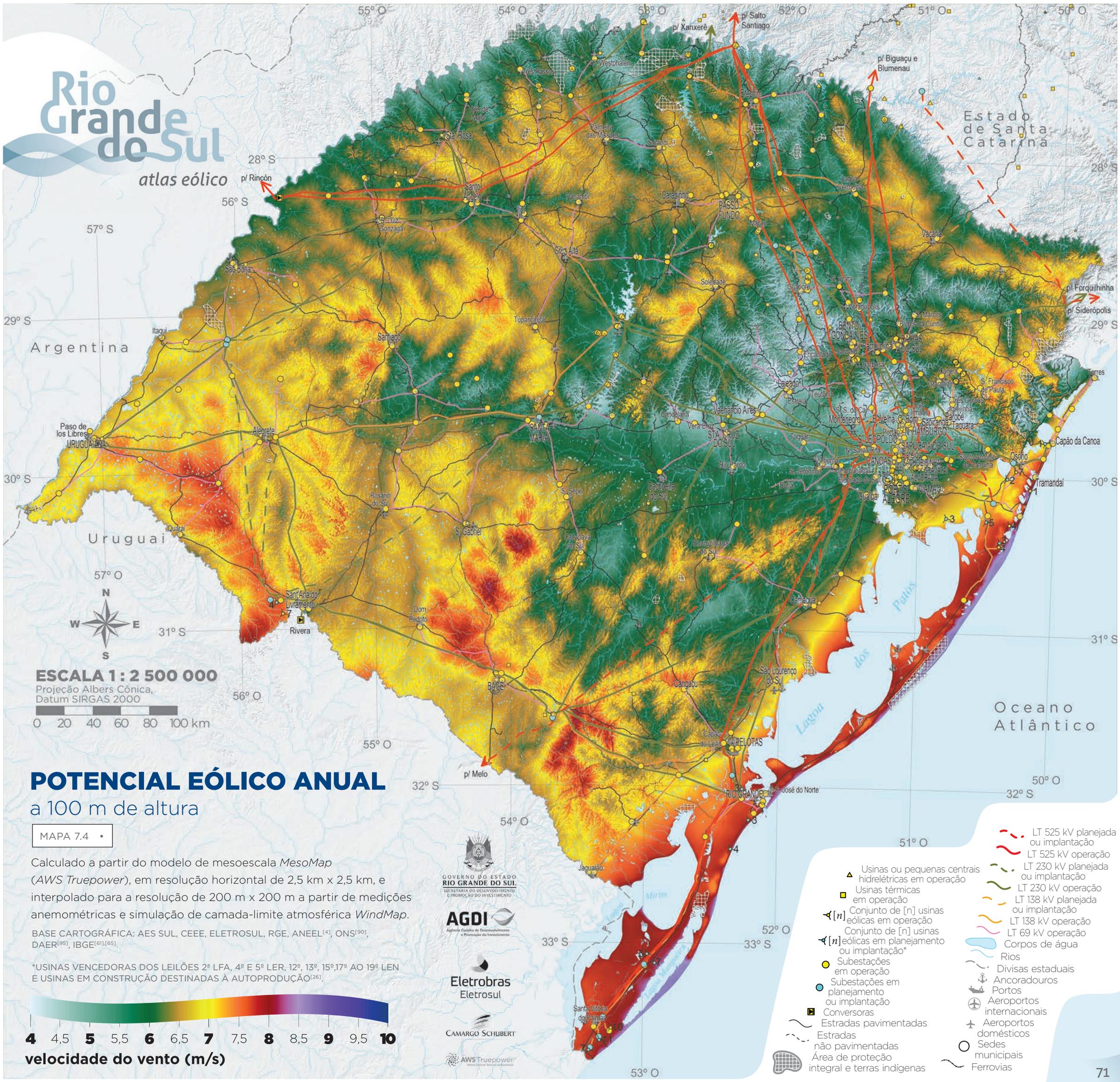


ESCALA 1: 5 000 000
Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000

0 50 100 150 km

Rio Grande do Sul

atlas eólico



POTENCIAL EÓLICO ANUAL

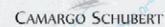
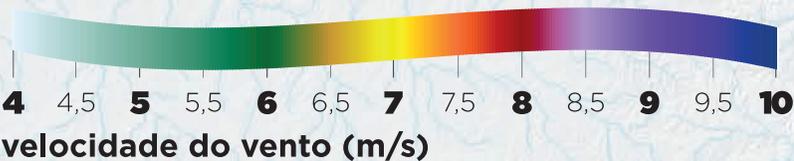
a 100 m de altura

MAPA 7.4

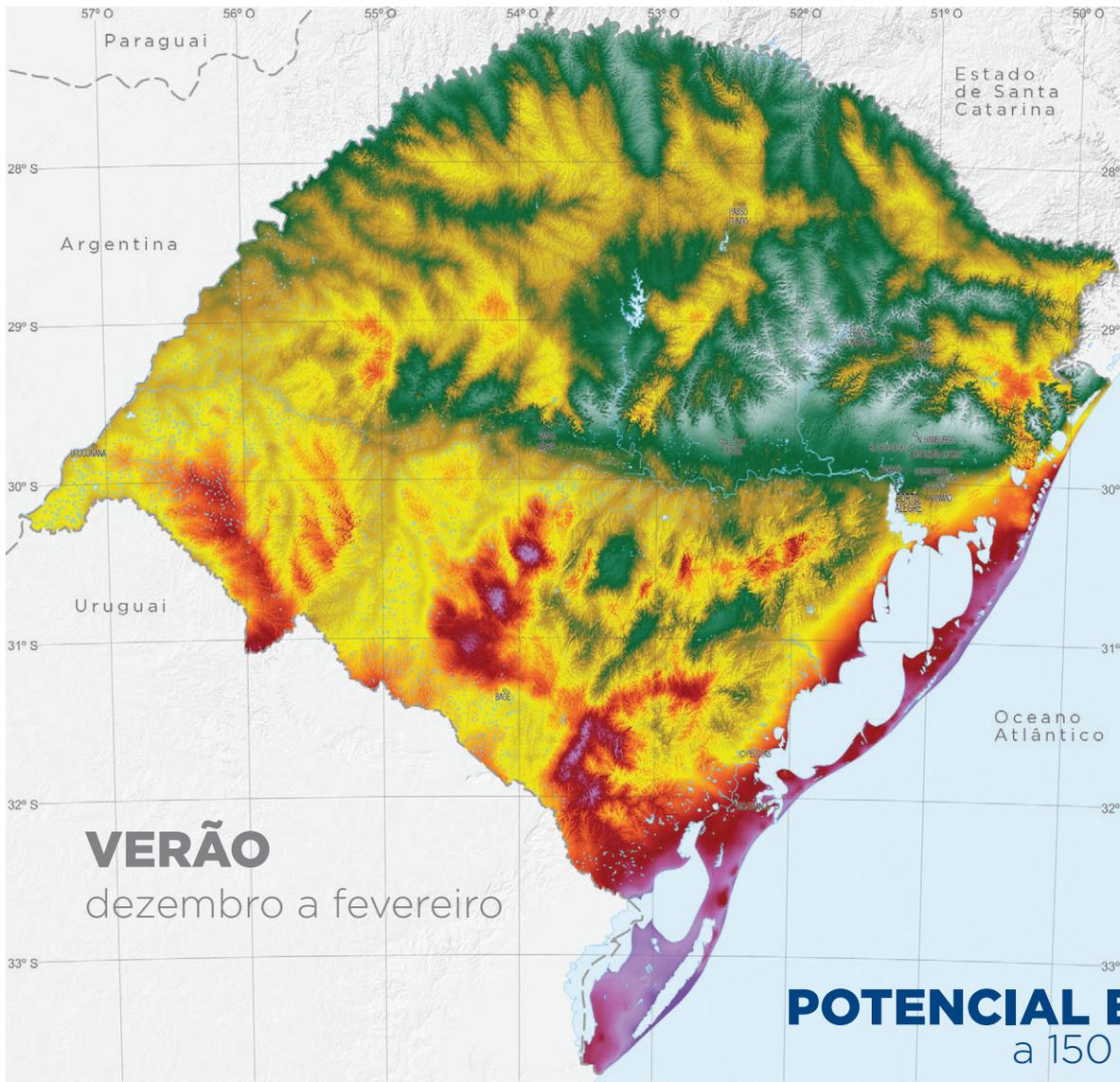
Calculado a partir do modelo de mesoescala *MesoMap* (*AWS Truepower*), em resolução horizontal de 2,5 km x 2,5 km, e interpolado para a resolução de 200 m x 200 m a partir de medições anemométricas e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^{[61],[65]}

*USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2º LFA, 4º E 5º LER, 12º, 13º, 15º, 17º AO 19º LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO^[26].

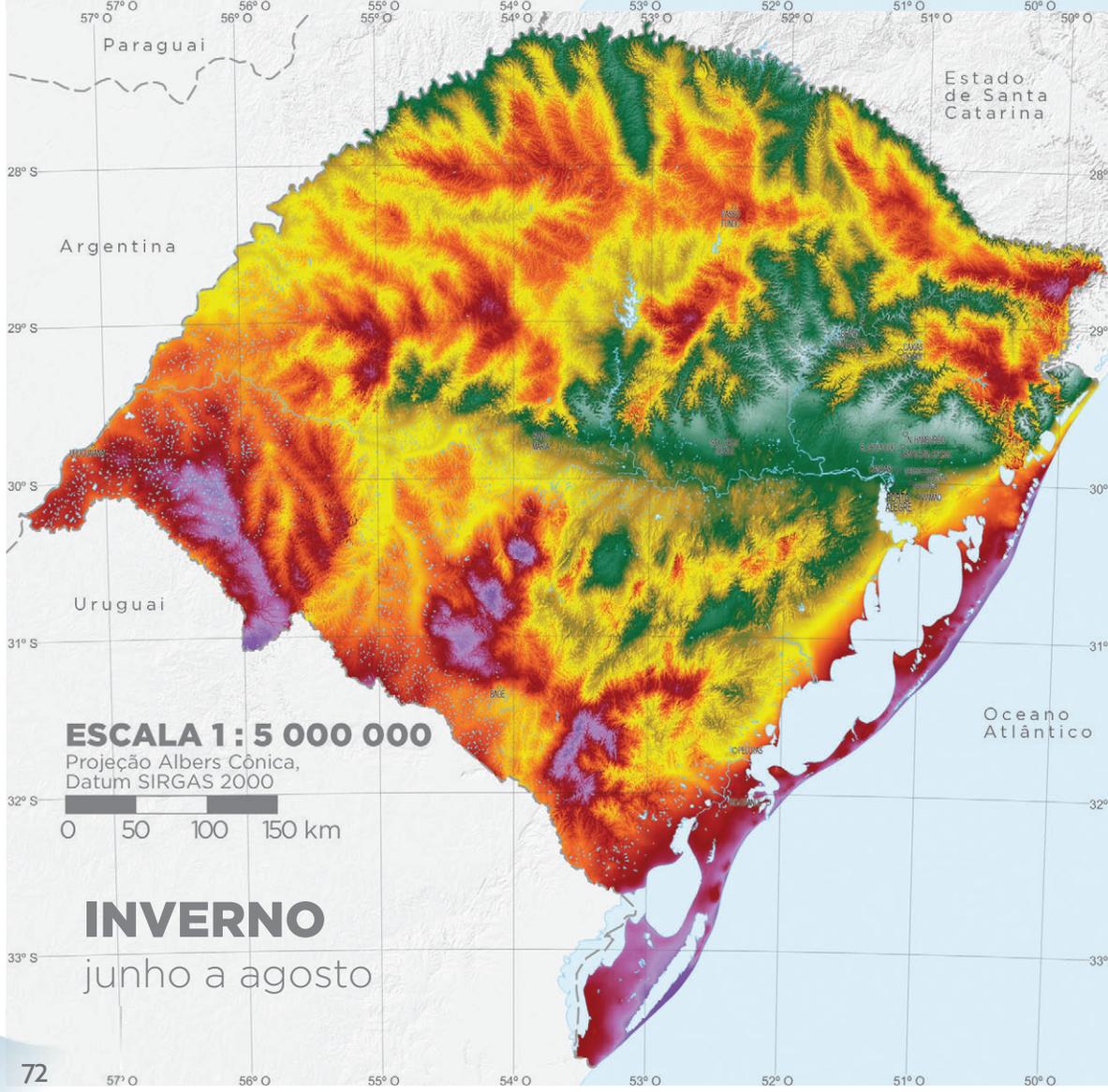


- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Sedes municipais
- Ferrovias
- Usinas ou pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em planejamento ou implantação*
- Subestações em operação
- Subestações em planejamento ou implantação
- Conversoras
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Área de proteção integral e terras indígenas



POTENCIAL EÓLICO SAZONAL
a 150 m de altura

MAPA 7.5

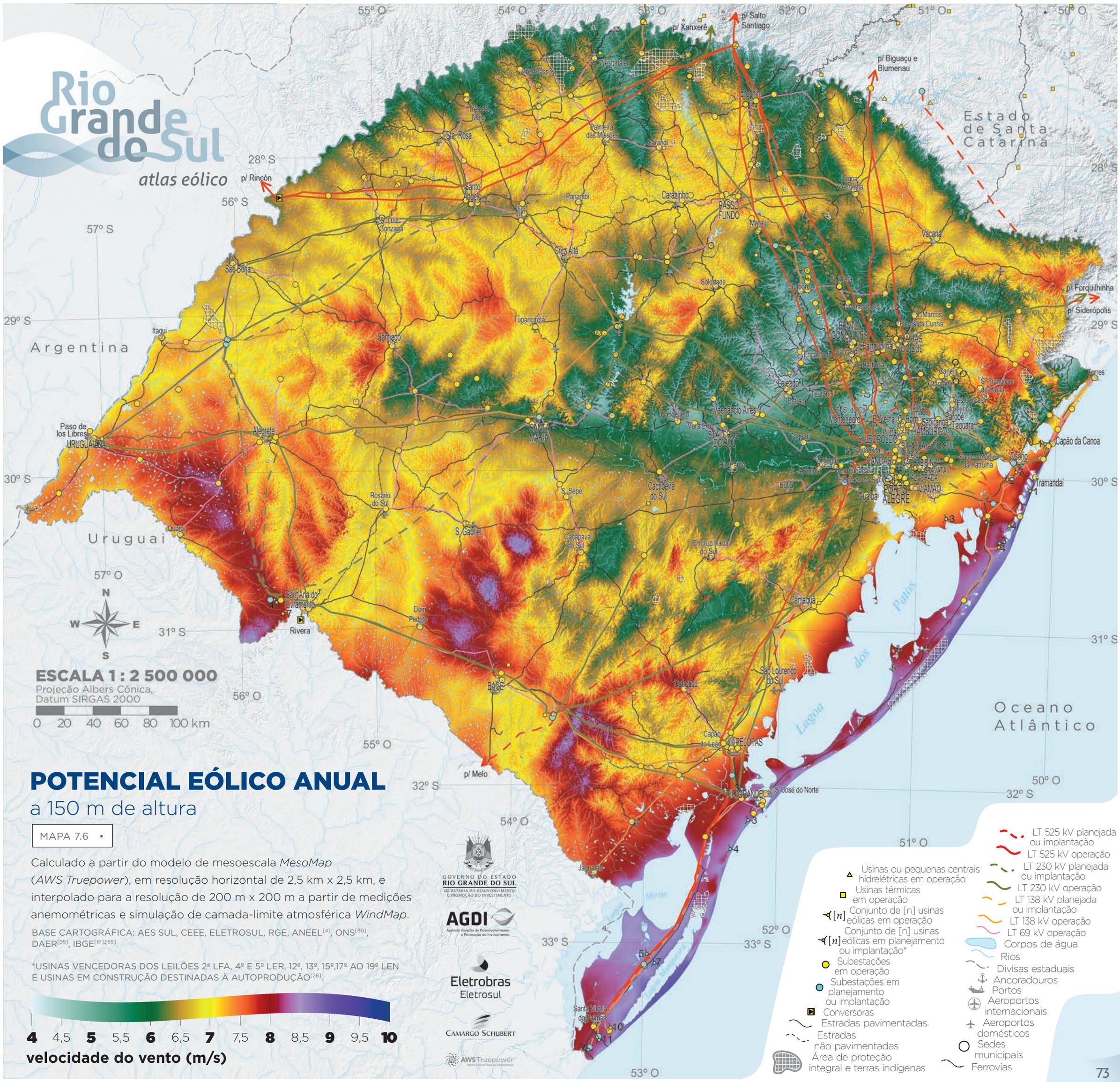


ESCALA 1: 5 000 000
Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000



Rio Grande do Sul

atlas eólico



POTENCIAL EÓLICO ANUAL

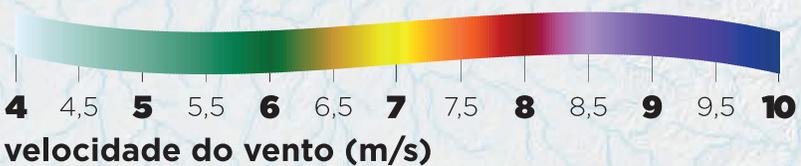
a 150 m de altura

MAPA 7.6

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: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^{[61],[65]}

*USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2º LFA, 4º E 5º LER, 12º, 13º, 15º, 17º AO 19º LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO^[26].



- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Ancoradouros
- Portos
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Sedes municipais
- Ferrovias
- Usinas ou pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em operação
- Conjunto de [n] usinas eólicas em planejamento ou implantação*
- Subestações em operação
- Subestações em planejamento ou implantação
- Conversoras
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Área de proteção integral e terras indígenas

POTENCIAL EÓLICO SOBRE LAGOAS E MAR (OFFSHORE)

a 100 m de altura e em águas com profundidade de até 50 m

MAPA 7.7

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 *onshore* e simulação de camada-limite atmosférica *WindMap*.

BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^{[61],[65]}, SRTM30 PLUS^[10]

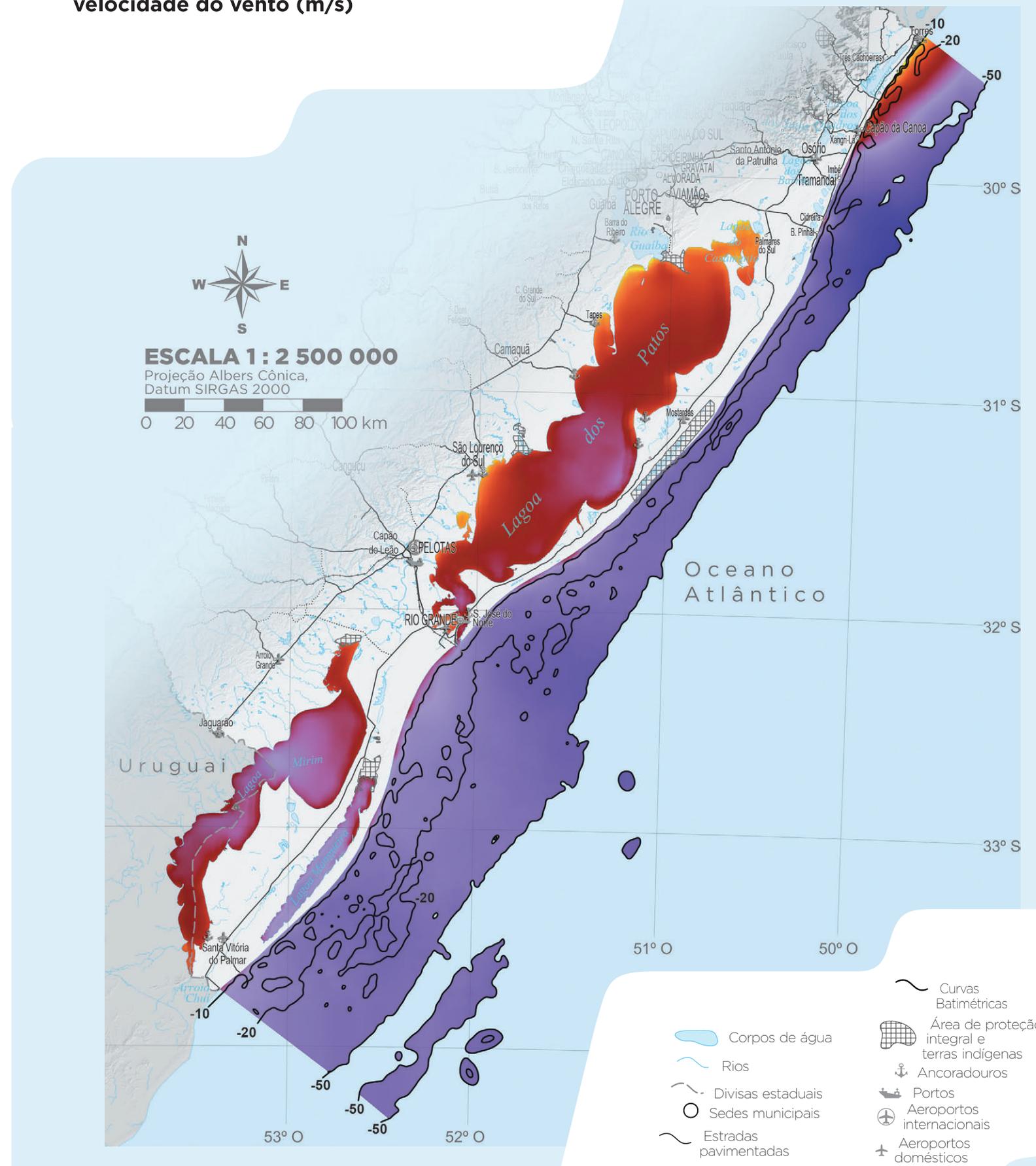
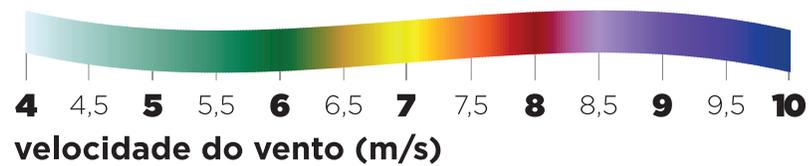




FIGURA 7.3 Lagoa dos Patos.



FIGURA 7.4 Lagoa Mangueira.



FIGURA 7.5 Farol do Chuf.



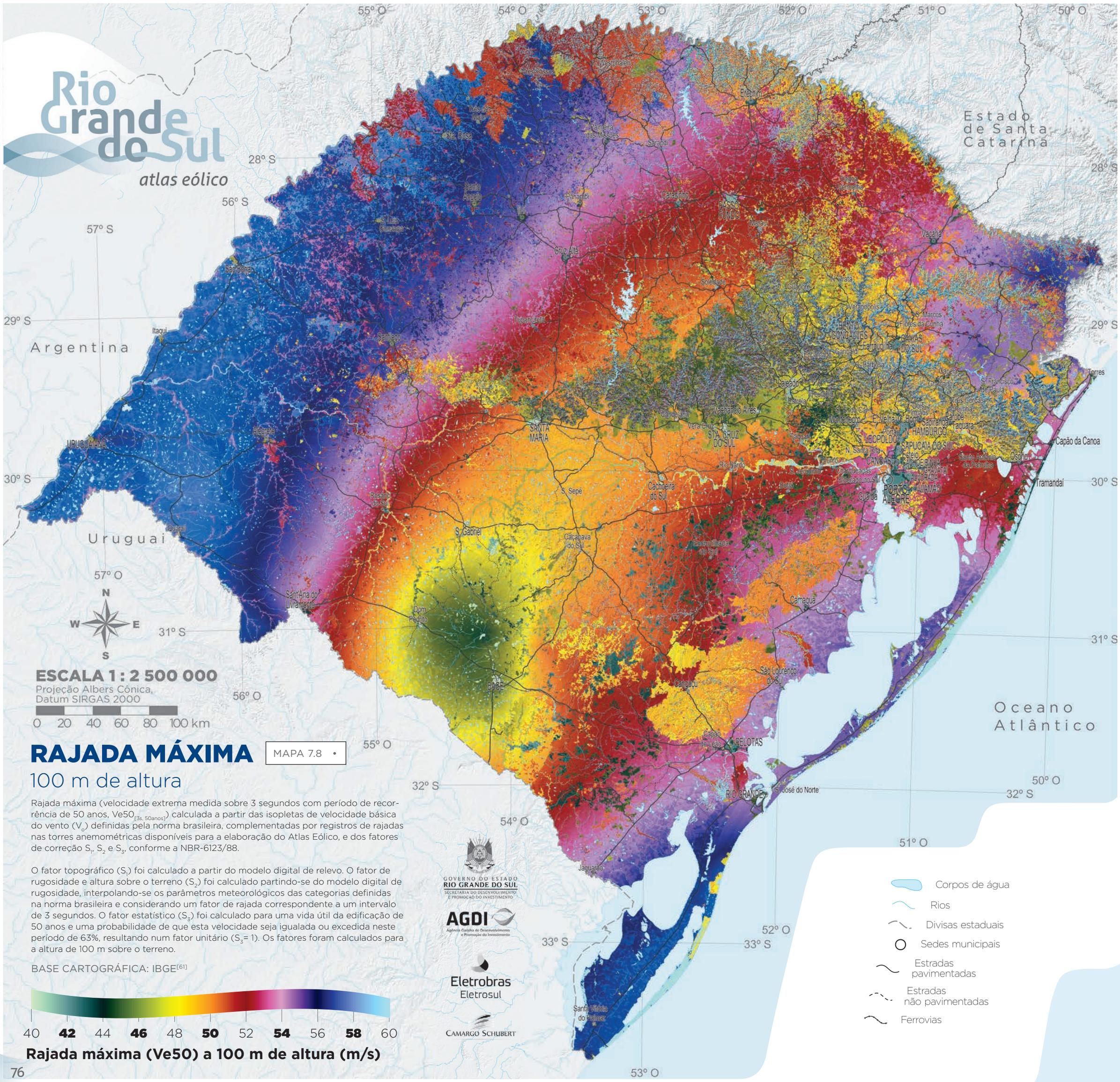
FIGURA 7.6 Construção de linha de transmissão de 525 kV entre Povo Novo e Marmeleiro, em trecho *offshore* sobre a Lagoa Mangueira, em desvio da Reserva do Taim.



FIGURA 7.7 Ponto extremo do litoral norte do Estado, em Torres.

Rio Grande do Sul

atlas eólico



RAJADA MÁXIMA

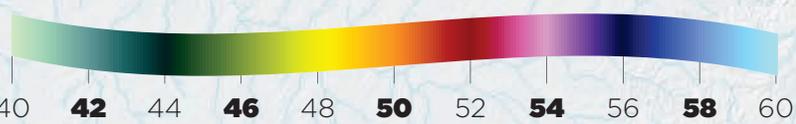
MAPA 7.8

100 m de altura

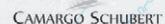
Rajada máxima (velocidade extrema medida sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, Ve_{50} _(3s, 50anos)) calculada a partir das isopletras de velocidade básica do vento (V_b) definidas pela norma brasileira, complementadas por registros de rajadas nas torres anemométricas disponíveis para a elaboração do Atlas Eólico, e dos fatores de correção S_1 , S_2 e S_3 , conforme a NBR-6123/88.

O fator topográfico (S_1) foi calculado a partir do modelo digital de relevo. O fator de rugosidade e altura sobre o terreno (S_2) foi calculado partindo-se do modelo digital de rugosidade, interpolando-se os parâmetros meteorológicos das categorias definidas na norma brasileira e considerando um fator de rajada correspondente a um intervalo de 3 segundos. O fator estatístico (S_3) foi calculado para uma vida útil da edificação de 50 anos e uma probabilidade de que esta velocidade seja igualada ou excedida neste período de 63%, resultando num fator unitário ($S_3=1$). Os fatores foram calculados para a altura de 100 m sobre o terreno.

BASE CARTOGRÁFICA: IBGE^[61]



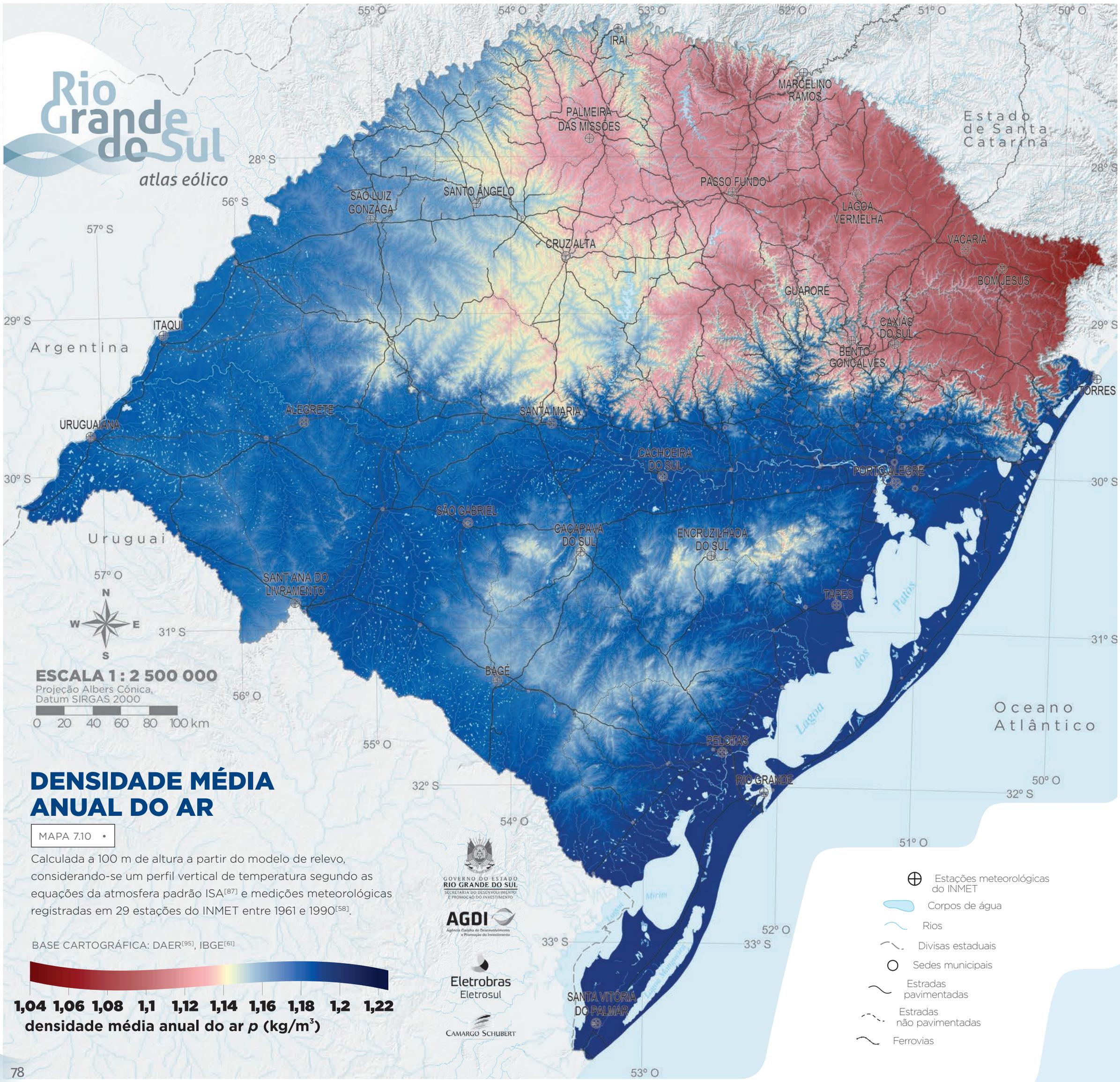
Rajada máxima (Ve_{50}) a 100 m de altura (m/s)



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

Rio Grande do Sul

atlas eólico



DENSIDADE MÉDIA ANUAL DO AR

MAPA 7.10

Calculada a 100 m de altura a partir do modelo de relevo, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da atmosfera padrão ISA^[87] e medições meteorológicas registradas em 29 estações do INMET entre 1961 e 1990^[58].

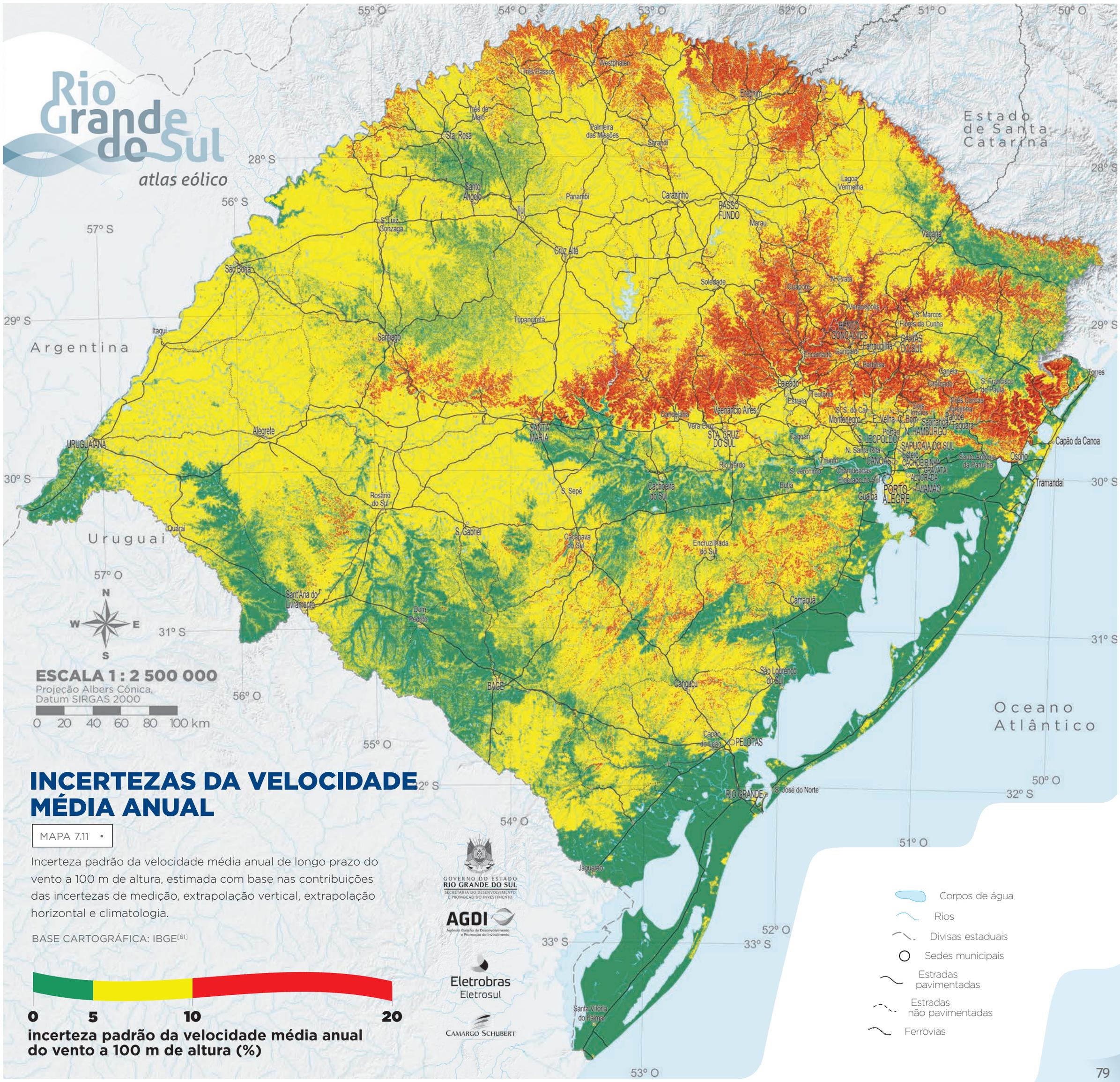
BASE CARTOGRÁFICA: DAER^[95], IBGE^[61]



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

Rio Grande do Sul

atlas eólico



INCERTEZAS DA VELOCIDADE MÉDIA ANUAL

MAPA 7.11

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.

BASE CARTOGRÁFICA: IBGE^[61]



incerteza padrão da velocidade média anual do vento a 100 m de altura (%)



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

8 - Análises e Diagnósticos



ZIG KOCH

FIGURA 8.1 Oeste da Lagoa Mangueira, em Santa Vitória do Palmar, em local onde há diversos projetos em desenvolvimento.

8.1 O POTENCIAL EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL

8.1.1 METODOLOGIA

O potencial eólico do Rio Grande do Sul foi calculado a partir da integração dos mapas de velocidades médias anuais, fator de forma da distribuição de Weibull e densidade média do ar. A metodologia para estimativa de energia usou técnicas de geoprocessamento e de cálculo de produção de energia de projetos eólicos. Nesses cálculos, foram utilizadas informações técnicas de diferentes fabricantes, tais como dimensões e curvas de potências. As curvas de potência calculadas são uma estimativa realista e representativa das turbinas eólicas atualmente disponíveis no mercado mundial, as quais refletem o estado da arte em projetos de aerogeradores.

A metodologia para esse processo, descrita a seguir, foi adaptada para corresponder da melhor maneira possível às condições reais de projetos no Estado do Rio Grande do Sul, pela assimilação conjunta de todas as premissas e informações disponíveis.

Levando em conta que aerogeradores são projetados com determinados limites operacionais definidos pelo fabricante e caracterizados em função das condições de vento de cada sítio eólico, o seguinte procedimento foi realizado no cálculo do potencial eólico:

1. Compilou-se um banco de dados com as curvas de potência dos aerogeradores adotados nos projetos de aproveitamento eólico no Rio Grande do Sul. Esse banco foi elaborado a partir de informações cedidas pelos fabricantes e a partir de um levantamento das características de projetos cadastrados para leilões públicos de compra e venda de energia elétrica promovidos nos últimos cinco anos.
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 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 por meio de ferramentas de geoprocessamento. Essas áreas foram: áreas com elevada declividade; áreas de proteção integral (parques, reservas indígenas); áreas sobre rios, lagos, e mar; áreas ocupadas por estradas, concentrações urbanas, localidades e povoados, áreas ao redor de sedes de fazendas, escolas, centros de carga e áreas muito próximas a linhas de transmissão. A base cartográfica utilizada para esse processamento é apresentada, neste atlas, nos mapas de infraestrutura de transportes (MAPA 2.2), do Sistema Elétrico (MAPA 2.3), de Unidades de Conservação (MAPA 4.1) e do modelo digital de relevo (MAPA 6.1). Complementarmente, foi utilizada a

base de pontos notáveis disponibilizada pela FEPAM^[51]. A sobreposição de todas as áreas excluídas do cálculo do potencial eólico é apresentada no MAPA 8.1.

4. A taxa média de ocupação do terreno restante (excluídas as áreas impossibilitadas) foi estimada com base em dados concretos de projetos de parques eólicos em diversas áreas do Rio Grande do Sul, conforme base georreferenciada pública de projetos autorizados pela ANEEL. A taxa utilizada foi de 2,6 MW/km², o que corresponde ao efetivamente utilizável nas áreas propícias para aproveitamentos eólicos. Esse valor, estimado para o Rio Grande do Sul, é característico das condições de competição em leilões de energia no Brasil, dentro das quais se prioriza a otimização financeira do projeto, com consequente diminuição na taxa de ocupação.
5. Os cálculos de produção energética e fator de capacidade médio contemplaram 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 7.10).
6. A distribuição estatística da velocidade do vento foi considerada por meio dos fatores de forma de Weibull locais (MAPA 7.9).
7. Finalmente, estimaram-se perdas na geração de energia devido às indisponibilidades das máquinas, além de perdas aerodinâmicas e elétricas. Os valores considerados foram: disponibilidade média de turbinas de 97%, disponibilidade da rede elétrica de 99,3%, perdas por degradação das pás e de desempenho de 1,3%, eficiência aerodinâmica de 91% e fator de perdas elétricas de 3% da energia efetivamente gerada.

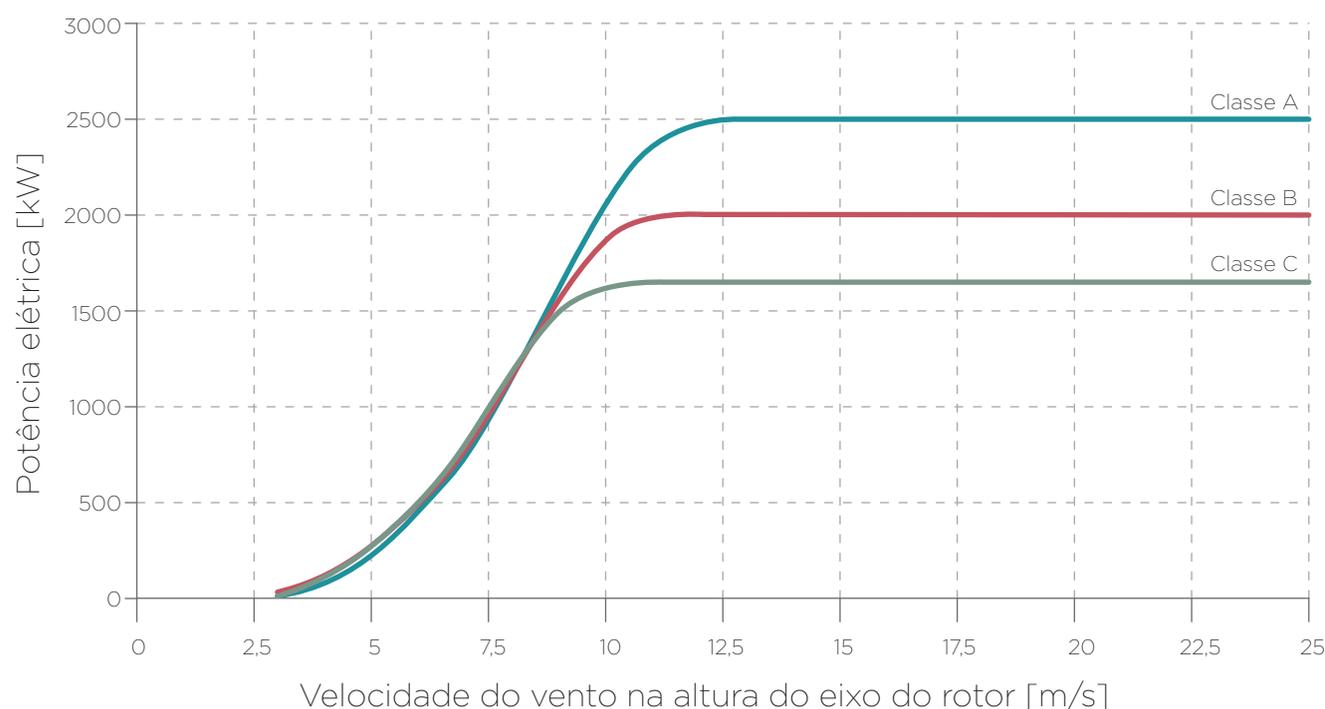
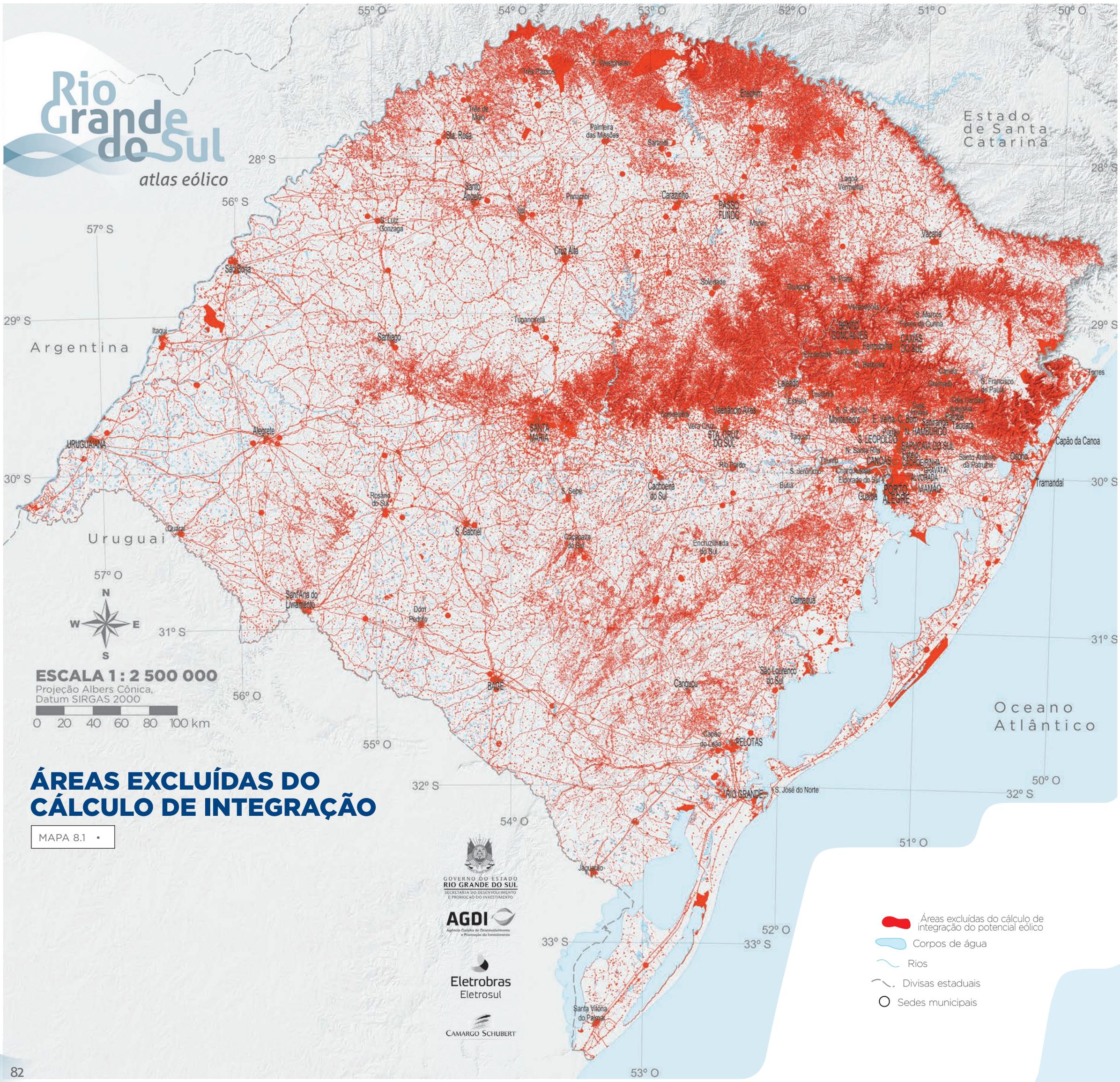


GRÁFICO 8.1 Curvas de potência consideradas no cálculo, representativas das máquinas comercializadas no Rio Grande do Sul.

Rio Grande do Sul

atlas eólico



Argentina

Estado de Santa Catarina

Uruguai

Oceano Atlântico



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

0 20 40 60 80 100 km

ÁREAS EXCLUÍDAS DO CÁLCULO DE INTEGRAÇÃO

MAPA 8.1 •



- Áreas excluídas do cálculo de integração do potencial eólico
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Sedes municipais

8.1.2 POTENCIAL EÓLICO SOBRE O SOLO (ONSHORE)

A TABELA 8.1 apresenta o resultado da integração dos mapas com o potencial eólico do Estado do Rio Grande do Sul.

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 o Rio Grande do Sul possui um potencial eólico de grande magnitude, com capacidade instalável em solo firme (*onshore*) estimada em 103 GW a 100 m de altura, em locais com velocidades

médias superiores a 7,0 m/s, correspondendo a uma produção energética estimada em 382 TWh/ano. Como referência, o parque gerador brasileiro, incluindo todas as fontes, totaliza 131 GW^[2], tendo gerado, em 2013, 570 TWh^[43].

Os números sugerem que, a despeito da já consolidada carteira de projetos de vários gigawatts, o Rio Grande do Sul ainda possui um grande potencial a ser explorado.

POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA EM SOLO FIRME (ONSHORE)

TABELA 8.1

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]
100	6,0 - 6,5	51.184	133,1	31%	376	≥ 6,0	152.325	396,1	1.283
	6,5 - 7,0	61.612	160,2	36%	525	≥ 6,5	101.141	263,0	907
	7,0 - 7,5	25.080	65,2	40%	238	≥ 7,0	39.529	102,8	382
	7,5 - 8,0	11.830	30,8	42%	118	≥ 7,5	14.450	37,6	144
	8,0 - 8,5	2.105	5,5	42%	21	≥ 8,0	2.620	6,8	26
	8,5 - 9,0	515	1,3	43%	5	≥ 8,5	515	1,3	5
	> 9,0	0	0	0%	0	≥ 9,0	0	0	0
150	6,0 - 6,5	27.417	71,3	32%	208	≥ 6,0	177.375	461,2	1.593
	6,5 - 7,0	55.616	144,6	36%	474	≥ 6,5	149.958	389,9	1.385
	7,0 - 7,5	59.583	154,9	40%	564	≥ 7,0	94.342	245,3	911
	7,5 - 8,0	20.465	53,2	42%	204	≥ 7,5	34.759	90,4	347
	8,0 - 8,5	11.720	30,5	42%	117	≥ 8,0	14.294	37,2	143
	8,5 - 9,0	2.379	6,2	43%	24	≥ 8,5	2.575	6,7	26
	> 9,0	196	0,5	46%	2	≥ 9,0	196	0,5	2

POTENCIAL EÓLICO SOBRE A ÁGUA (OFFSHORE)

TABELA 8.2

A 100 m DE ALTURA, EM LOCAIS COM VELOCIDADES MAIORES QUE 7 m/s

		Área (km ²)	Potência Instalável (GW)	Energia Anual (TWh)	
LAGOAS	dos Patos	9.427	24,5	90,4	
	Mirim	2.834	7,3	26,8	
	Mangueira	802	2,1	7,7	
	TOTAL LAGOAS	13.063	33,9	124,9	
MAR	Profundidade:	Entre 0 m e 10 m	1.443	2,9	14,0
		Entre 10 m e 20 m	9.019	26,1	88,9
		Entre 20 m e 50 m	20.436	51,3	202,5
	TOTAL MAR	30.898	80,3	305,4	

8.1.3 POTENCIAL EÓLICO SOBRE A ÁGUA (OFFSHORE)

Na avaliação do potencial eólico *offshore*, a profundidade da lâmina d'água é um fator determinante na avaliação de projetos eólicos. As tecnologias mais comuns na instalação de plantas nessa modalidade beneficiam-se de profundidades dentre 20 m e 50 m, suficientes para permitir o calado de grandes guindastes flutuantes para a montagem das turbinas, por outro lado suficientemente rasas para fundações do tipo jaqueta ou monopilar, que são as economicamente mais viáveis, com tecnologia similar à empregada em plataformas petrolíferas. Desenvolvimentos recentes em tecnologias para montagem de parques eólicos sobre águas muito rasas (menos do que 10 m de profundidade)^[115] poderão futuramente viabilizar projetos sobre as lagoas do Rio Grande do Sul, de profundidades médias menores do que 7 m^{[7], [83]}. Combinadas, essas lagoas possuem um potencial eólico estimado em 34 GW, em locais com velocidades

8 · Análises e Diagnósticos

maiores que 7,0 m/s, a 100 m de altura. As estimativas de geração anual e potencial por lagoa são apresentadas na TABELA 8.2.

O litoral do Estado do Rio Grande do Sul conta com mais de 600 km de extensão do Chuí até Torres, detendo uma Zona Econômica Exclusiva com mais de 200.000 km². O potencial eólico *offshore* do Rio Grande do Sul foi calculado para a área da plataforma continental que está localizada no seu mar territorial. Na tabela, o potencial eólico é integralizado por faixas de batimetria (10 m, 20 m e 50 m) e totalizado no limite de 50 metros de lâmina d'água.

Os resultados indicam que o Rio Grande do Sul possui potencial eólico de grande magnitude, com capacidade instalável estimada em 80 GW a 100 m de altura, para lâminas d'água de até 50 metros de profundidade, e considerando-se velocidades médias superiores a 7,0 m/s, correspondendo a uma produção energética estimada em 305 TWh/ano.

8.1.4 POTENCIAL EÓLICO POR MESORREGIÕES, MICRORREGIÕES E MUNICÍPIOS

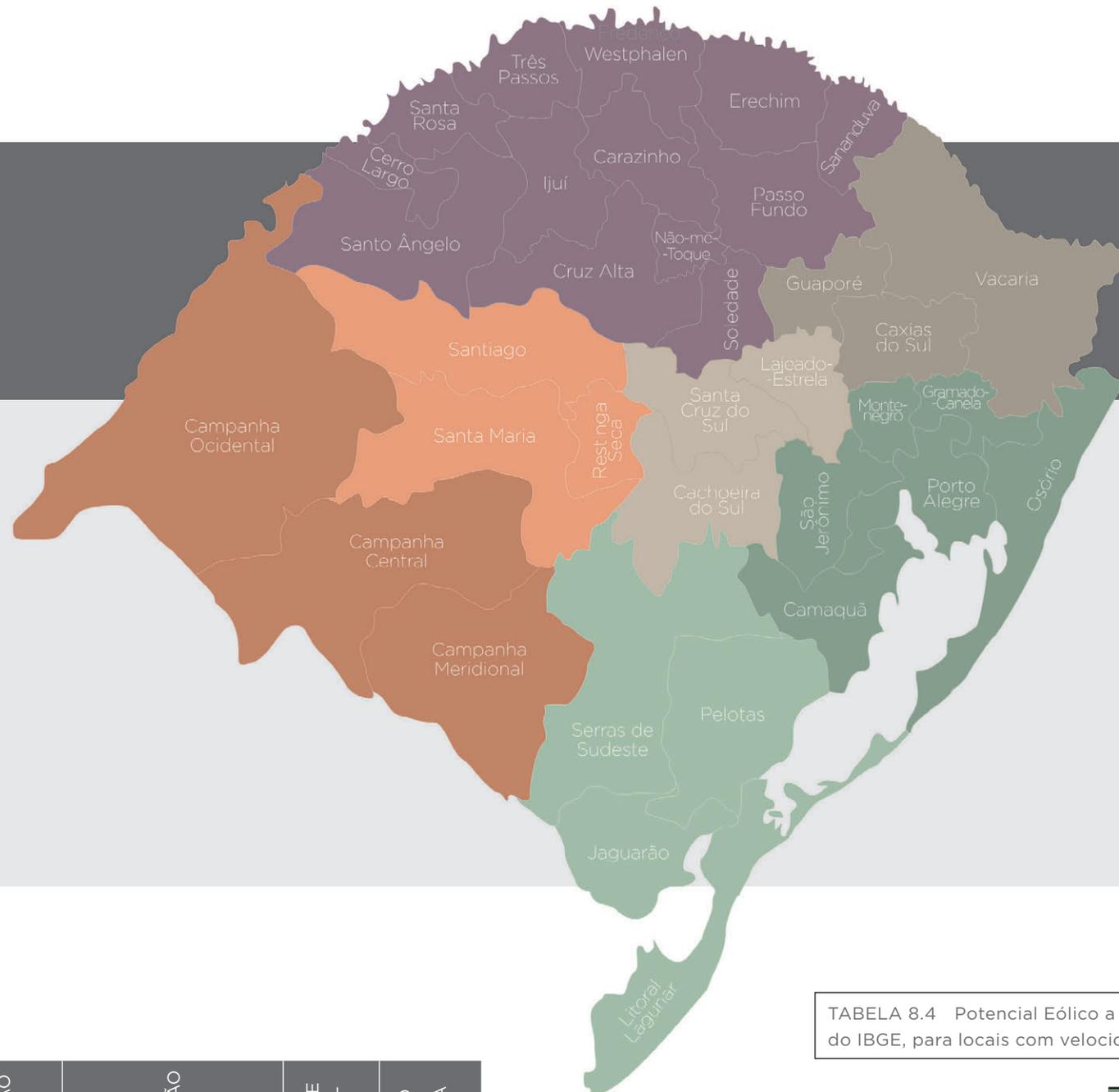
Como informação auxiliar às políticas públicas e setoriais para o desenvolvimento da energia eólica como, por exemplo, o planejamento de projetos e de expansão do sistema elétrico do Rio Grande do Sul, apresenta-se nas tabelas a seguir o potencial eólico do Estado dividido por mesorregiões, microrregiões* e municípios, segundo a nomenclatura do IBGE^[65]. Para auxiliar na visualização, a localização das mesorregiões e microrregiões é apresentada no MAPA 8.2.

*A DIVISÃO TERRITORIAL DO BRASIL EM MICRORREGIÕES E MESORREGIÕES ADOTADA PELO IBGE TEM FINS DE USO PRÁTICO EM ESTATÍSTICA, AGRUPANDO MUNICÍPIOS LÍMITROFES COM BASE EM SIMILARIDADES ECONÔMICAS E SOCIAIS.

**SOMENTE ESTÃO LISTADOS OS MUNICÍPIOS COM POTENCIAL EÓLICO ESTIMADO SUPERIOR A 30 MW.

TABELA 8.3 Rio Grande do Sul: Potencial Eólico por Municípios**, para locais com velocidades maiores que 7,0 m/s, a 100 m de altura.

MESORREGIÃO	MICRORREGIÃO	NOME DO MUNICÍPIO	CAPACIDADE INSTALÁVEL [GW]	PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA [MWh]	
SUDESTE RIO-GRANDENSE	Campanha Central	Sant'Ana do Livramento	7,03	26.476	
		São Gabriel	2,11	7.760	
		Rosário do Sul	1,70	6.252	
		Santa Margarida do Sul	0,72	2.675	
		Dom Pedrito	4,62	17.264	
	Campanha Meridional	Lavras do Sul	2,76	10.272	
		Bagé	1,74	6.485	
		Hulha Negra	0,60	2.211	
		Aceguá	0,27	956	
		Uruguaiana	7,24	27.486	
	Campanha Ocidental	Alegrete	7,05	26.212	
		Quaraí	4,74	18.282	
		Barra do Quaraí	1,05	3.805	
		São Francisco de Assis	0,99	3.675	
		Manoel Viana	0,41	1.488	
		Maçambará	0,09	312	
		Itaqui	0,08	273	
	SUDESTE RIO-GRANDENSE	Jaguarão	Arroio Grande	4,57	16.768
			Jaguarão	3,58	13.342
			Herval	2,24	8.348
Pedras Altas			1,73	6.568	
Litoral Lagunar		Santa Vitória do Palmar	9,99	37.856	
		Rio Grande	5,74	21.515	
		São José do Norte	2,29	8.553	
		Chuí	0,46	1.728	
Pelotas		Canguçu	1,11	4.137	
		Pelotas	0,49	1.820	
		Capão do Leão	0,43	1.550	
		Pedro Osório	0,35	1.245	
		São Lourenço do Sul	0,27	960	
	Turuçu	0,10	358		
Serras de Sudeste	Pinheiro Machado	2,19	8.252		
	Piratini	1,68	6.146		
	Candiota	0,47	1.708		
	Encruzilhada do Sul	0,18	639		
	Santana da Boa Vista	0,07	248		
		Caçapava do Sul	0,05	177	
METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE	Camaquã	Camaquã	0,93	3.482	
		Arambaré	0,60	2.230	
		Tapes	0,53	1.922	
		Dom Feliciano	0,18	627	
		Barra do Ribeiro	0,04	131	
	Gramado-Canela	Riozinho	0,03	106	
	Osório	Mostardas	3,78	14.069	
		Palmares do Sul	1,94	7.175	
		Tavares	0,86	3.207	
		Osório	0,57	2.043	
		Capivari do Sul	0,44	1.548	
		Cidreira	0,39	1.415	
		Tramandaí	0,21	758	
		Balneário Pinhal	0,11	399	
		Santo Antônio da Patrulha	0,07	242	
		Capão da Canoa	0,07	233	
		Xangri-Lá	0,05	196	
		Imbé	0,04	131	
	Porto Alegre	Arroio do Sal	0,03	116	
	São Jerônimo	Viamão	0,30	1.059	
	São Jerônimo	São Jerônimo	0,15	520	
	CENTRO OCIDENTAL RIO-GRANDENSE	Santa Maria	Vila Nova do Sul	0,74	2.745
			São Sepé	0,48	1.772
			Cacequi	0,18	636
		Santiago	São Martinho da Serra	0,07	253
			Tupanciretã	1,51	5.512
			Santiago	0,98	3.579
			Unistalda	0,72	2.680
			Capão do Cipó	0,24	857
			Itacurubi	0,16	584
Júlio de Castilhos			0,06	218	
NOROESTE RIO-GRANDENSE	Cruz Alta	Jóia	0,91	3.321	
		Espumoso	0,27	955	
	Santo Angelo	Jacuizinho	0,04	129	
		São Miguel das Missões	0,08	273	
		Girúá	0,04	152	
Soledade	Senador Salgado Filho	0,04	134		
	Soledade	0,38	1.354		
NORDESTE RIO-GRANDENSE	Vacaria	Barros Cassal	0,05	177	
		São Francisco de Paula	1,88	6.646	
		São José dos Ausentes	0,61	2.104	
		Cambará do Sul	0,17	590	
		Bom Jesus	0,12	405	



- Noroeste Rio-Grandense
- Nordeste Rio-Grandense
- Centro Oriental Rio-Grandense
- Metropolitana de Porto Alegre
- Sudeste Rio-Grandense
- Centro Ocidental Rio-Grandense
- Sudoeste Rio-Grandense

Rio Grande do Sul: Mesorregiões e Microrregiões* do IBGE

MAPA 8.2

BASE CARTORÁFICA: IBGE^[65]

TABELA 8.4 Potencial Eólico a 100 m de altura, por microrregiões** e por mesorregiões do IBGE, para locais com velocidades maiores que 7,0 m/s.

MESORREGIÃO	MICRORREGIÃO	CAPACIDADE INSTALÁVEL (GW)	PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA (MWh)
SUDOESTE RIO-GRANDENSE	Campanha Ocidental	21,66	81.616
	Campanha Central	11,55	43.162
	Campanha Meridional	9,99	37.188
	TOTAL	43,20	161.996
SUDESTE RIO-GRANDENSE	Litoral Lagunar	18,48	69.652
	Jaguarão	12,12	45.027
	Serras de Sudeste	4,63	17.171
	Pelotas	2,75	10.087
	TOTAL	37,97	141.937

NORDESTE RIO-GRANDENSE	Vacaria	2,80	9.792
	TOTAL	2,80	9.806
CENTRO OCIDENTAL RIO-GRANDENSE	Santiago	3,71	13.546
	Santa Maria	1,47	5.408
	TOTAL	5,18	18.995
CENTRO ORIENTAL RIO-GRANDENSE	Cachoeira do Sul	0,03	112
	TOTAL	0,03	112

METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE	Osório	8,65	31.883
	Camaquã	2,27	8.392
	Porto Alegre	0,30	1.061
	São Jerônimo	0,16	574
	Gramado-Canela	0,04	150
TOTAL	11,42	42.059	
NOROESTE RIO-GRANDENSE	Cruz Alta	1,21	4.408
	Soledade	0,49	1.735
	Santo Ângelo	0,18	616
	Ijuí	0,05	187
	Três Passos	0,03	117
	TOTAL	2,01	7.203

*A DIVISÃO TERRITORIAL DO BRASIL EM MICRORREGIÕES E MESORREGIÕES ADOTADA PELO IBGE TEM FINS DE USO PRÁTICO EM ESTATÍSTICA, AGRUPANDO MUNICÍPIOS LÍMITROFES COM BASE EM SIMILARIDADES ECONÔMICAS E SOCIAIS.**SOMENTE ESTÃO LISTADAS AS MICRORREGIÕES COM POTENCIAL EÓLICO ESTIMADO SUPERIOR A 30 MW.

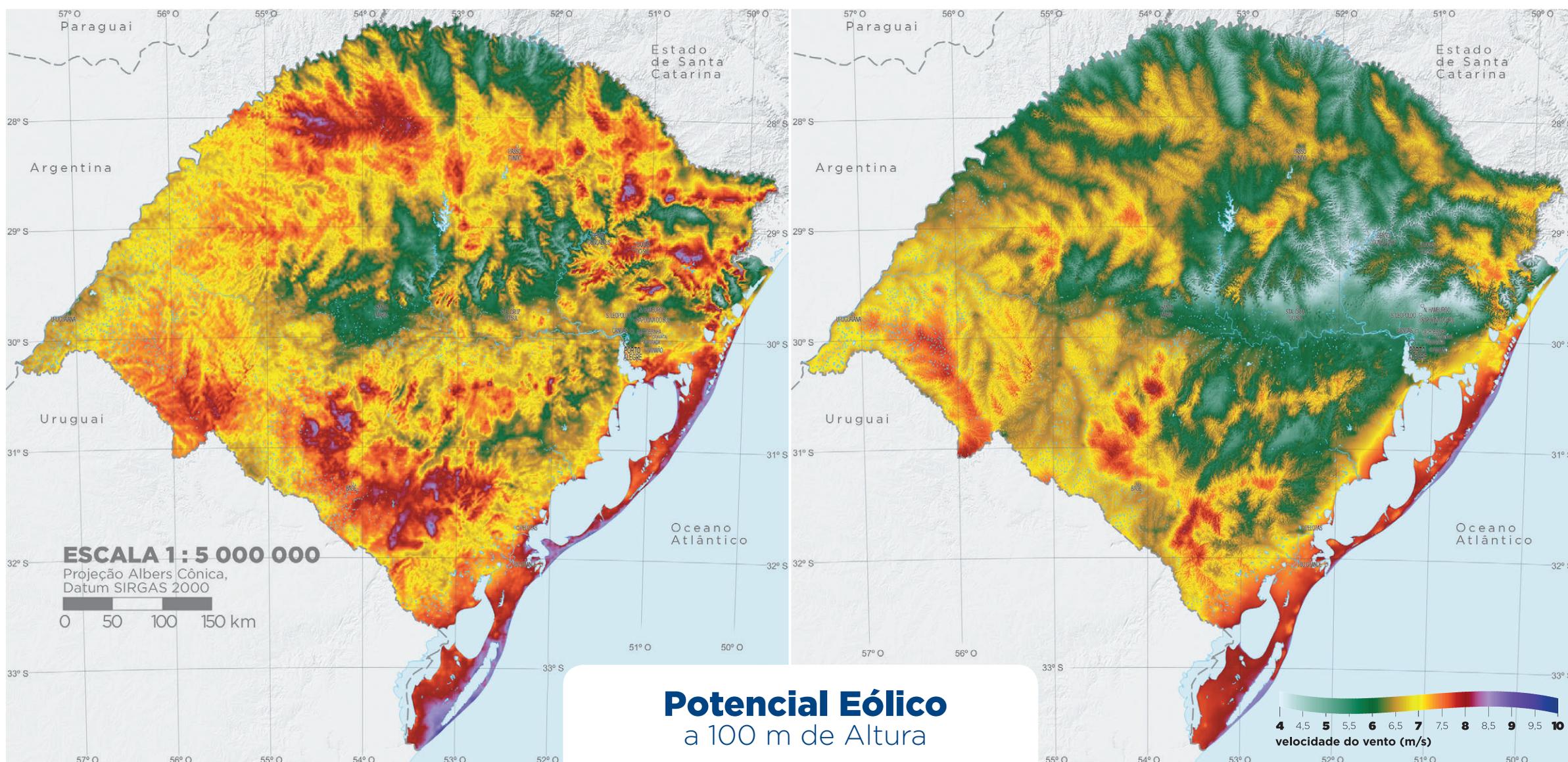
8 · Análises e Diagnósticos

8.1.5 COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO ATLAS EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2002

Conforme observado no Capítulo 6, houve consideráveis modificações na metodologia e critérios adotados para o mapeamento e avaliação do potencial eólico do Rio Grande do Sul em relação ao estudo predecessor, elaborado também pela Camargo-Schubert, em 2002. O MAPA 8.3 e a TABELA 8.5 confrontam os resultados desses dois trabalhos.

COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPEAMENTOS DO RIO GRANDE DO SUL elaborados em 2002 e em 2014

MAPA 8.3 ·



Atlas do Potencial Eólico do RS SEMC 2002

Mapeamento para velocidades maiores que 7,0 m/s	Atlas 2002	Atlas 2014
Potência Instalável (GW)	115	103
Energia Anual (TWh)	247	382

Atlas do Potencial Eólico do RS AGDI 2014

TABELA 8.5 Comparação entre o Potencial Eólico estimado em 2002 e o estimado em 2014.

8.2 ÁREAS PROMISSORAS

O novo mapa eólico do Rio Grande do Sul confirma grande parte das áreas promissoras indicadas pela primeira versão do mapeamento de 2002^[7], desta-

cando-se as extensas áreas próximas à fronteira com o Uruguai, em todo o litoral e no nordeste do Estado, na Serra Gaúcha. No interior, no Planalto das Missões, o novo modelamento dos ventos sugere que ainda pode haver locais propícios ao desenvolvimento de parques eólicos ao redor dos municípios de Santiago e Tupanciretã, sendo importante observar que, nesses

locais, o mapeamento não foi validado por medições, caracterizando maiores incertezas.

A seguir, apresenta-se uma breve descrição individual dessas áreas, ilustrada por fotografias e acompanhada de informações específicas sobre o potencial eólico e infraestrutura.

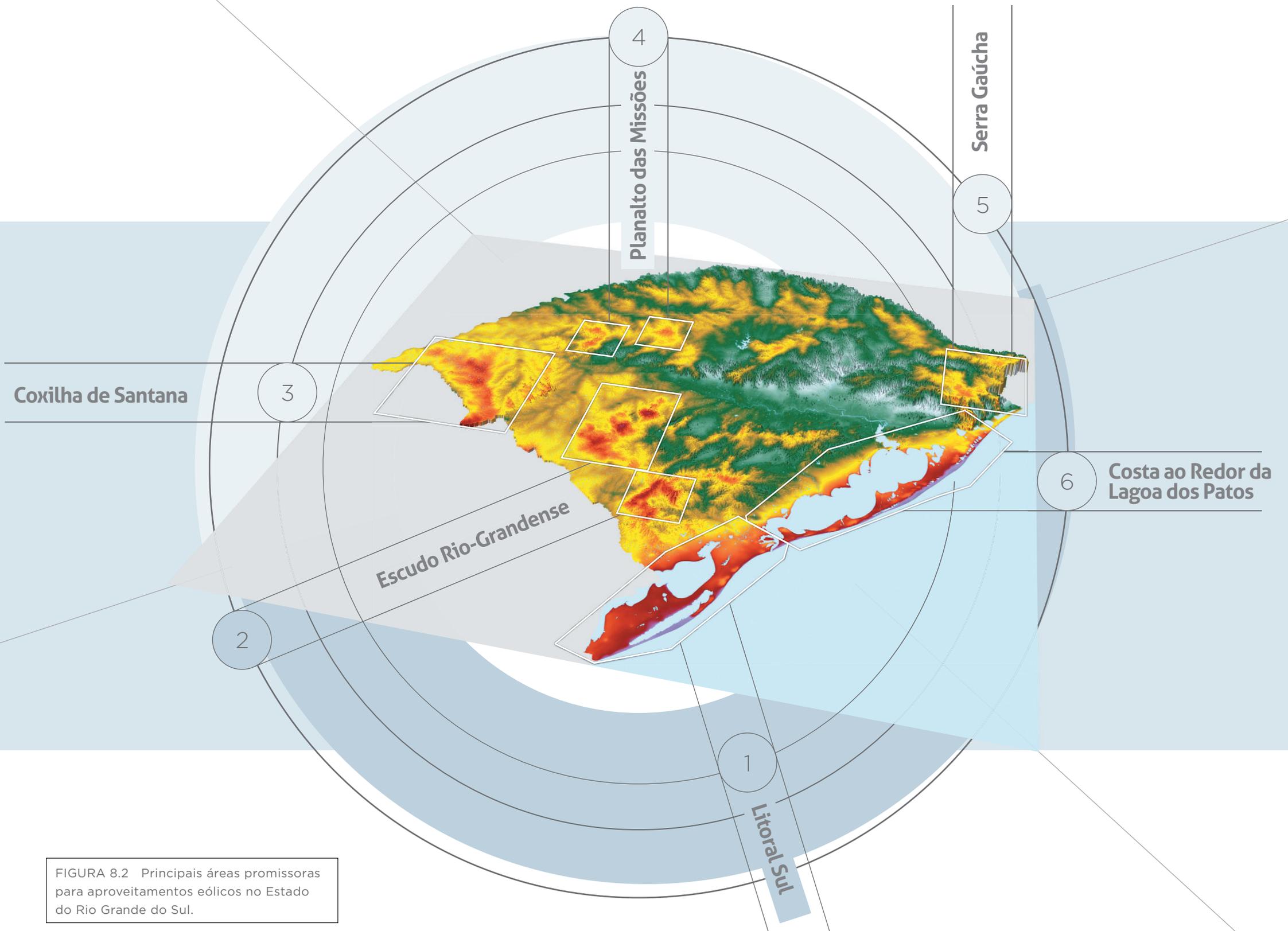
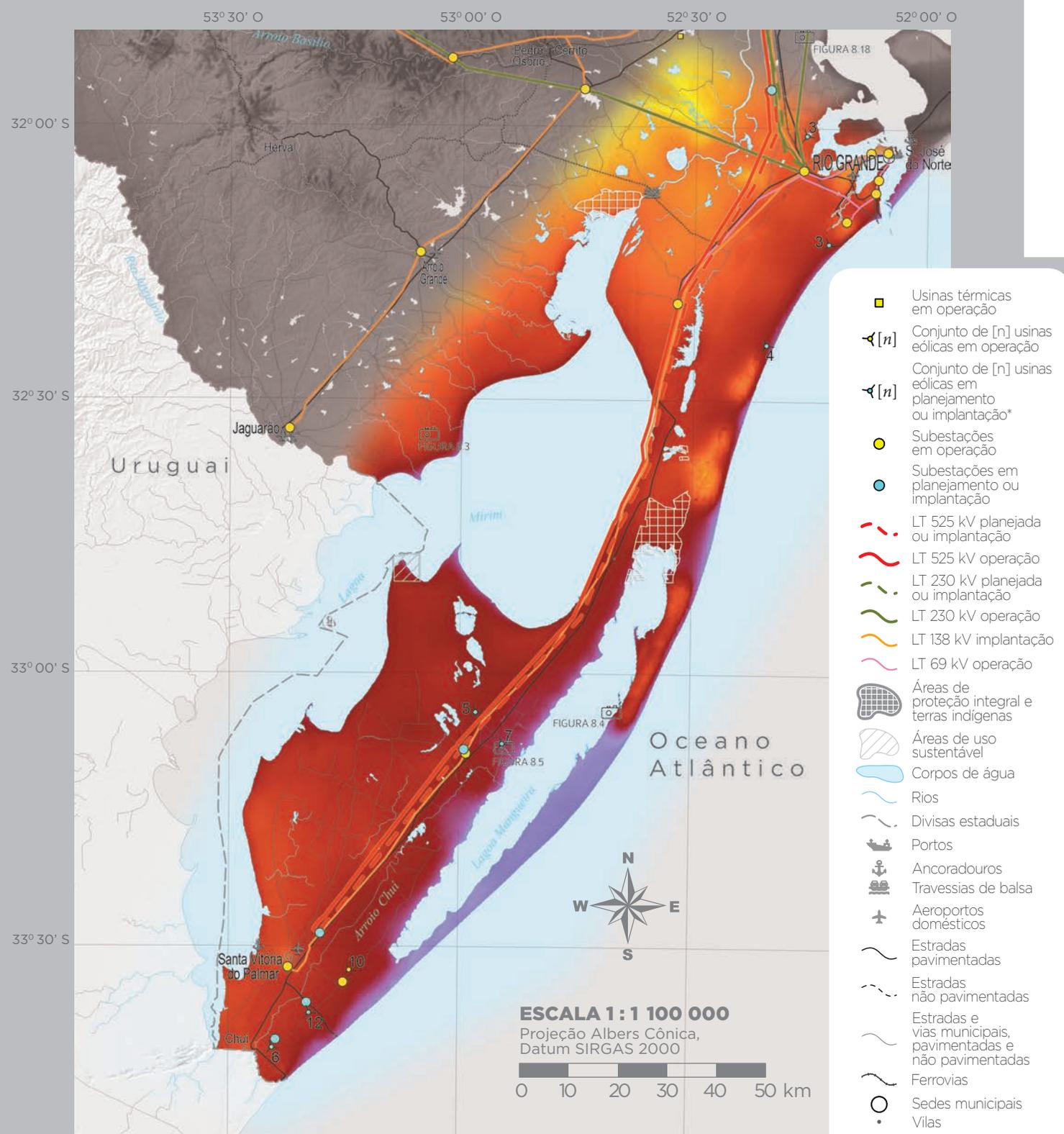


FIGURA 8.2 Principais áreas promissoras para aproveitamentos eólicos no Estado do Rio Grande do Sul.

8 · Análises e Diagnósticos

8.2.1 ÁREA 1: LITORAL SUL

MAPA 8.4



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^[61], [65]
 *USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2ª LFA, 4ª E 5ª LER, 12ª, 13ª, 15ª, 17ª AO 19ª LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO^[26].

Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

19 GW



A extensa planície costeira do litoral sul rio-grandense apresenta excelente potencial para o desenvolvimento de empreendimentos eólicos, os quais já se encontram na região. Os ventos médios anuais variam entre 7,5 m/s a 8,5 m/s, a 100 m de altura. O potencial da região é favorecido pela baixa rugosidade do terreno, coberto por restinga baixa, dunas, pastagens e atividades agrícolas, dentre as quais predomina a cultura de arroz. As FIGURAS 8.3 a 8.5 mostram áreas típicas da região.

As áreas destacadas no mapa com velocidades do vento superiores a 7,0 m/s a 100 metros de altura podem comportar potência instalável da ordem de 19 GW. Destacam-se nessa área as cidades de Pelotas (328,2 mil habitantes)^[63], Rio Grande (197,2 mil habitantes), Santa Vitória do Palmar (30,9 mil habitantes) e Chuí (5,9 mil habitantes). Os primeiros parques eólicos (FIGURA 5.7) serão servidos pelas subestações de Santa Vitória do Palmar, Marmeleiro e Povo Novo (FIGURA 2.8), todas em 525 kV, e conectadas a linhas de transmissão de 138 kV e 525 kV, conforme já mencionado no Capítulo 2. A principal via de acesso à região é a rodovia BR-471 (FIGURA 2.7).

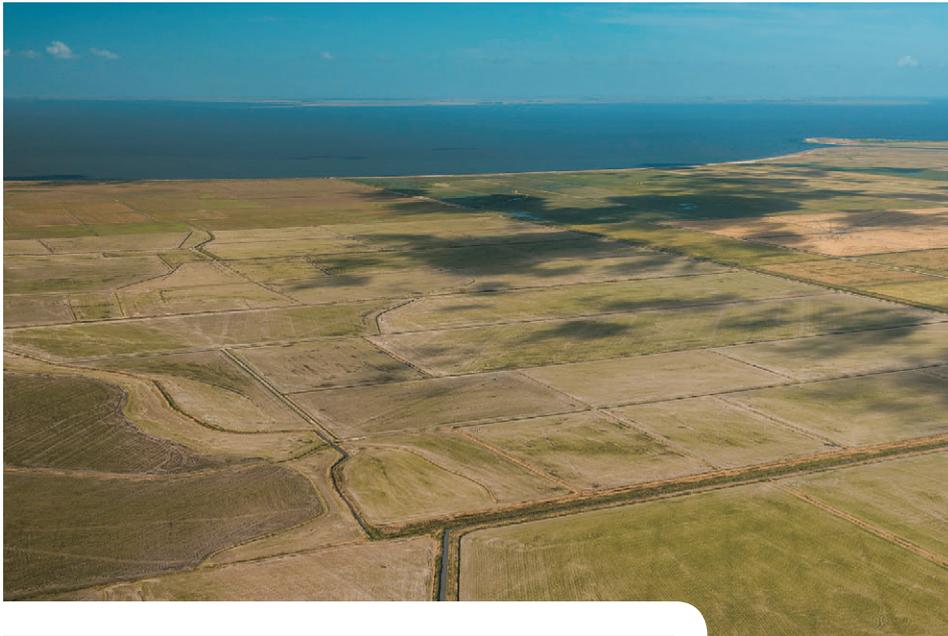


FIGURA 8.3 Lagoa Mirim, vista a partir de Jaguarão, em área onde há vários projetos eólicos em desenvolvimento.



FIGURA 8.4 Estreita faixa de terra e dunas entre Lagoa Mangueira e Oceano Atlântico, em Santa Vitória do Palmar; a região apresenta grande potencial eólico, mas há restrições ambientais nas áreas onde há dunas.

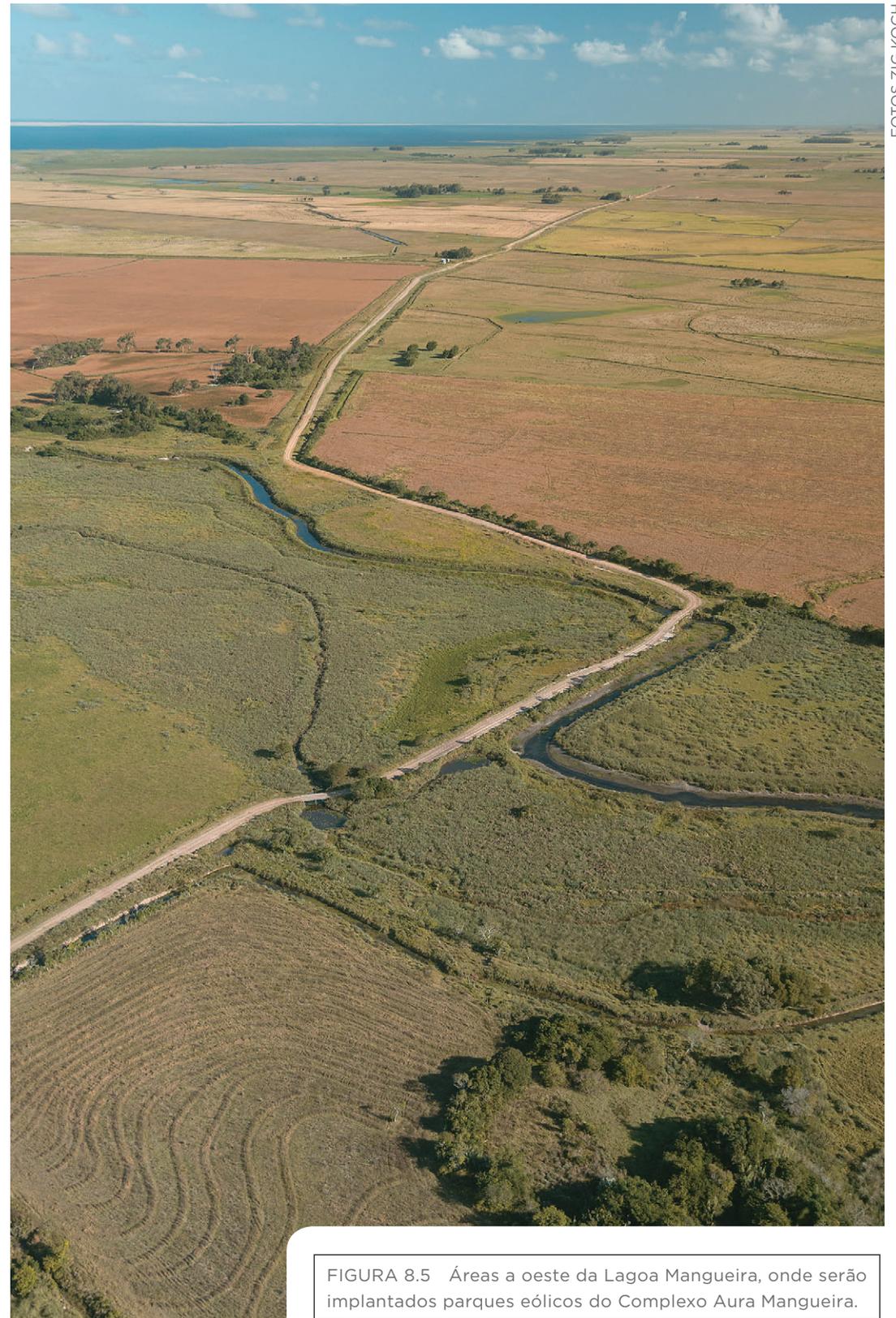
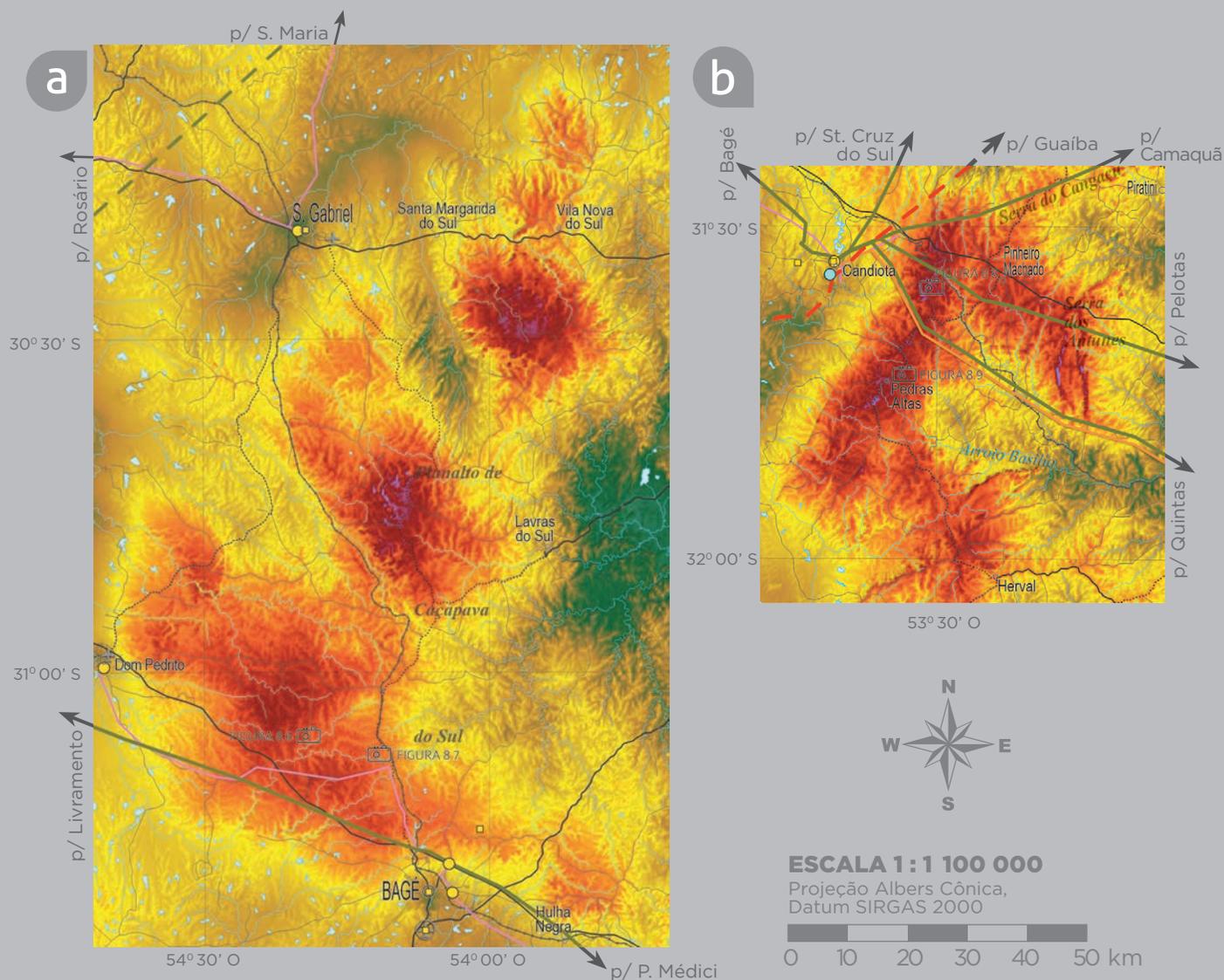


FIGURA 8.5 Áreas a oeste da Lagoa Mangueira, onde serão implantados parques eólicos do Complexo Aura Mangueira.

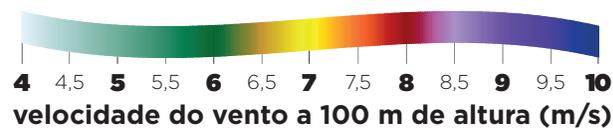
8 · Análises e Diagnósticos

8.2.2 ÁREA 2: ESCUDO RIO GRANDENSE

MAPA 8.5



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^[61], [65]



Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

19 GW



- | | |
|--|---|
| ■ Usinas térmicas em operação | Corpos de água |
| ● Subestações em operação | Rios |
| ● Subestações em planejamento ou implantação | Estradas pavimentadas |
| — LT 525 kV planejada ou implantação | Estradas não pavimentadas |
| — LT 230 kV planejada ou implantação | Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas |
| — LT 230 kV operação | Ferrovias |
| — LT 69 kV operação | Aeroportos internacionais |
| — LT 138 kV implantação | Aeroportos domésticos |
| ○ Sedes municipais | Vilas |
| | Fotos |

Nesta região, também denominada de Serra do Sudeste, alternam-se as coberturas vegetais naturais típicas do pampa (gramínea-lenhosa e campos) com áreas agrícolas, reflorestamentos e pastos. Nos lugares mais promissores, os ventos médios anuais podem chegar a 8,0 m/s, e as áreas com ventos médios superiores a 7,0 m/s a 100 metros de altura podem comportar uma potência instalável estimada em 19 GW, para as duas regiões apresentadas. As FIGURAS 8.6 a 8.9 mostram áreas típicas da região.

No sistema elétrico, destaca-se a proximidade das subestações Presidente Médici, Bagé 2 e Candiota, as quais estão conectadas a linhas de transmissão de 230 kV e 525 kV. Está em fase de outorga uma nova linha de transmissão entre Guaíba e Candiota, em 525 kV e circuito duplo. Esta linha foi planejada para viabilizar a exploração do grande potencial de geração da região.

As principais cidades são Bagé (116,7 mil habitantes), Canguçu (53,2 mil habitantes), Dom Pedrito (38,8 mil habitantes), Piratini (19,8 mil habitantes) e Pinheiro Machado (12,7 mil habitantes), tendo as rodovias BR-153, BR-290, BR-293, BR-392 e BR-473 como principais vias de acesso às cidades.

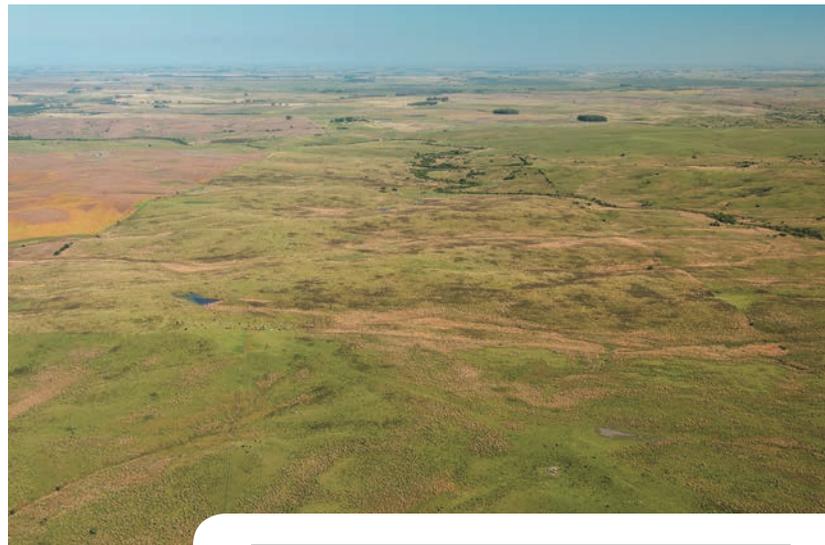


FIGURA 8.6 Campos em região de potencial eólico no município de Dom Pedrito.



FIGURA 8.7 Região agrícola no município de Dom Pedrito, próxima à divisa com Bagé.

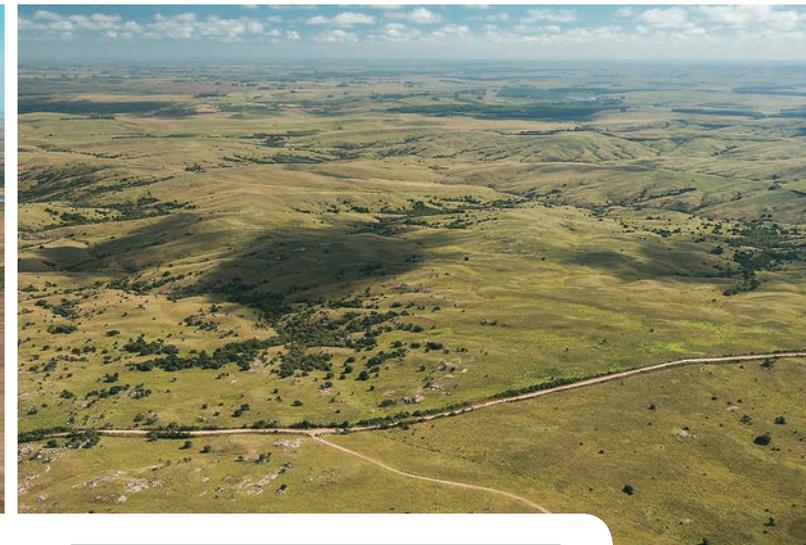


FIGURA 8.8 Campos a oeste da cidade de Pinheiro Machado.



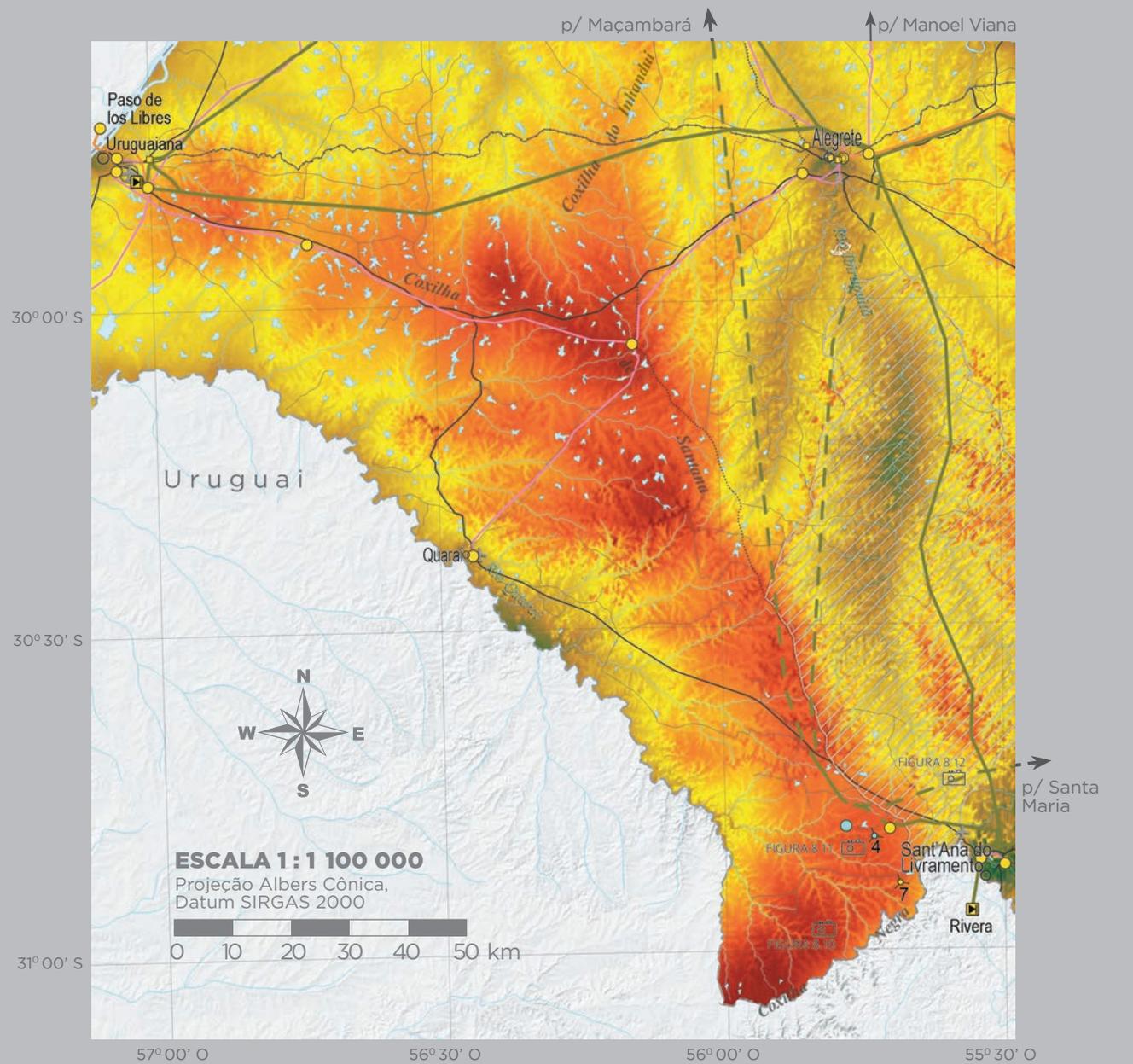
FIGURA 8.9 Relevo com ondulações suaves nas proximidades do município de Pedras Altas, local onde diversos projetos de parques eólicos estão em desenvolvimento.

FOTOS ZIG KOCH

8 · Análises e Diagnósticos

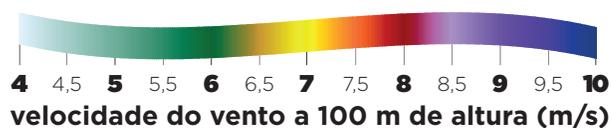
8.2.3 ÁREA 3: COXILHA DE SANTANA

MAPA 8.6



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^[61], [65]

*USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2º LFA, 4º E 5º LER, 12º, 13º, 15º, 17º AO 19º LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS À AUTOPRODUÇÃO^[26].



Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

23 GW



Vasta área de coxilhas da região da campanha gaúcha, é coberta por vegetação gramíneo-lenhosa de baixa rugosidade, sobre a qual a velocidade do vento atinge de 7,5 m/s a 8,5 m/s a 100 metros de altura. As FIGURAS 8.10 a 8.12 mostram áreas típicas da região.

A capacidade instalável para a área é estimada em 23 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 metros de altura. Por se tratar de uma região onde já existem parques eólicos em funcionamento, torna-se possível a conexão ao Sistema Interligado Nacional por meio das subestações Cerro Chato, Livramento 2, Alegrete e Uruguaiana, todas conectadas a linhas de transmissão de 230 kV. Ademais, está em fase de outorga uma nova subestação em 230 kV, denominada Livramento 3, e cinco novas linhas de transmissão na região, todas em 230 kV. Esses novos empreendimentos foram planejados para viabilizar a exploração do grande potencial de geração eólica da região.

Destacam-se as cidades de Uruguaiana (125,4 mil habitantes), Sant'Ana do Livramento (82,4 mil habitantes), Alegrete (77,6 mil habitantes), Quaraí (23,0 mil habitantes), as quais podem ser acessadas pelas rodovias BR-290, BR-293 e BR-377.

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Usinas térmicas em operação ⚡ [n] Conjunto de [n] usinas eólicas em operação ⚡ [n] Conjunto de [n] usinas eólicas em planejamento ou implantação* ● Subestações em operação ● Subestações em planejamento ou implantação | <ul style="list-style-type: none"> ■ Conversoras LT 230 kV planejada ou implantação — LT 230 kV operação — LT 138 kV implantação — LT 69 kV operação ■ Áreas de proteção integral e terras indígenas ■ Áreas de uso sustentável | <ul style="list-style-type: none"> — Corpos de água — Rios — Divisas estaduais ✈ Aeroportos internacionais ✈ Aeroportos domésticos ○ Sedes municipais ● Vilas | <ul style="list-style-type: none"> — Estradas pavimentadas — Estradas não pavimentadas — Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas — Ferrovias 📷 Fotos |
|--|---|--|---|



ZIG KOCH

FIGURA 8.10 Área ao sul do Complexo Cerro Chato, vizinha a áreas com parques eólicos em desenvolvimento.

8 · Análises e Diagnósticos

FIGURA 8.11 Área a oeste do Complexo Cerro Chato, com potencial eólico ainda não explorado.



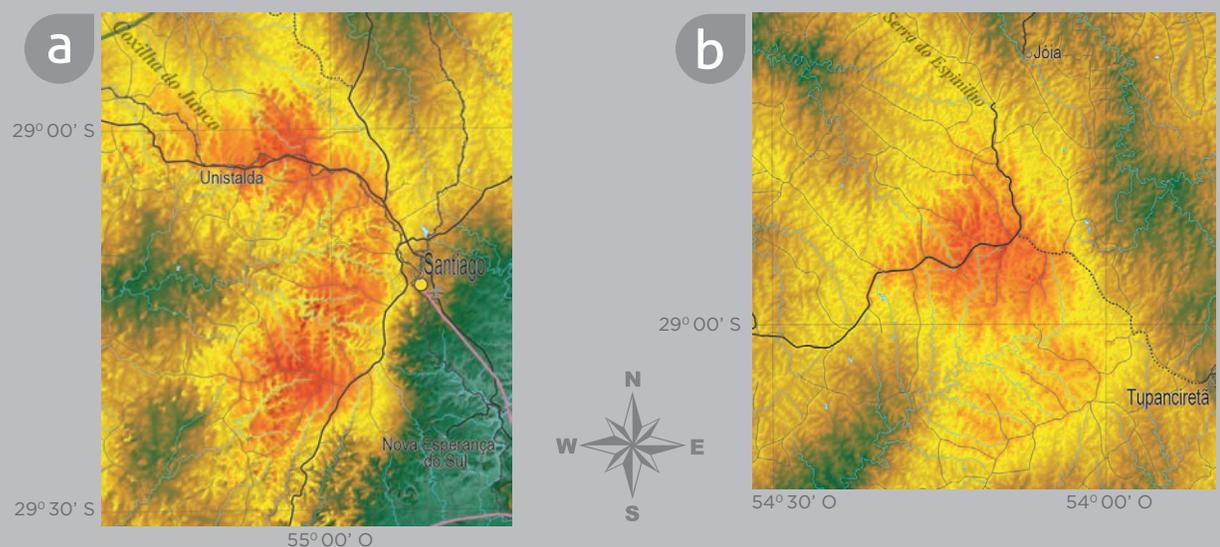
FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 8.12 Região ondulada ao norte da cidade de Sant'Ana do Livramento.



8.2.4 ÁREA 4: PLANALTO DAS MISSÕES

MAPA 8.7

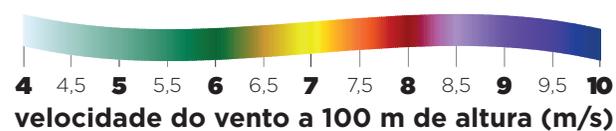


- Subestações em operação
- LT 230 kV operação
- LT 69 kV operação
- Corpos de água
- Rios
- Estradas pavimentadas
- - - Estradas não pavimentadas
- Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas
- Ferrovias
- - - Divisas estaduais
- Sedes municipais
- Vilas
- ✈ Aeroportos domésticos

Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

5 GW

ESCALA 1 : 1 100 000
 Projeção Albers Cônica,
 Datum SIRGAS 2000



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^[61], ^[65]

Sobre essa região do planalto meridional do Rio Grande do Sul a cobertura do terreno contempla áreas de pastagens, fragmentos de florestas estacionais e áreas agrícolas. Os ventos médios anuais atingem 8,0 m/s nas maiores elevações, de acordo com o mapeamento eólico do Estado. Destaca-se que o estudo nessa área foi baseado em modelos, sem a validação de medições de vento no local, como nas demais áreas promissoras, o que aumenta a incerteza das estimativas. Recomenda-se a instalação de, pelo menos, uma estação de medição de ventos para confirmar as expectativas e, se for o caso, desenvolver projetos de parques eólicos. Calcula-se, com base nesses modelos, que a região comporte capaci-

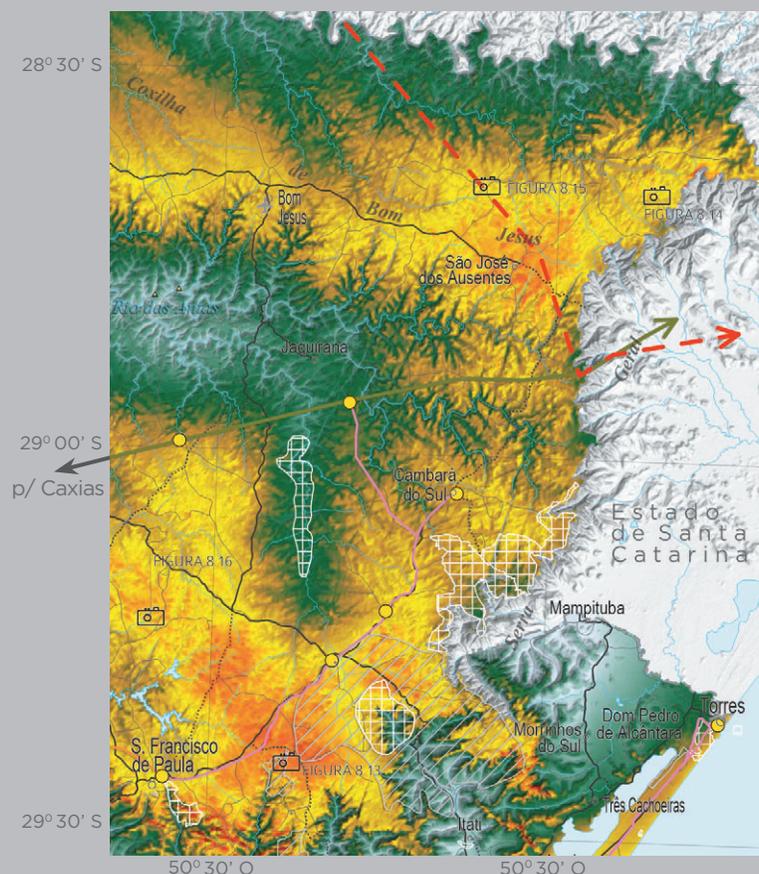
dade instalável de cerca de 5,0 GW em energia eólica nos locais com ventos médios anuais superiores a 7,0 m/s a 100 metros de altura.

Os principais centros de consumo são as cidades de Ijuí (78,9 mil habitantes), Santo Ângelo (76,2 mil habitantes), Santa Rosa (68,5 mil habitantes) e Palmeira das Missões (34,3 mil habitantes). As subestações que podem ser pontos de conexão na região são Missões (em São Luiz Gonzaga), São Vicente, Santo Ângelo e Ijuí, todas em 230 kV. Em Santiago há uma subestação de 69 kV. O acesso à região se dá pelas rodovias BR-158, BR-285, BR-287 e BR-377.

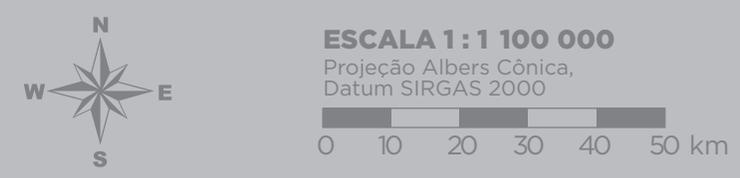
8 · Análises e Diagnósticos

8.2.5 ÁREA 5: SERRA GAÚCHA

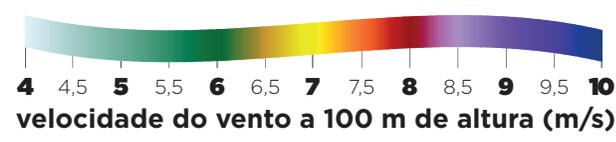
MAPA 8.8 ·



- Usinas ou pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Subestações em operação
- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV implantação
- LT 69 kV operação
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Áreas de uso sustentável
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Aeroportos domésticos
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas
- Sedes municipais
- Vilas
- Fotos



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^{[61], [65]}



Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

2,8 GW



Localizada na região nordeste do Estado, apresenta cobertura do solo alternando campos gramíneo-lenhosos, reflorestamentos, fragmentos de florestas de araucária e floresta ombrófila mista. Os ventos médios anuais atingem a faixa de 7,0 m/s a 8,0 m/s. Destacam-se as regiões de campos localizadas acima da serra, nos municípios de Bom Jesus e São José dos Ausentes. As FIGURAS 8.13 a 8.16 mostram áreas típicas da região.

As principais cidades são Caxias do Sul (435,5 mil habitantes), Bento Gonçalves (107,2 mil habitantes), Vacaria (61,3 mil habitantes), São Francisco de Paula (20,5 mil habitantes) e Bom Jesus (11,5 mil habitantes). As rodovias BR-285, BR-453, RS-020 e RS-110 são as principais vias de acesso.

Salienta-se que, na estimativa do potencial eólico da região, foram desconsideradas as áreas do Parque Nacional da Serra Geral, de Aparados da Serra e o Parque Estadual do Tainhas. A capacidade instalável da região é de aproximadamente 2,8 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 metros de altura. No sistema elétrico, destaca-se a proximidade das subestações Lageado Grande e Forquilha, ligadas ao Sistema Interligado Nacional por meio de linhas de transmissão de 230 kV. Está prevista a implantação de outras duas subestações: Lageado Grande 2 e Siderópolis 2, conectadas a linhas de transmissão de 230 kV e 525 kV respectivamente.



FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 8.13 Planalto no município de São Francisco de Paula.



FIGURA 8.14 São José dos Ausentes, próximo à divisa com Santa Catarina.

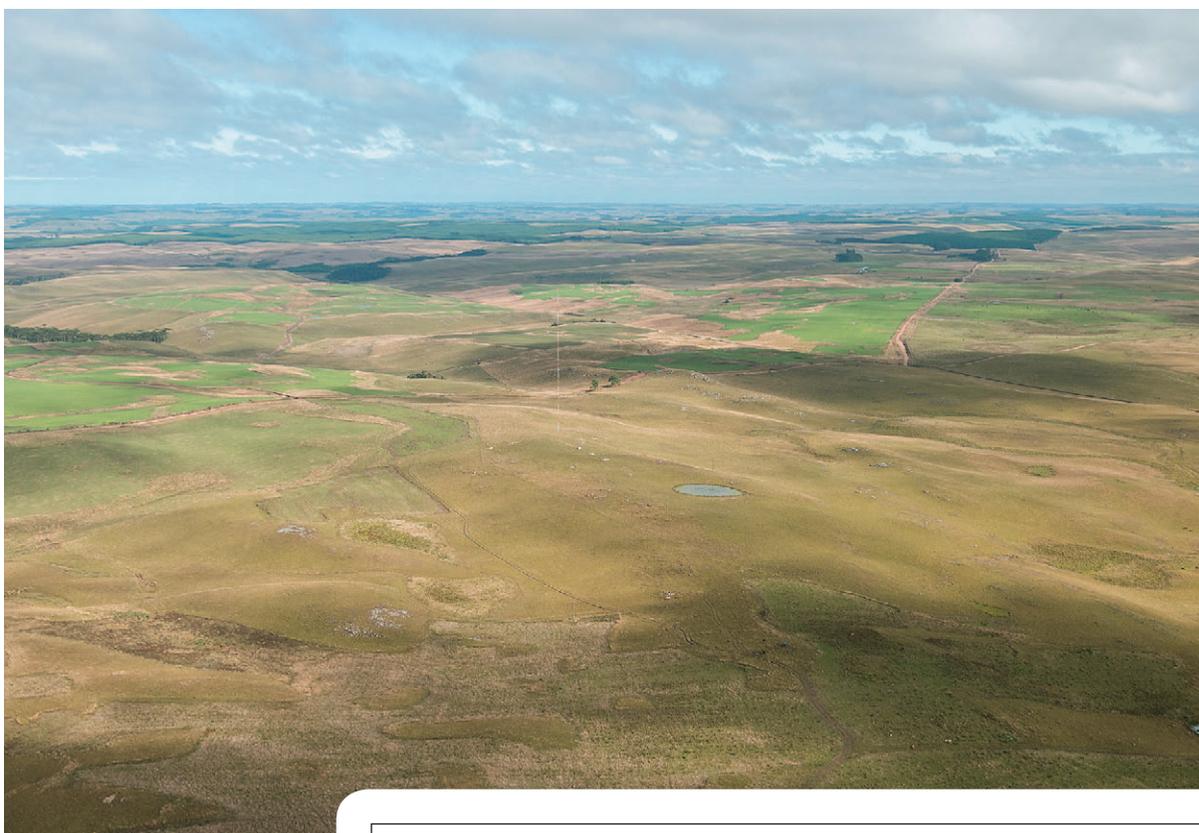


FIGURA 8.15 Campos e torre anemométrica em São Francisco de Paula.

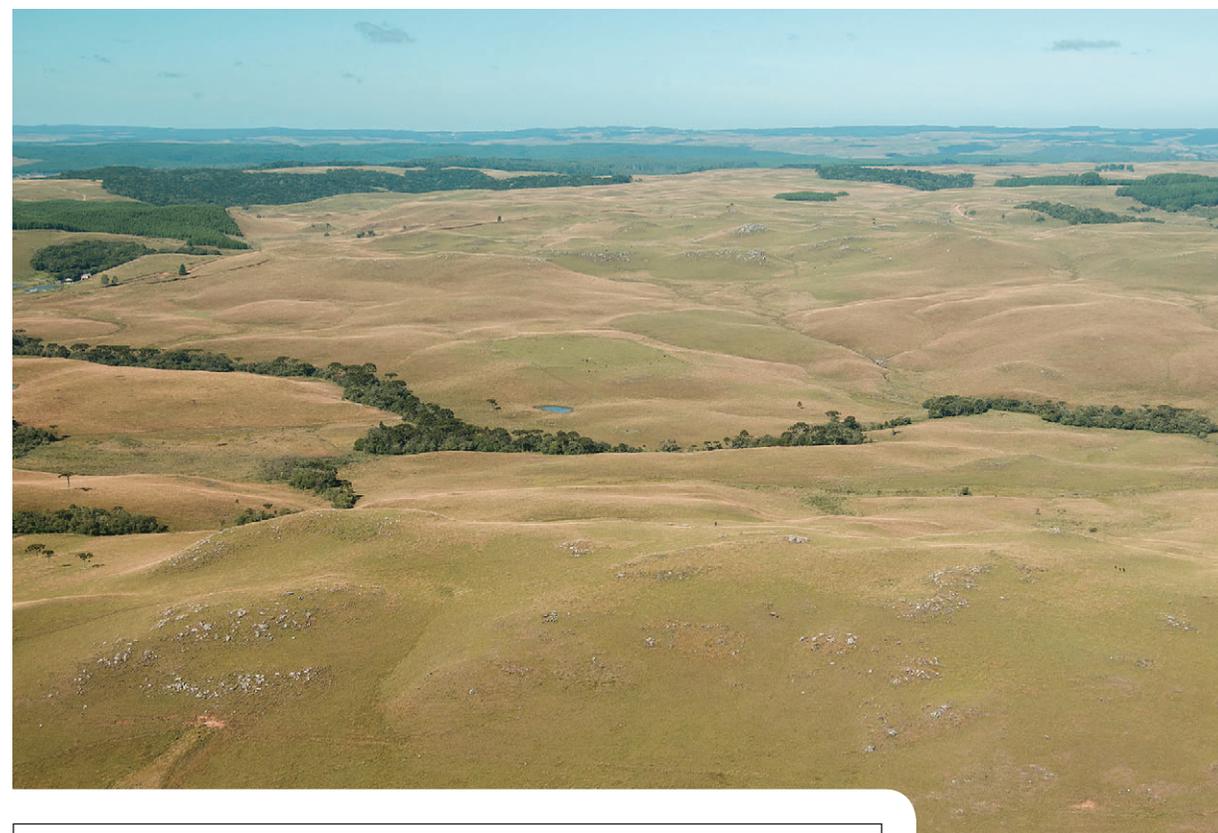
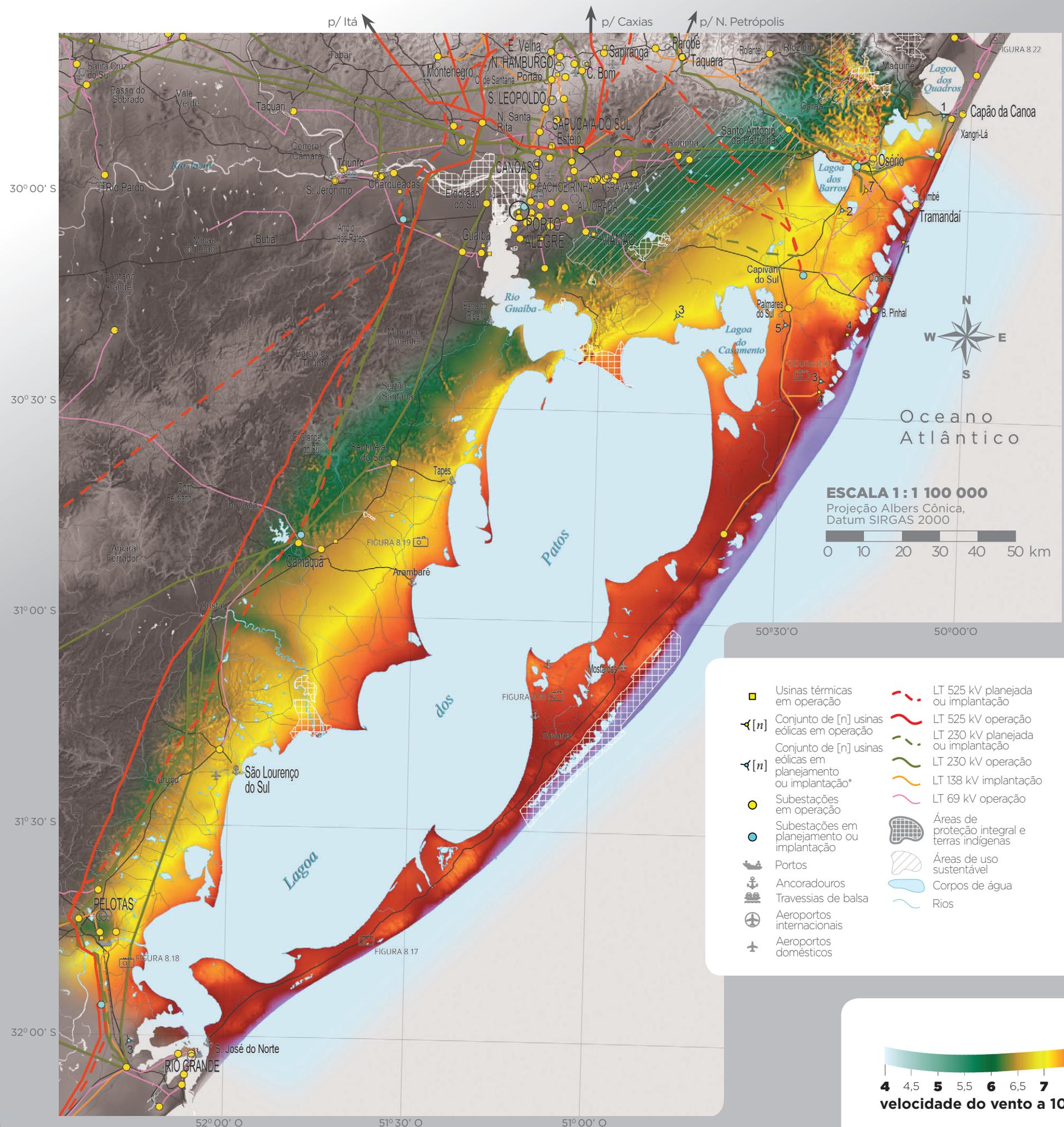


FIGURA 8.16 Campos na divisa entre municípios de São José dos Ausentes e Bom Jesus; há projetos de parques em desenvolvimento na região.

8 · Análises e Diagnósticos

MAPA 8.9



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL^[4], ONS^[90], DAER^[95], IBGE^[91], [65]
 *USINAS VENCEDORAS DOS LEILÕES 2ª LFA, 4ª E 5ª LER, 12ª, 13ª, 15ª, 17ª AO 19ª LEN E USINAS EM CONSTRUÇÃO DESTINADAS A AUTOPRODUÇÃO^[26].

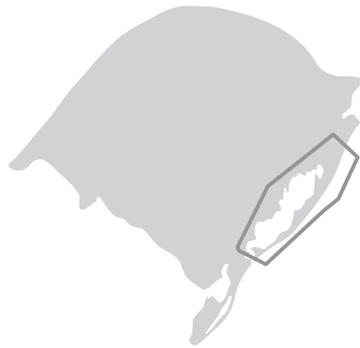
8.2.6 ÁREA 6: COSTA AO REDOR DA LAGOA DOS PATOS

<ul style="list-style-type: none"> ■ Usinas térmicas em operação ⚡ [n] Conjunto de [n] usinas eólicas em operação ⚡ [n] Conjunto de [n] usinas eólicas em planejamento ou implantação* ● Subestações em operação ● Subestações em planejamento ou implantação ⚓ Portos ⚓ Ancoradouros ⚓ Travessias de balsa ✈ Aeroportos internacionais ✈ Aeroportos domésticos 	<ul style="list-style-type: none"> — LT 525 kV planejada ou implantação — LT 525 kV operação — LT 230 kV planejada ou implantação — LT 230 kV operação — LT 138 kV implantação — LT 69 kV operação ■ Áreas de proteção integral e terras indígenas ■ Áreas de uso sustentável ■ Corpos de água — Rios 	<ul style="list-style-type: none"> — Divisas estaduais — Estradas pavimentadas — Estradas não pavimentadas — Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas — Ferrovias ○ Sedes municipais ○ Vilas 📷 Fotos
---	---	---



Potencial eólico estimado, a 100 m de altura, para locais com velocidades médias do vento superiores a 7,0 m/s:

15 GW



Grande área de planície costeira, com cobertura variada, destacando-se banhados com vegetação herbácea de pequeno porte, áreas agrícolas, reflorestamentos e pastos. Apresenta ventos médios anuais variando de 8,0 m/s a 9,0 m/s. As FIGURAS 8.17 a 8.22 mostram áreas típicas da região.

Atendendo a empreendimentos eólicos já instalados na região, o sistema elétrico conta com as subestações Osório 2 e Atlântida 2, conectadas a linhas de transmissão de 230 kV. Ademais, está em fase de outorga uma expressiva ampliação do sistema elétrico da área, que terá uma nova subestação de 525 kV, em Capivari do Sul, e quatro novas linhas de transmissão, duas em 525 kV e duas em 230 kV. Esses novos empreendimentos foram planejados para viabilizar a exploração do grande potencial de geração eólica.

As rodovias BR-101 e BR-290 são as principais vias de acesso. Os mais importantes centros de consumo são as cidades de São José dos Norte (25,5 mil habitantes), Mostardas (12,1 mil habitantes), Palmares do Sul (10,9 mil habitantes) e, mais ao norte, as cidades de Osório (40,9 mil habitantes), Tramandaí (41,5 mil habitantes) e Imbé (17,6 mil habitantes). Ressalta-se o crescimento populacional em tais cidades no período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Avalia-se, para a região delimitada pelo MAPA 8.9, descontada a área do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, uma capacidade instalável de cerca de 15 GW em locais com ventos acima de 7,0 m/s, a 100 metros de altura.



FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 8.17 São José do Norte.

FIGURA 8.18 Norte do município de Rio Grande, próximo à cidade de Pelotas.



8 · Análises e Diagnósticos



FIGURA 8.19 Arambaré e Lagoa dos Patos.

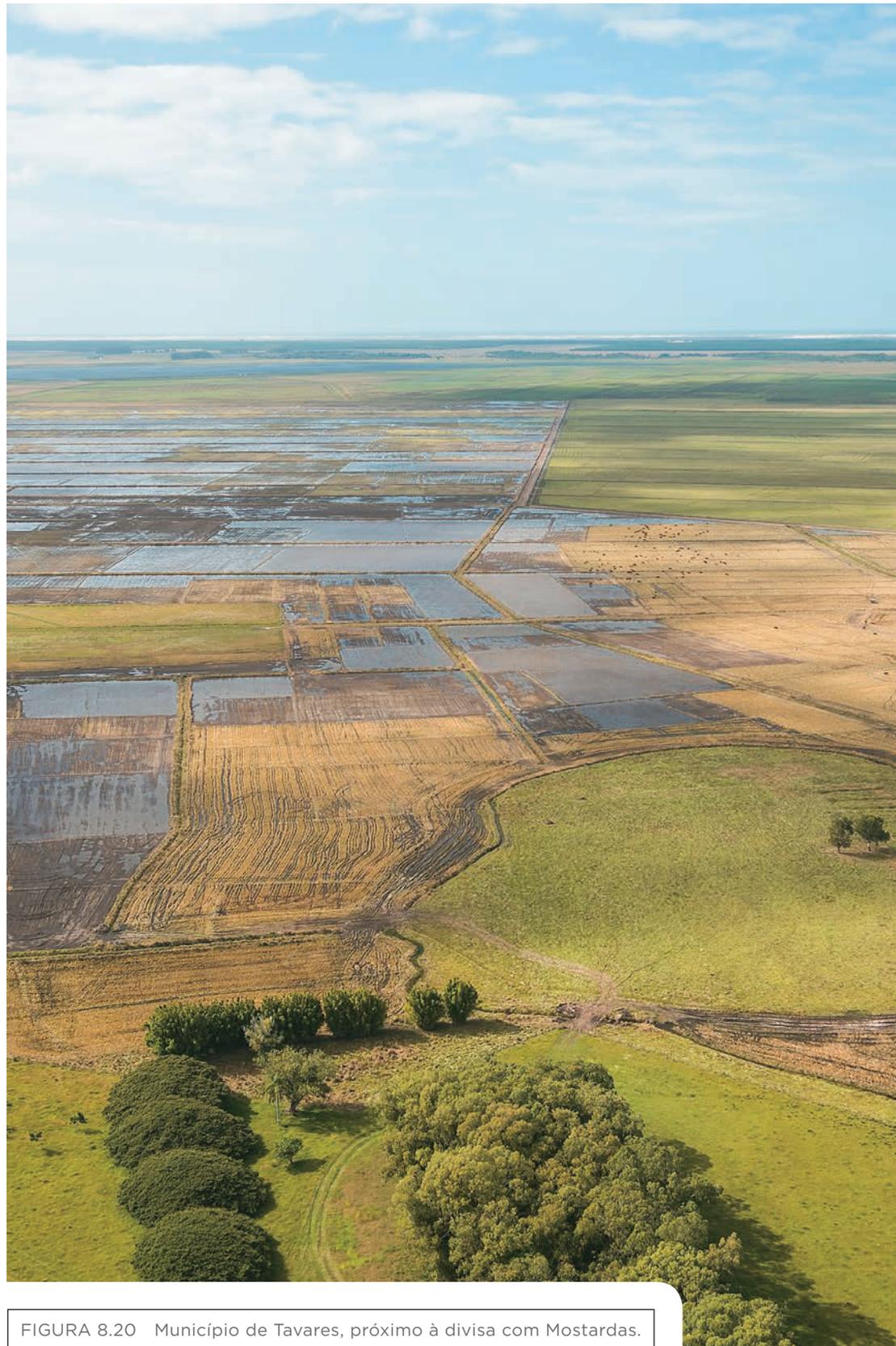


FIGURA 8.20 Município de Tavares, próximo à divisa com Mostardas.



FIGURA 8.21 Palmares do Sul.



FIGURA 8.22 Município de Arroio do Sal, no Litoral Norte do Estado.

9 · Referências

- [1] ABILD, J. **Application of the Wind Atlas Method to Extremes of Wind Climatology**. Roskilde, Denmark.: Riso National Laboratory, 1994. 175 p. Report Riso-R-722(EN).
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 24 jul. 2014.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa n. 391 de 15 de dezembro de 2009. Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas eólicas, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 1 out. 2014.
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/> Acesso em: 19 jul. 2014.
- [5] AMARANTE, O. C. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará**. Fortaleza: SEINFRA/CE, 2001.
- [6] AMARANTE, O. C.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Rio de Janeiro: MME/ELETOBRÁS/CEPEL, 2001.
- [7] AMARANTE, O. C.; SILVA, F. DE J. L. DA; SANTOS, R. C. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Energia, Minas e Comunicações – SEMC, 2002.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NB-599 e NBR-6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1978/1988.
- [9] AWS TRUEPOWER. **WindMap CMD 2.1.0**. Albany, NY, 2012.
- [10] BECKER, J. J. et al. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS. **Marine Geodesy**, Philadelphia, USA, v. 32, n. 4, p. 355–371, nov. 2009.
- [11] BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [12] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988, Artigo 189. Da Política Agrícola e Fundiária e da Reforma Agrária. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 10 jan. 2014.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] BRASIL. Decreto-Lei n. 25 de 30 de novembro de 1937. Lei do Tombamento. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [16] BRASIL. Decreto n. 4.887 de 20 de novembro de 2003. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [17] BRASIL. Decreto n. 5.025 de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os § 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 17 set. 2013.
- [18] BRASIL. Lei n. 6.001 de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [19] BRASIL. Lei n. 8.629 de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2013.
- [20] BRASIL. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [21] BRASIL. Lei n. 10.438 de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) (...) Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 25 out. 2014.
- [22] BRASIL. Lei n. 99.274 de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [23] BROWER, M.; BAILEY, B.; ZACK, J. Micrositing Using the MesoMap System. In: WINDPOWER CONFERENCE. Portland, Oregon: American Wind Energy Association, 2002.
- [24] BURTON, T. et al. **Wind energy handbook**. 2. ed. Chichester, West Sussex: Wiley, 2011. 742 p.
- [25] BUSINGER, J. Turbulence Transfer in the Atmospheric Boundary Layer. In: HAUGEN, D. **Workshop on Micrometeorology**. Boston, Massachusetts: American Meteorological Society, 1973.
- [26] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resultado consolidado dos leilões – 09/2014**. Disponível em: <www.ccee.org.br> Acesso em: 13 out. 2014.
- [27] CAMARGO-SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia: Atlas Eólico**. Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.
- [28] 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.
- [29] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 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.
- [30] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 6 de 16 de setembro de 1987. Edita as 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.
- [31] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 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.
- [32] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 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.
- [33] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 428 de 17 de dezembro de 2010. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei no 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2014.
- [34] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 462 de 24 de julho de 2014. Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2013.
- [35] CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH – CGIAR. **SRTM 90m Digital Elevation Data**. Disponível em: <srtm.cgiar.org> Acesso em: 1 abr. 2014.
- [36] COOK, N. J. Towards Better Estimation of Extreme Winds. **Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics**, Montreal, v. 9, n. 3, p. 295–323, 1982.
- [37] CUSTÓDIO, R. **Energia eólica para a produção de energia elétrica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009. 280 p.
- [38] DAMASCENO, C. Incidência de raios no Brasil gera pesquisas e inovações. **Conselho em Revista**, Porto Alegre, v. 54, p. 14–17, fev. 2009.
- [39] DEKKER, J. W. M.; PIERIK, J. T. G. Extreme wind climate events. In: **European Wind Turbine Standards II – Part. 1**. Netherlands: ECN Solar & Wind Energy, 1998.
- [40] DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DAER. **Rodovias**. Disponível em: <www.daer.rs.gov.br>.
- [41] DYER, A. J. A Review of Flux-Profile Relationships. **Boundary Layer Meteorology**, Dordrech, Holanda, v. 7, p. 363–372, 1 jan. 1974.
- [42] ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S. A. **Eletrosul adota tecnologia inédita em sistema de transmissão de complexo eólico**. Disponível em: <www.eletrosul.gov.br> Acesso em: 1 out. 2014.
- [43] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2014: Ano Base 2013**. Rio de Janeiro: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Disponível em: <ben.epe.gov.br> Acesso em: 13 set. 2013.
- [44] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Leilões**. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 15 jul. 2013.
- [45] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Leilões de Energia: Instruções para a Elaboração de Relatórios de Instalação e Manutenção das Estações Anemométricas do Sistema AMA – R1**. Rio de Janeiro, 2013. Nota Técnica DEA 04/13.
- [46] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Leilões de Energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos**. Nota Técnica DEA 08/14.
- [47] FINGERSH, L.; HAND, M.; LAXSON, A. **Wind Turbine Design Cost and Scaling Model**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory – NREL, 2006. Report TP-500-40566.
- [48] FINLAY, C. C.; ET AL. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation. **Geophysical Journal International**, v. 183, p. 1216–1230, out. 2010.
- [49] FRANK, H. P. **Extreme Winds over Denmark from the NCEP/NCAR Reanalysis**. Roskilde, Denmark.: Riso National Laboratory, 2001. 28 p. Report Riso-R-1238(EN).
- [50] 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.
- [51] FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM. **Biblioteca Digital – Arquivos digitais para uso em SIG – base cartográfica digital do RS 1:250.000**. Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br> Acesso em: 15 set. 2014.
- [52] FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM. **Legislação – Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA**. Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br> Acesso em: 15 ago. 2014.
- [53] FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br> Acesso em: 15 ago. 2014.

- [54] GLOBAL HIDROLOGY RESOURCE CENTER – GHRC. **LIS/OTD Gridded Lightning Climatology Data Sets**. Disponível em: <lightning.nsstc.nasa.gov> Acesso em: 15 set. 2014.
- [55] HARRIS, R. I. Improvements of the Method of Independent Storms. **Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics**, Montreal, v. 80, n. 1, p. 1–30, 1999.
- [56] HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 4. ed. London: Academic Press, 2004. 535 p.
- [57] HÜTTER, U. In: THE ENCYCLOPEDIA of Earth. Disponível em: <www.eoearth.org> Acesso em: 27 ago. 2013.
- [58] INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 2009.
- [59] INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 94 p. Título original: Le Système international d'unités.
- [60] INSTITUTO ALEMÃO DE ENERGIA EÓLICA – DEWI. **Energia Eólica**. Wilhelmshaven, Alemanha: DEWI, 1998. Traduzido pela Eletrobrás.
- [61] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua 1: 250.000**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 19 fev. 2012.
- [62] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidades> Acesso em: 5 out. 2013.
- [63] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas Populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014**. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 26 set. 2014.
- [64] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Estados**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/> Acesso em: 18 ago. 2014.
- [65] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal Digital 2013**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 26 set. 2014.
- [66] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa da Cobertura e Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2010. 1 mapa: color.; 110 x 91 cm. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 1 abr. 2014.
- [67] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro, 2006. 1 mapa: color.; 110 x 90 cm. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 7 fev. 2014.
- [68] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2011**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br>.
- [69] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2010. 152 p. Relatório técnico.
- [70] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra – Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 1 abr. 2014. Relatório Técnico.
- [71] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <www.icmbio.gov.br> Acesso em: 15 ago. 2014.
- [72] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Banco de Dados de Imagens**. Disponível em: <pyata.cptec.inpe.br> Acesso em: 15 out. 2014.
- [73] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61400-1: Wind Turbines. Part 1: Design Requirements**. Genebra, Suíça, 2005-2008.
- [74] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC WT 01: IEC system for conformity testing and certification of wind turbines rules and procedures**. Genebra, Suíça, 2001.
- [75] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61400-12-1: wind turbines – power performance measurements of electricity producing wind turbines**. Genebra, Suíça, 2005.
- [76] KRISTENSEN, L.; RATHMANN, O. **Extreme Winds on Denmark**. Roskilde, Denmark.: Riso National Laboratory, 1999. 35 p. Technical Report Riso-R-1068(EN).
- [77] LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5th. ed. New York: John Wiley Sons, 2006. 763 p.
- [78] LYRA, G. B. Parâmetros de rugosidade aerodinâmica sobre vegetação esparsa em região semi-árida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 22, n. 1, ago. 2007.
- [79] MAYNE, J. R. The Estimation of Extreme Winds. **Journal of Industrial Aerodynamics**, Elsevier Scientific Publishing Company: Amsterdam, v. 5, p. 109–137, 1979.
- [80] MEASURING NETWORK OF WIND ENERGY INSTITUTES – MEASNET. **Evaluation of Site-specific Wind Conditions**. Version 1.
- [81] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA**. Disponível em: <www.mme.gov.br> Acesso em: 21 jul. 2013.
- [82] MORTENSEN, N. G. et al. Wind Atlas Analysis and Application Program – WASP. In: **Wind Energy Department: Scientific and technical progress 1999-2000**. Denmark: B. Skrumsager, G.C. Larsen, 2001. v. Riso-R-1239(EN).
- [83] MÜLLER, C. A. A Navegação na Lagoa dos Patos. In: III SEMINÁRIO DETRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR DA SOCIEDADEBRASILEIRA DE ENGENHARIA NAVAL – SOBENA. Corumbá: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, 2003.
- [84] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Landsat 7**. Disponível em: <science1.nasa.gov> Acesso em: 9 abr. 2014.
- [85] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **NOAA GOES-N, O, P – The Next Generation**. Greenbelt, USA: NASA, 2005. Report NP-2005-4-694-GSFC.
- [86] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **SSM/I and SSMIS Gridded Products**. Disponível em: <www.ncdc.noaa.gov> Acesso em: 1 out. 2014.
- [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. 376 p.
- [89] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Glossário de termos técnicos**. Submódulo 20.1, Revisão 1.0, Vigência 05/08/2009.
- [90] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Mapas do SIN**. Disponível em: <www.ons.org.br> Acesso em: 17 ago. 2013.
- [91] PEDERSEN, B. MARIBO et al. Wind Speed Measurement an Use of Cup Anemometry. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation**. Genebra, Suíça: IEA, 1999.
- [92] PERSSON, A. How Do We Understand the Coriolis Force? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 7, p. 1373–1385, jul. 1998.
- [93] PETERSEN, E. L. et al. Wind Power Meteorology – Part I: Climate and Turbulence. **Wind Energy Magazine**, Roskilde, Denmark, v. 1, n. 1, p. 24–45, set. 1998.
- [94] PHILLIPS, G. T. **A Preliminary User's Guide for the NOABL Objective Analysis Code**. Califórnia, EUA: U.S. Department of Energy, 1993. 115 p.
- [95] PORTAL GEOLIVRE. **Rodovias do DAER 2014**. Disponível em: <www.geolivres.gov.br> Acesso em: 9 abr. 2014.
- [96] REBOITA, M. S. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra Didática**, v. 8, p. 34–50, 2012.
- [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] RIO GRANDE DO SUL. Decreto n. 51.560 de 10 de junho de 2014. Regulamenta o disposto na Lei n. 14.014, de 14 de junho de 2012, que institui o Programa Gaúcho de Estruturação, Investimento e Pesquisa em Energia Eólica, RS-Eólica e criou o Comitê Gestor. Disponível em: <www.al.rs.gov.br> Acesso em: 15 out. 2014.
- [99] RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 9.519 de 21 de janeiro de 1992. Institui o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Disponível em: <www.al.rs.gov.br> Acesso em: 15 ago. 2014.
- [100] RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 11.520 de 3 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Disponível em: <www.al.rs.gov.br> Acesso em: 15 ago. 2014.
- [101] RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 14.014 de 14 de junho de 2012. Institui o Programa Gaúcho de Estruturação, Investimento e Pesquisa em Energia Eólica, RS-Eólica, cria o Comitê Gestor e dá outras providências. Disponível em: <www.al.rs.gov.br> Acesso em: 15 out. 2014.
- [102] ROCK, M.; PARSONS, L. Offshore Wind Energy. **Fact Sheet – Environmental and Energy Study Institute**, Washington, DC, out. 2010.
- [103] 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.
- [104] ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Porto Alegre, 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [105] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO RIO GRANDE DO SUL – SEINFRA. **Balço Energético do Rio Grande do Sul 2013: ano base 2012**. Porto Alegre: Grupo CEEE, 2013.
- [106] SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E PARTICIPAÇÃO CIDADÃ – SEPLAG. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas> Acesso em: 1 out. 2014.
- [107] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo – RS**. Porto Alegre, 2005.
- [108] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Principais Resultados do Inventário Florestal Contínuo**. Disponível em: <www.sema.rs.gov.br> Acesso em: 18 ago. 2014.
- [109] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC**. Disponível em: <sema.rs.gov.br> Acesso em: 18 ago. 2014.
- [110] 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.
- [111] SIMIU, E.; SCANLAN, R. H. **Wind Effects on Structures**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1978.
- [112] STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.
- [113] TERRAS INDÍGENAS NO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <www.cpsp.org.br> Acesso em: 18 ago. 2014.
- [114] 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.
- [115] VRIES, E. Windtech: addressing shallow water challenges. **Wind Power Monthly**, v. 30, n. 9, p. 96, set. 2014.
- [116] WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2. ed. Burlington, EUA: Elsevier Academic Press, 2006. 483 p.
- [117] WHITEMAN, C. D. **Mountain meteorology: fundamentals and applications**. New York: Oxford University Press, 2000. 376 p.
- [118] WINDPOWER MONTHLY NEWS MAGAZINE. The Windicator. 2014.
- [119] WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey of energy resources**. London, 1995.

· Apêndices



FIGURA A.1 Parque Eólico Cidreira I, em Tramandaí.

O sistema *MesoMap* caracteriza o recurso eólico numa região pela recriação das condições reais climáticas de 366 dias escolhidos aleatoriamente dentre registros históricos de 15 anos. Um amplo conjunto de dados geográficos e meteorológicos é utilizado como entrada. Os principais dados geográficos são a topografia, o uso do solo (modelo de rugosidade) e índices de vegetação. Os principais dados meteorológicos são os provenientes de reanálises, radiossondagens e temperatura sobre a terra e oceanos. Entre estes, têm maior importância os provenientes de reanálises, cuja descrição sucinta é apresentada no Capítulo 3. Em conjunto com dados existentes de radiossondagens e temperaturas da superfície terrestre, os dados de reanálises estabelecem as condições de contorno iniciais bem como condições de contorno laterais atualizadas para a progressão das simulações. A partir dessas condições, o modelo determina a evolução das condições meteorológicas dentro da região em estudo, com base nas interações entre os distintos elementos da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície terrestre.

O sistema *MesoMap* possui, na configuração empregada no presente trabalho, dois módulos principais: o *Mesoscale Atmospheric Simulation System – MASS*^[23], 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).

A1. A SIMULAÇÃO MASS

O núcleo do *MesoMap* é o *Mesoscale Atmospheric Simulation System*^[23], um modelo numérico de mesoescala similar aos modelos de previsão do tempo ETA e MM5, os quais incorporam os princípios físicos fundamentais da dinâmica atmosférica:

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

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

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

A2. O MÓDULO WINDMAP

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

O *WindMap* é um modelo de simulação de camada-limite atmosférica de microescala, constituindo um desenvolvimento dos métodos baseados na equação da continuidade (conservação de massa ou escoamento não divergente), originários do *Numerical Objective Analysis of Boundary Layer – NOABL*^[94]. O *WindMap* utiliza o método dos elementos finitos para calcular o campo de velocidade do escoamento em todo o domínio de cálculo, que se constitui de uma malha tridimensional de pontos sobre o terreno. Essa malha é representada através de um *grid* gerado com base num 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 m e 500 m e 3 alturas acima da camada-limite, denominadas *upper air*, estimadas em 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 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 estes efeitos, considerando altura de camada-limite, perfil logarítmico de velocidade vertical e características de estabilidade térmica da atmosfera baseadas na Teoria da Similitude de Monin-Obukhov^[112].

O processo de cálculo é realizado por elementos finitos, em um domínio tridimensional, conforme a FIGURA A.2. O terreno é representado por uma malha regular de m elementos no sentido N-S e n elementos no sentido L-O. 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 maior número de elementos na proximidade da superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos.

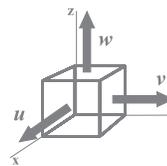
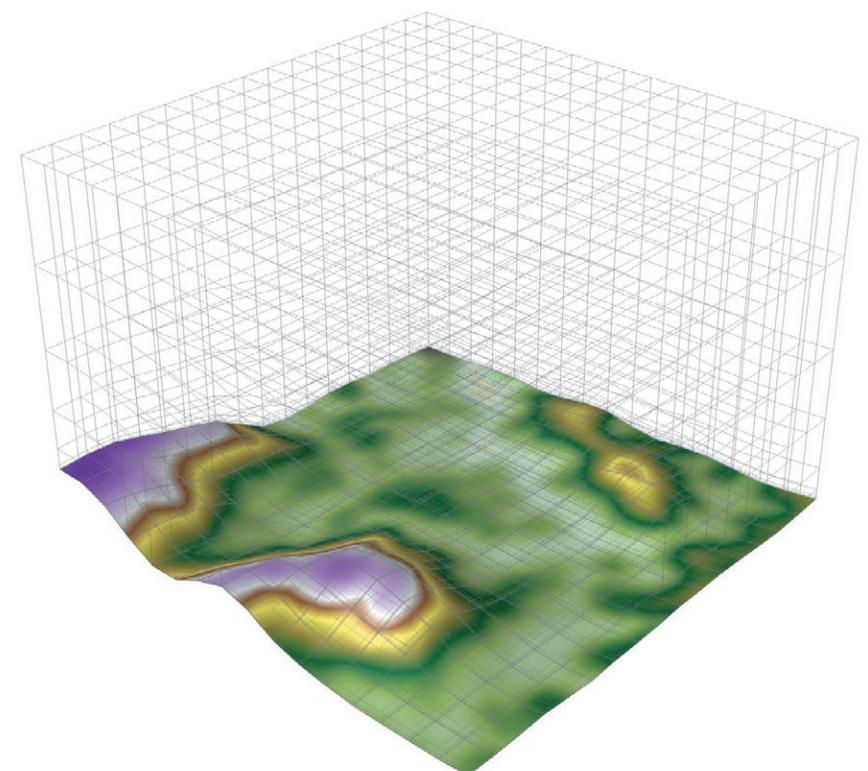


FIGURA A.2 Domínio tridimensional de cálculo do *WindMap*: a malha concentra mais elementos na região próxima à superfície do solo, onde ocorrem os gradientes mais significativos.



A · O Sistema *MesoMap* – Apêndice

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:

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

em que \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 que anula o rotacional do campo de escoamento, e elimina a vorticidade inicialmente presente. 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^[94].

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^[112]:

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

em que Ψ é uma função empírica da estratificação térmica da atmosfera^{[25][41]} e L é o Comprimento de Estabilidade de Obukhov. O *software WindMap* realiza, por meio da escolha de diferentes valores de L , a simulação de condições de atmosfera neutra, instável e estável. Stull^[112] apresenta as funções de similaridade ($\Psi(\zeta)$, $\zeta=(z/L)$) para as diferentes condições de estabilidade atmosférica.

CAPÍTULO 2 – O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

2a **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.

FATOR DE CARGA || Razão entre a carga de demanda média e a carga de demanda máxima ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado^[89].

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^[72] de observação da Terra.

REDE BÁSICA || Rede definida e regulamentada pela ANEEL^[89].

REDE DE DISTRIBUIÇÃO || Conjunto de linhas de distribuição que interligam as subestações do 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 DISTRIBUIÇÃO || Instalações e equipamentos pertencentes a uma concessionária ou a uma permissionária de distribuição^[89].

SISTEMA DE TRANSMISSÃO || Instalações e equipamentos de transmissão considerados integrantes da rede básica, bem como as conexões e demais instalações de transmissão pertencentes a uma concessionária de transmissão^[89].

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN || Instalações responsáveis pelo suprimento de energia elétrica a todas as regiões do país, interligadas eletricamente^[89].

2b **SUBESTAÇÃO** || Parte de um sistema de potência que compreende as extremidades de linha de transmissão e/ou de distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção e que abrange as obras civis e estruturas

de montagem. Pode também incluir transformadores, equipamentos conversores e/ou outros equipamentos^[89].

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

CAPÍTULO 3 – CLIMATOLOGIA

ALÍSIOS || Ventos típicos de regiões tropicais, resultantes da diferença entre a alta pressão nos trópicos e a baixa pressão no Equador. Os alísios estão associados ao efeito de Coriolis, que faz com que as massas de ar no Hemisfério Sul girem, em torno dos centros de alta pressão, no sentido anti-horário. No Nordeste brasileiro, os alísios vêm, predominantemente, da direção sudeste^[116].

ANTICLONE || Centro de alta pressão de onde o vento diverge, em grande escala. Os ventos ao redor do anticiclone circulam, no hemisfério Sul, no sentido anti-horário.

3a **BARLAVENTO** || Direção de onde sopra o vento.

3b **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.

3c **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.

3d **BRISA MARÍTIMA** || Circulação de ar que se move durante o dia, do mar em direção à terra, devido ao aquecimento da superfície terrestre.

3e **BRISA TERRESTRE** || Circulação de ar que se move durante a noite, da terra em direção ao mar, devido ao resfriamento da superfície terrestre.

CAMADA DE EKMAN || Camada de fluido em que o fluxo é o resultado do equilíbrio entre o gradiente de pressão, a força inercial de Coriolis e a força de arrasto turbulento. O conceito foi proposto pelo oceanógrafo sueco Vagn Walfrid Ekman (1874-1954) e é utilizado nos estudos e modelagem da circulação atmosférica e da hidrodinâmica dos oceanos^[56].

CAMADA-LIMITE ATMOSFÉRICA || Camada atmosférica que sofre influência da superfície terrestre, tipicamente estendendo-se até a altura de 1 km, extensão essa que depende do 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^{[56], [112]}.

CICLONE || Centro de baixa pressão para onde o vento converge, em grande escala. Os ventos ao redor do ciclone circulam, no hemisfério Sul, no sentido horário.

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.

DIREÇÃO DO VENTO || Direção em relação ao norte geográfico de onde o vento sopra. Diferentemente do rumo, o sentido aponta para o centro da rosa dos ventos. Os valores são geralmente representados por pontos cardeais, colaterais e subcolaterais ou valores em graus.

EFEITO CORIOLIS || Força inercial proposta pelo matemático e engenheiro francês Gaspard Gustave Coriolis (1792–1843) que explica a lei da cinética: “No hemisfério norte, toda partícula em movimento do polo para o Equador é desviada para sua direita e no hemisfério sul, para a sua esquerda”. Em meteorologia, é um fenômeno fundamental para explicar os movimentos das massas de ar e a circulação atmosférica^[92].

3f **ESTABILIDADE TÉRMICA** || Parâmetro característico da atmosfera próxima à superfície terrestre que permite inferir sobre suas propriedades termodinâmicas e sobre o escoamento horizontal do vento.

EXPOENTE DE CAMADA-LIMITE || Parâmetro adimensional que caracteriza a forma do perfil vertical do vento, diretamente relacionado às características de cobertura e uso do solo. É o expoente da função matemática que define a velocidade do vento a partir da altura.

METEOROLOGIA DE MESOESCALA || Ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala intermediária entre a sinótica e a microescala, ou seja, variando de um a centenas de quilômetros, espacialmente, e de algumas a várias unidades de horas, temporalmente. Exemplos de fenômenos de mesoescala são as brisas marítimas e terrestres e as brisas de vale e de montanha^{[56], [116]}.

METEOROLOGIA DE MICROESCALA || Ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala inferior a um quilômetro, espacialmente, e a uma hora, temporalmente. Exemplos de fenômenos de microescala são as rajadas, as turbulências e a poluição atmosférica^{[56], [116]}.

B · Glossário – Apêndice

METEOROLOGIA SINÓTICA || Ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala de centenas de quilômetros, espacialmente, e de dias a meses, temporalmente; exemplos de fenômenos sinóticos são os ciclones, as depressões, os deslocamentos das massas de ar, as frentes e os anticiclones^{[56], [116]}.

3g 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.

3h 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^[117].

VENTO GEOSTRÓFICO || Vento horizontal teórico que esco na atmosfera livre, no topo da camada-limite, seguindo trajetórias retílineas, 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^{[56], [116]}.

3i VENTO PREDOMINANTE || Direção do vento com maior incidência, característico de uma determinada região geográfica.

CAPÍTULO 4 – 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^[119].

4a 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 5 – ENERGIA EÓLICA E TECNOLOGIA

5a AEROGERADOR || Conjunto eletromecânico utilizado para converter a energia do vento em energia elétrica, composto, na versão moderna, por torre, nacela (abrigo do gerador elétrico) e rotor.

5b 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.

5c 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^[24].

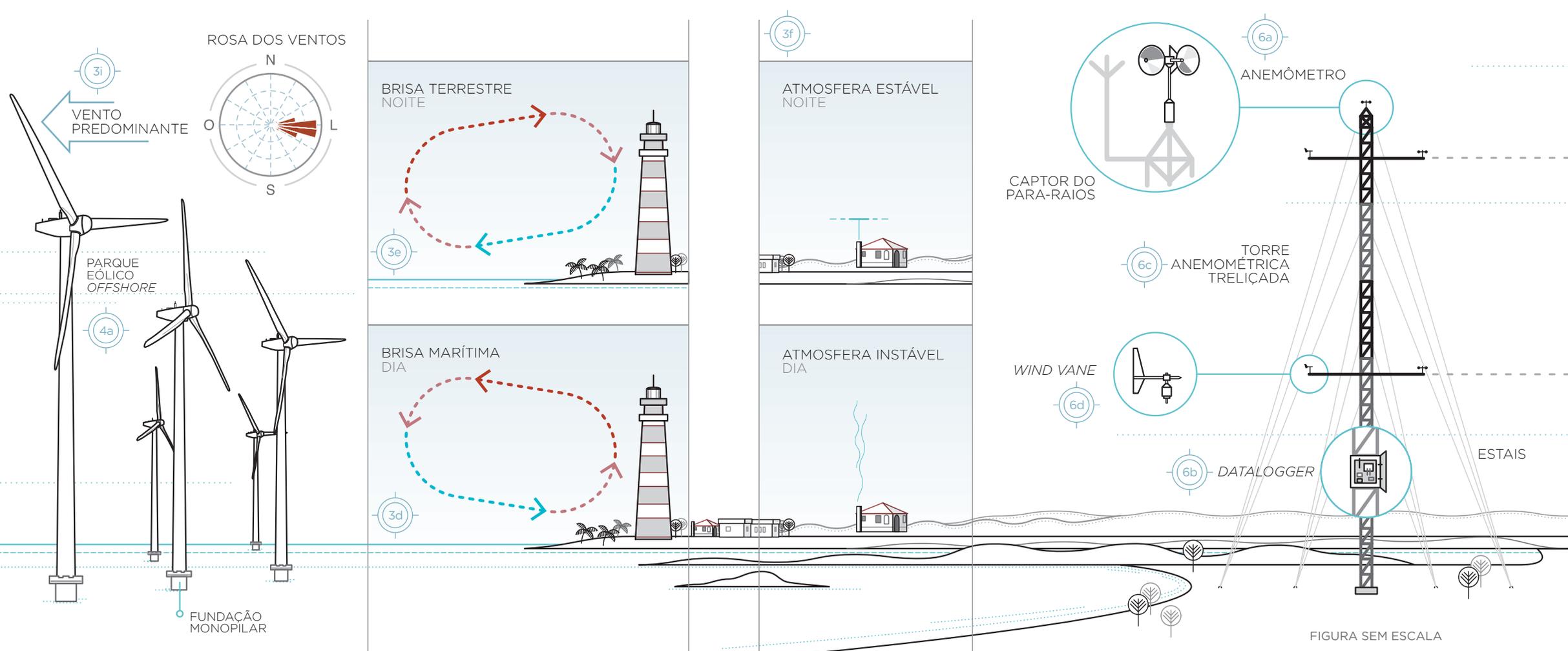


FIGURA B.1

CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA

6a ANEMÔMETRO || Instrumento utilizado para medir a velocidade do vento.

6b DATALOGGER || Dispositivo eletrônico para registro digital de dados meteorológicos provindos de múltiplos sensores.

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^[23], incorporando princípios tais como a conservação da massa, *momentum* e energia, efeitos viscosos e de estabilidade térmica sobre o gradiente vertical do vento.

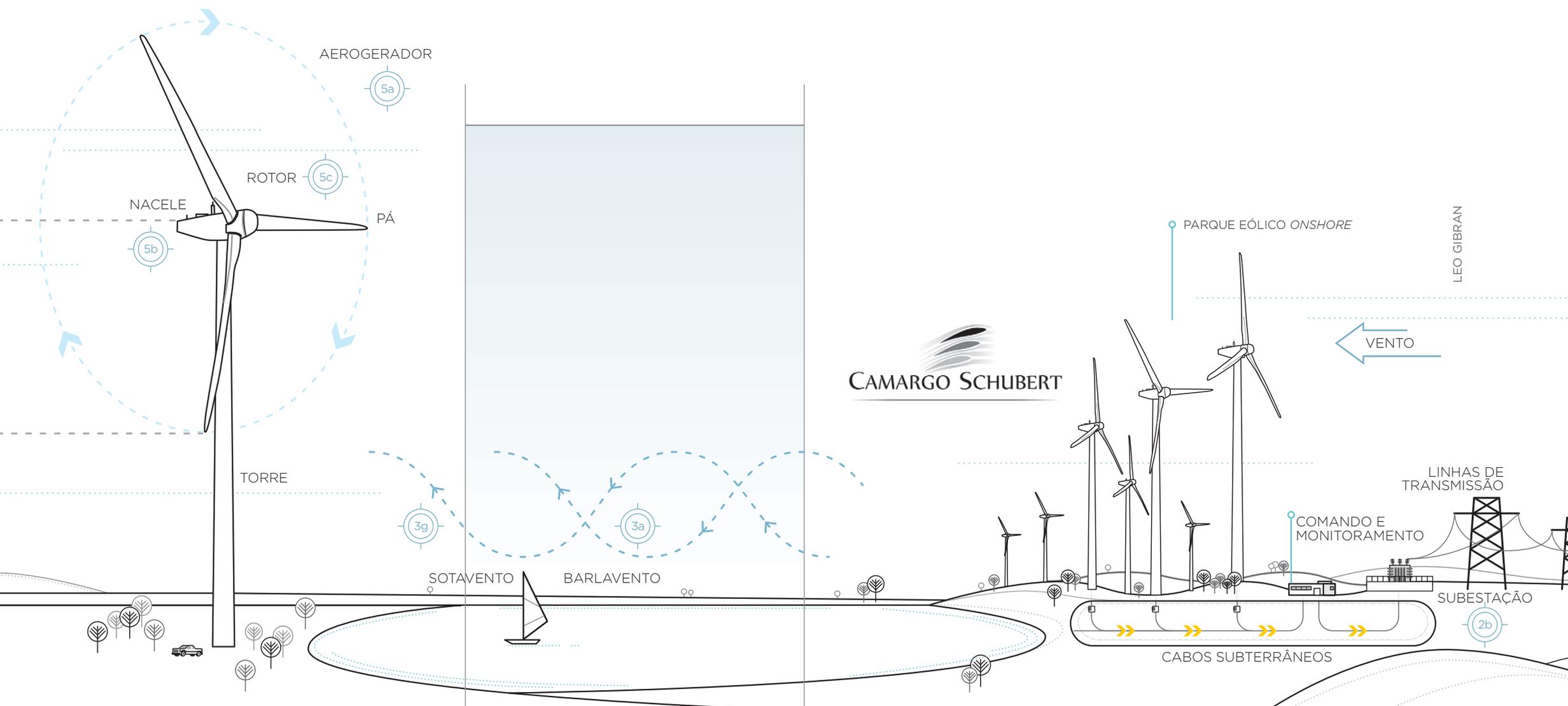
REANÁLISE || Processo de integração de dados provenientes de vários sistemas de observação, com modelos numéricos e outras metodologias, que envolvem a reanálise e o reprocessamento de dados meteorológicos, abrangendo períodos históricos de décadas e utilizando métodos modernos e consistentes. O objetivo é produzir um conjunto de dados que possa ser utilizado para estudos meteorológicos e climatológicos.

SENSORIAMENTO REMOTO || Ciência e arte que possibilita 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^[77].

6c TORRE ANEMOMÉTRICA || Conjunto composto por torre (tipicamente do tipo treliçada e estaiada), *datalogger*, sistema de transmissão de dados, anemômetros, *wind vanes* e outros instrumentos meteorológicos (termômetros, barômetros e higrômetros).

WINDMAP || *Software* proprietário, módulo do sistema *MesoMap*^{[9], [23]}, desenvolvido para o cálculo do recurso eólico, utilizando base de dados de alta resolução espacial para ajuste da topografia local e rugosidade.

6d WIND VANE || Instrumento para medir a direção do vento.



CAPÍTULO 7 – 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^[24].

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

CAPÍTULO 8 – ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

COXILHA || Extensão de terra com pequenas ou grandes variações de elevação tipicamente observada no bioma pampa. Possui, em geral, cobertura de pastagem onde se desenvolve a atividade agropecuária.

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.

DISPONIBILIDADE LÍQUIDA || Valor máximo que a usina pode gerar efetivamente. Devem ser levadas em consideração todas as restrições operativas e todas as manutenções previstas para o período^[89].

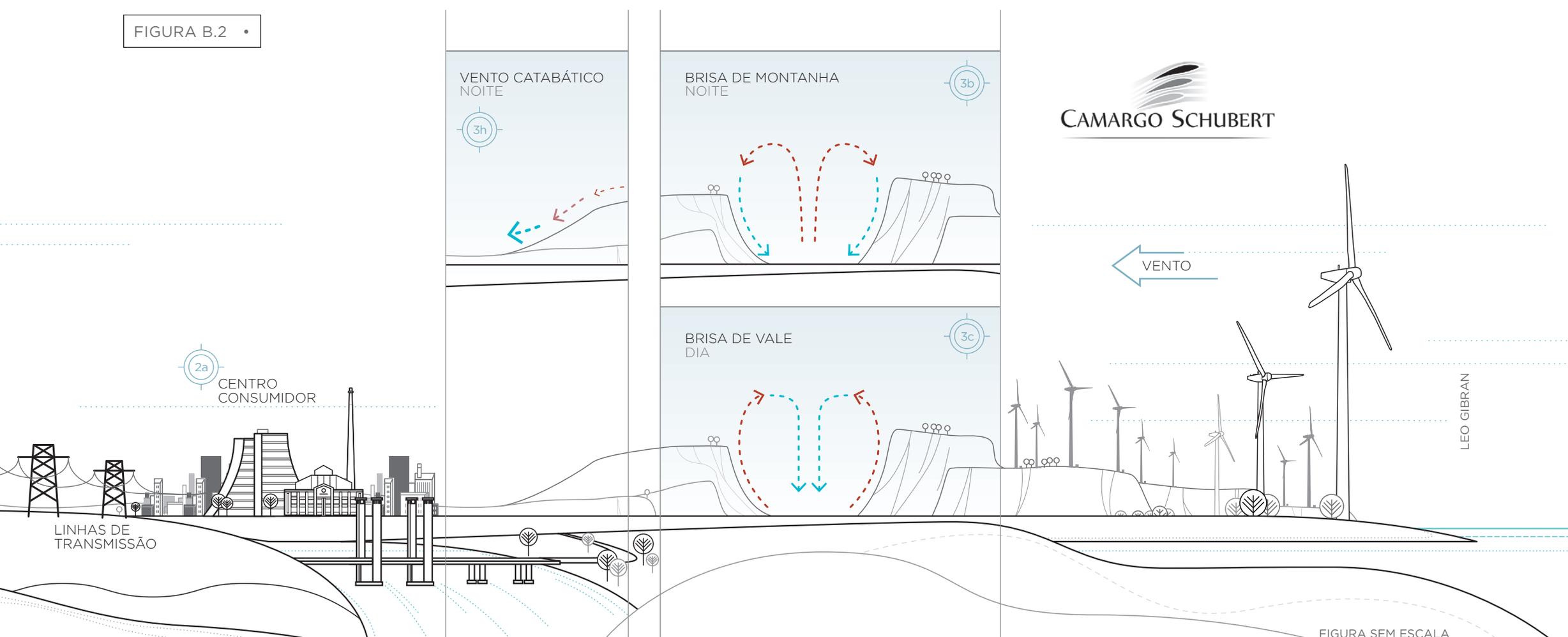
FATOR DE CAPACIDADE || Relação entre a produção de energia elétrica efetiva de um parque eólico, em um período de tempo e a capacidade nominal de produção neste mesmo período.

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.

FIGURA B.2 •



C1. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A Distribuição Estatística de Weibull^[103] 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. Se o fator de forma for 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^[103]

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

Por ser mais abrangente, 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^[5].

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

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

em que 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 .

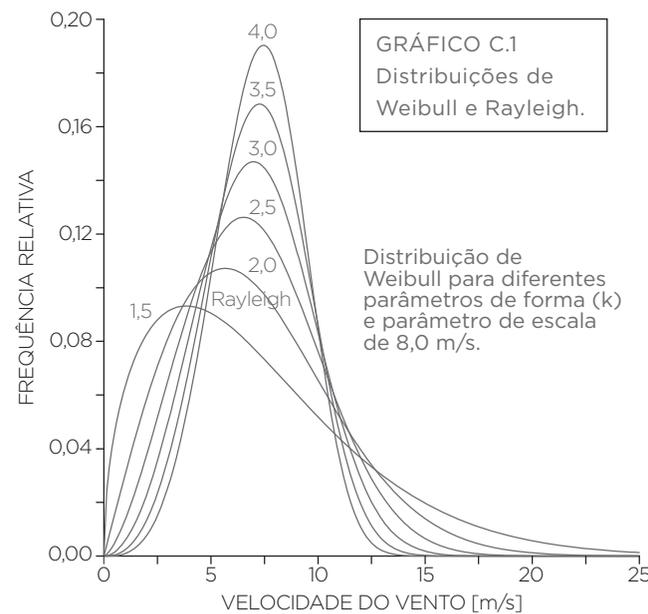
O Fluxo ou Densidade de Potência Eólica é definido como

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

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

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

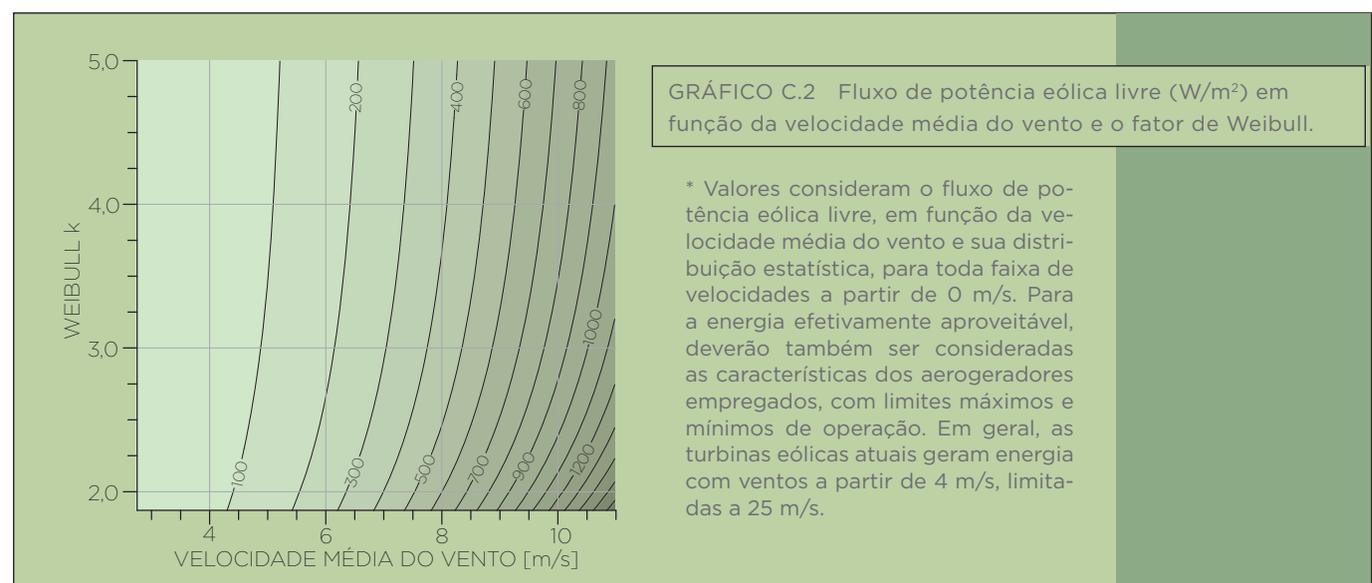
em que ρ é a densidade do ar^[82].



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 Função Gama para diferentes valores de k .

O GRÁFICO C.2 apresenta a correspondência entre o fluxo de potência eólica e a velocidade média do vento, para diferentes fatores de forma de Weibull.



C2. 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^[94]

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

em que $u(h)$ 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^[112].

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

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

em que $u(h)$ é a velocidade do vento na altura h e α é o “exponente de camada-limite”.

C · Fórmulas e Mapas Úteis – Apêndice

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

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

C3. 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 7, foi apresentado o mapa de densidade média anual para todo o Estado do Rio Grande do Sul, considerando-se um perfil vertical de temperatura segundo as equações da *International Standard Atmosphere – ISA*^[87], calculado sobre o modelo de relevo na resolução de 200 m x 200 m e ajustado para dados de temperatura coletados em 29 estações do INMET, entre 1961 e 1990^[58].

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:

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

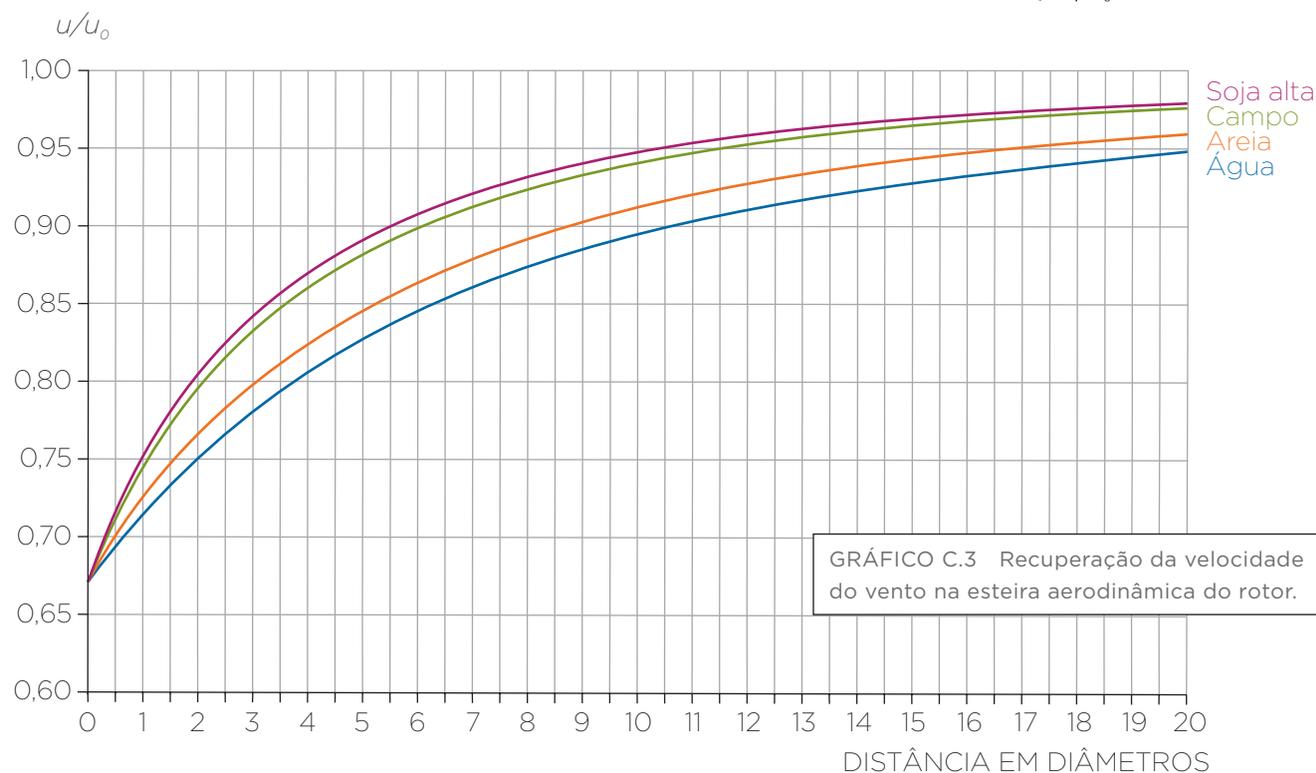


GRÁFICO C.3 Recuperação da velocidade do vento na esteira aerodinâmica do rotor.

C4. ESTEIRA AERODINÂMICA

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

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

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

Ao absorver a energia cinética, o rotor reduz a velocidade do vento imediatamente a sotavento do disco, mas essa velocidade se recupera gradualmente, ao se misturar com as massas de ar do escoamento livre. Após alguma distância a sotavento, que varia com a velocidade do vento, com a condição de operação da turbina, com a rugosidade de terreno e com a condição de estabilidade térmica da atmosfera, o escoamento praticamente recupera a velocidade original e turbinas adicionais podem ser instaladas. A relação entre as velocidades do escoamento livre (u_0) e na esteira, a uma distância axial x do rotor (u), é dada por^[60]

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

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

em que β é a constante de decaimento da esteira, h é a altura do centro do rotor, z_0 é a rugosidade do terreno, C_t é o coeficiente aerodinâmico de tração na turbina e F_T é a força axial (tração) sobre rotor. O GRÁFICO C.3 exemplifica o modelo descrito, comparando a recuperação da velocidade do vento ao passar pelo rotor de uma turbina eólica, em diferentes tipos de terrenos.

C5. PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA – PAE E FATOR DE CAPACIDADE

A Produção Anual de Energia 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 ($f(u)$)^[60], conforme ilustrado no GRÁFICO C.4.

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

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

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

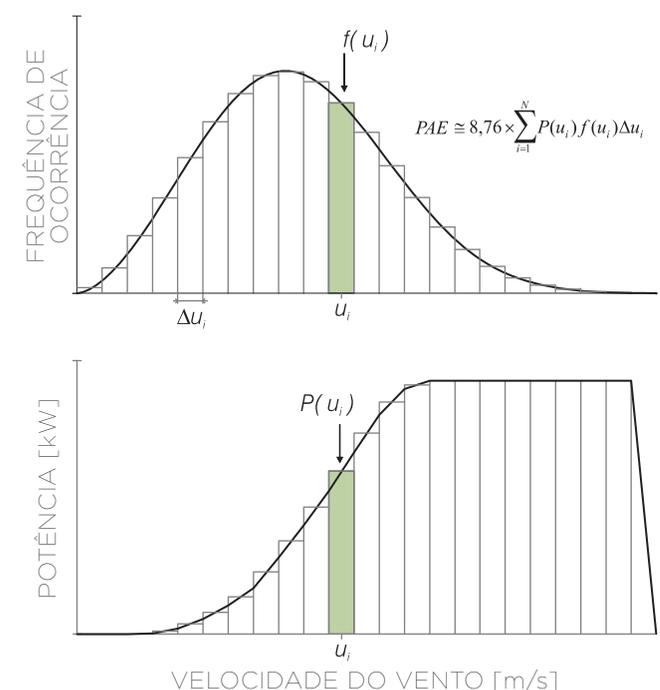


GRÁFICO C.4 Cálculo da Produção Anual de Energia.

C6. 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:

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

em que:

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 anterior, o fator R (rendimento) pode ser calculado da seguinte maneira:

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

em que:

t = taxa de atratividade (%/ano)

n = vida útil da usina (anos)

E o fator de capacidade líquido pode ser calculado por:

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

em que:

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 anterior, o fator de capacidade bruto da usina é dado por:

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

em que:

E = produção anual de energia bruta estimada para a usina (MWh)

Pot = capacidade instalada total da usina (MW)

C7. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

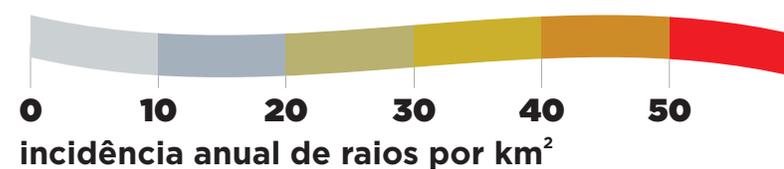
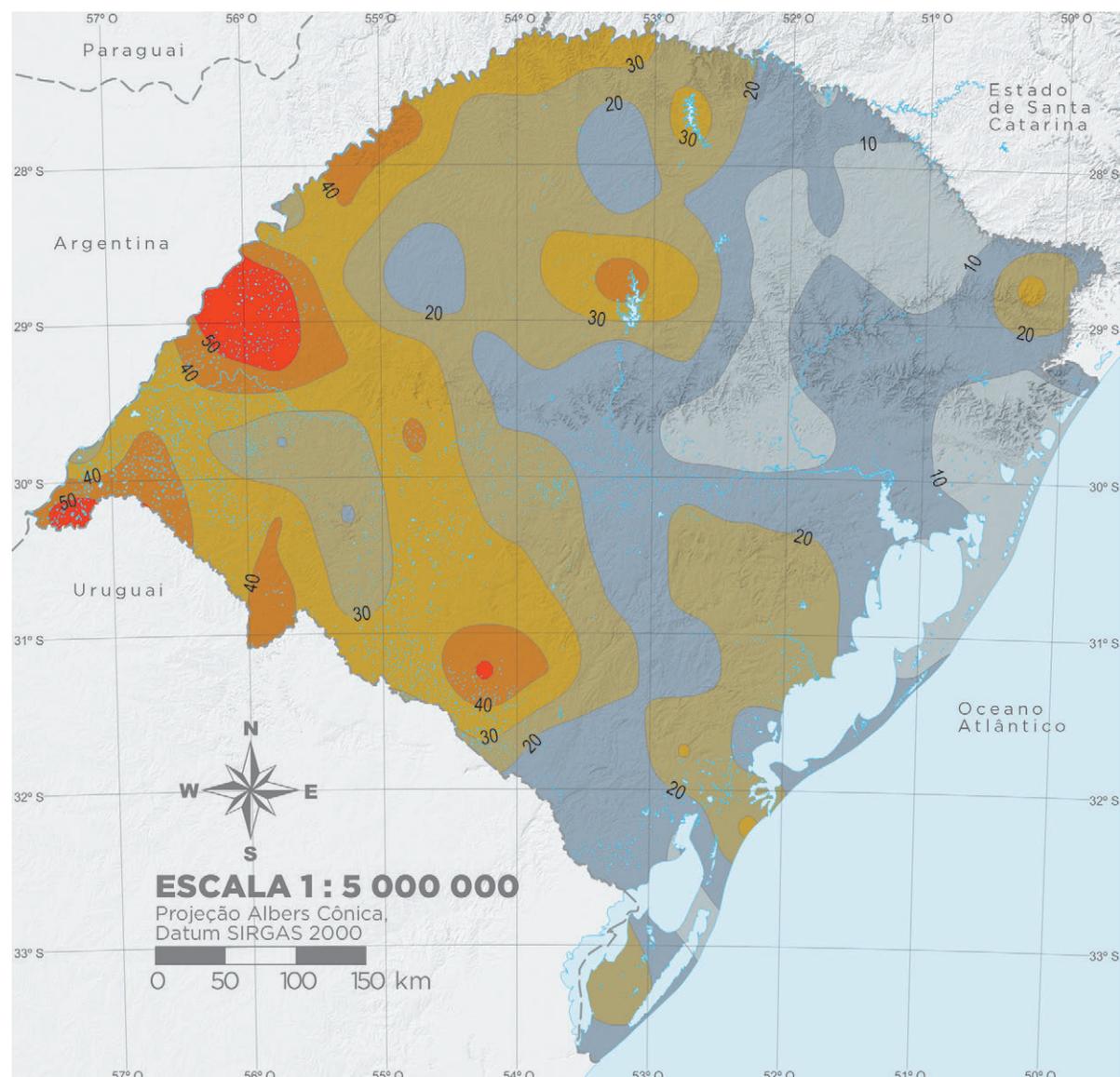
Estudos relacionam a alta incidência de raios sobre o território brasileiro às condições climáticas tropicais e à ausência de grandes elevações no relevo^[38]. Em um levantamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE a partir

de dados obtidos em 2005/2006, municípios gaúchos figuravam entre os mais atingidos por raios em solo brasileiro, com grande destaque para a região do Planalto das Missões. Como informação auxiliar aos projetos de sistemas de proteção, tanto de torres anemométricas como de instalações de geração de energia, foram desenvolvidos mapas de incidência de descargas atmosféricas sobre solo gaúcho, com base em estimativas calculadas a partir de dados de satélite da NASA.

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

MAPA C.1

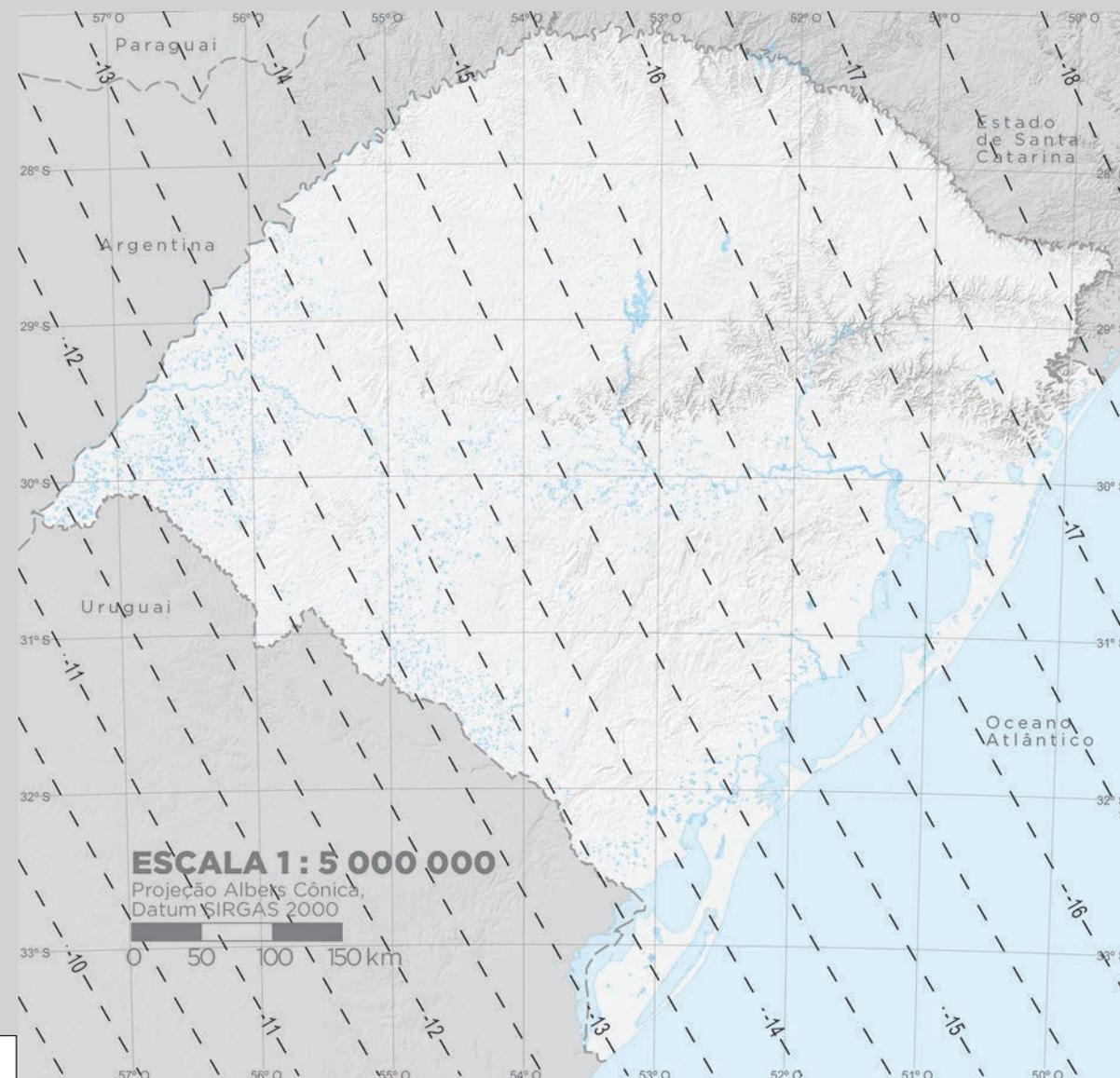
Climatologia da densidade anual de raios por km², estimada a partir de medições dos sensores orbitais *Optical Transient Detector* – OTD e *Lightning Imaging Sensor* – LIS.



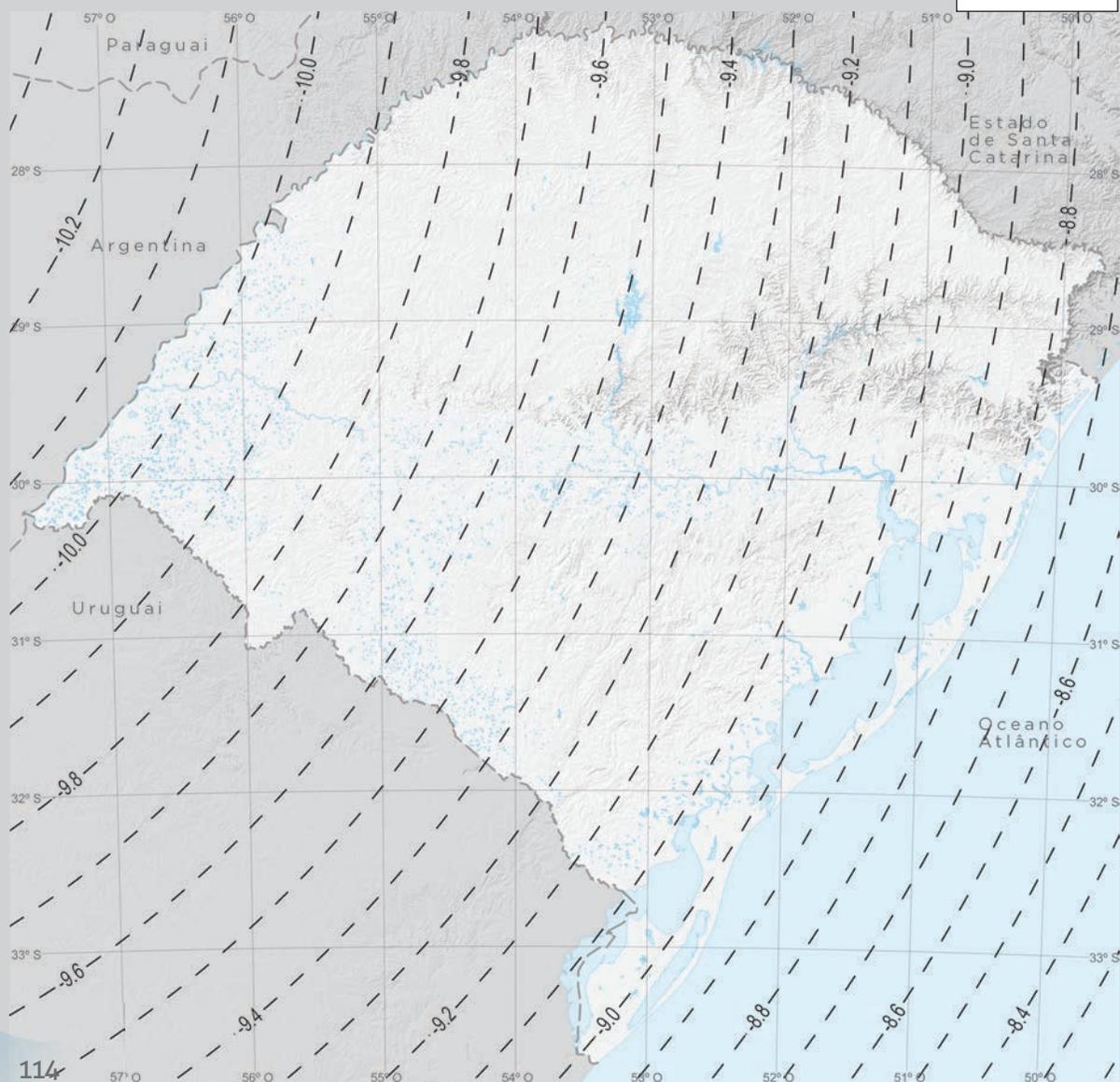
C8. DECLINAÇÃO MAGNÉTICA

Como informação auxiliar à instalação futura de sensores de direção em torres anemométricas no Estado do Rio Grande do Sul, foram desenvolvidos mapas de declinação magnética e variação magnética anual para os anos de 2011-2015^[48].

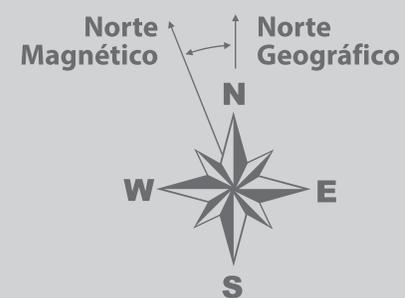
DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
(graus) em
1º de janeiro de 2014



MAPA C.2 •



VARIAÇÃO ANUAL
(minutos de grau/ano)
entre 2011 e 2015



Mapas produzidos a partir do modelo *International Geomagnetic Reference Field - IGRF*, versão 11 (válida entre 1900-2015)^[48].

Subestações: Coordenadas e Tensões – Apêndice · D

Como informação útil para estudos de conexão de usinas eólicas ao sistema elétrico gaúcho, as tabelas abaixo apresentam a localização das principais subestações constantes no mapa do sistema elétrico do Capítulo 2.

TABELA D.1 ·

SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO (REDE BÁSICA)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
ALE	Alegrete	138/69	29° 47' 02" S	55° 46' 15" O
ALE2	Alegrete2	230	29° 46' 40" S	55° 43' 32" O
ATL2	Atlântida2	230/69	29° 46' 57" S	50° 03' 16" O
BAG2	Bagé2	230/69/13,8/23,1	31° 17' 21" S	54° 04' 17" O
CAM	Camaquã	230/69/23,1	30° 49' 42" S	51° 48' 55" O
CAM3	Camaquã3	69/230	30° 48' 32" S	51° 48' 31" O
CBO	Campo Bom	230	29° 41' 38" S	51° 04' 00" O
CNA1	Canoas1	230	29° 56' 54" S	51° 11' 27" O
CNA2	Canoas2	230	29° 52' 29" S	51° 08' 39" O
CTT	Castertech	230	29° 08' 47" S	51° 08' 53" O
CAX	Caxias	525/230	29° 16' 37" S	51° 12' 03" O
CAX2	Caxias2	230	29° 08' 31" S	51° 09' 26" O
CAX5	Caxias5	230	29° 07' 56" S	51° 11' 30" O
CAX6	Caxias6	230/69	29° 09' 41" S	51° 07' 22" O
CCH	Cerro Chato	230/34,5	30° 48' 52" S	55° 42' 19" O
CHA	Charqueadas	230/69	29° 57' 07" S	51° 37' 21" O
CIAG	CIAG	230	29° 56' 06" S	50° 54' 56" O
CIN	Cidade Industrial	138/230	29° 53' 28" S	51° 10' 48" O
UDFR	Dona Francisca	230	29° 27' 05" S	53° 17' 26" O
ELD	Eldorado do Sul	230/23,1	30° 00' 51" S	51° 19' 06" O
FAR	Farroupilha	230/69	29° 13' 14" S	51° 19' 28" O
FIB	FibraPlac	230	29° 53' 54" S	50° 46' 01" O

FCO	Foz do Chapecó	230/138	27° 08' 22" S	53° 03' 10" O
GAR	Garibaldi	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GAR 1	Garibaldi1	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GRA	Gravataí	525/230	29° 52' 55" S	51° 03' 47" O
GRA2	Gravataí2	230/69/23,1	29° 52' 58" S	51° 03' 48" O
GRA3	Gravataí3	230/69	29° 53' 16" S	50° 57' 46" O
GUA2	Guaíba2	230/69	30° 07' 49" S	51° 22' 53" O
GRT	Guarita	230	27° 36' 45" S	53° 34' 15" O
IJU2	Ijuí2	230/69	28° 21' 49" S	53° 54' 11" O
UITA	Itaíba	230	29° 15' 39" S	53° 14' 04" O
LGR	Lajeado Grande	230/138	28° 59' 26" S	50° 33' 24" O
LVE2	Lagoa Vermelha2	230/138	28° 11' 09" S	51° 31' 23" O
LAJ2	Lajeado2	230/69	29° 27' 54" S	51° 59' 05" O
LIV2	Livramento2	230/69	30° 51' 45" S	55° 32' 35" O
MBR	Maçambará	230/69	29° 09' 06" S	56° 03' 59" O
MAR2	Marmeleiro2	525	33° 8' 20" S	52° 59' 23" O
MIS	Missões	230/69	28° 23' 18" S	54° 55' 58" O
MCL	Monte Claro	230	29° 00' 48" S	51° 32' 09" O
NPE2	Nova Petrópolis2	230/69	29° 21' 09" S	51° 00' 20" O
NPR2	Nova Prata2	230	28° 48' 26" S	51° 36' 49" O
NSR	Nova Santa Rita	525/230	29° 49' 24" S	51° 20' 06" O
OSO2	Osório2	230/138/69	29° 53' 43" S	50° 18' 55" O
PFU	Passo Fundo	230/138	27° 29' 03" S	52° 43' 07" O
UPRE	Passo Real	230/138	29° 01' 05" S	53° 11' 27" O
PEL3	Pelotas3	230/138/13,8	31° 43' 34" S	52° 24' 28" O
PPE	Polo Petroquímico	230/69	29° 52' 10" S	51° 23' 20" O

PAL10	Porto Alegre10	230/69/13,8	30° 02' 49" S	51° 11' 47" O
PAL13	Porto Alegre13	230/13,8	30° 05' 44" S	51° 13' 28" O
PAL4	Porto Alegre4	230/13,8	30° 02' 49" S	51° 13' 42" O
PAL6	Porto Alegre6	230/69/13,8	30° 03' 53" S	51° 08' 33" O
PAL8	Porto Alegre8	230/69/13,8	30° 00' 32" S	51° 08' 31" O
PAL9	Porto Alegre9	230/69/13,8	29° 58' 16" S	51° 11' 48" O
PNO	Povo Novo	230/525	31° 55' 47" S	52° 20' 27" O
UPME	Presidente Médici	230/138/69/23,1	31° 33' 08" S	53° 40' 52" O
QUI	Quinta	230/138/69/13,8	32° 04' 38" S	52° 16' 05" O
SCR1	Santa Cruz1	230/69	29° 45' 02" S	52° 25' 03" O
SMA3	Santa Maria3	230/69	29° 40' 53" S	53° 52' 34" O
SMT	Santa Marta	230/138/69	28° 17' 02" S	52° 25' 47" O
SRO1	Santa Rosa1	230	27° 52' 38" S	54° 27' 28" O
SVP2	Santa Vitória do Palmar2	138/525	33° 28' 34" S	53° 18' 00" O
STA	Santo Ângelo	525/230	28° 16' 47" S	54° 19' 34" O
SAG2	Santo Ângelo2	230/69	28° 18' 13" S	54° 17' 08" O
SBO2	São Borja2	230/69	28° 41' 25" S	55° 59' 47" O
SVI	São Vicente do Sul	230/69	29° 41' 38" S	54° 41' 48" O
SCH	Scharlau	230/138/69	29° 43' 02" S	51° 08' 56" O
TPR2	Tapera2	230/69	28° 40' 01" S	52° 51' 52" O
TAQ	Taquara	230/138	29° 39' 19" S	50° 47' 41" O
CUR	Uruguiana (Conversora)	230/132	29° 48' 20" S	57° 00' 18" O
URU5	Uruguiana5	230/69	29° 48' 27" S	57° 00' 15" O
VAI	Venâncio Aires1	230/69	29° 38' 03" S	52° 09' 24" O

TABELA D.2 ·

RGE (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
APR	Antônio Prado	69/23,1	28° 50' 40" S	51° 16' 41" O
ART	Aratiba	44/13,8	27° 24' 57" S	52° 18' 21" O
BGA	Bento Gonçalves1	69/13,8	29° 09' 35" S	51° 30' 05" O
BGB	Bento Gonçalves2	69/13,8	29° 11' 05" S	51° 30' 46" O
CCB	Cachoeirinha2	69/23,1	29° 55' 57" S	51° 04' 53" O
CBR	Cambará	69/13,8	29° 02' 58" S	50° 08' 20" O
CNO	Campo Novo	69/23,1	27° 40' 56" S	53° 47' 54" O
CNT	Canastra2	138/69	29° 23' 35" S	50° 44' 51" O
CNL	Canela	69/13,8	29° 21' 40" S	50° 51' 05" O
CAB	Carlos Barbosa	69/13,8	29° 16' 22" S	51° 29' 42" O
CAS	Casca	138/23,1	28° 34' 11" S	51° 59' 19" O
CXA	Caxias1	69/13,8	29° 10' 57" S	51° 12' 30" O
CXC	Caxias3	69/13,8	29° 10' 17" S	51° 09' 43" O
CXD	Caxias4	69/13,8	29° 06' 58" S	51° 06' 53" O
CLA	Cerro Largo	69/23,1	28° 09' 14" S	54° 43' 09" O
SRB	Cruzeiro	69/23,1	27° 51' 30" S	54° 26' 27" O
ENG	Englert	44/13,8	28° 02' 21" S	52° 16' 08" O
ERS	Entre Rios	138/23,1	27° 29' 04" S	52° 43' 06" O
ERB	Erechim2	138/13,8	27° 38' 01" S	52° 14' 21" O
ERC	Erechim3	138/138	27° 39' 27" S	52° 18' 48" O
FAR	Farroupilha RGE	69/13,8	29° 13' 12" S	51° 19' 30" O
FEL	Feliz	69/23,1	29° 27' 00" S	51° 18' 12" O

FCU	Flores da Cunha	69/13,8	29° 02' 14" S	51° 10' 06" O
FWE	Frederico Westphalen	69/23,1	27° 22' 30" S	53° 24' 01" O
GAB	Garibaldi2	69/13,8	29° 14' 17" S	51° 30' 47" O
GAU	Gaurama	69/23,1/13,8	27° 35' 29" S	52° 06' 39" O
GVA	Getúlio Vargas	69/13,8	27° 54' 12" S	52° 14' 20" O
GIR	Girú	69/23,1	28° 01' 36" S	54° 20' 22" O
GLO	Glorinha	69/23,1	29° 53' 24" S	50° 47' 52" O
GMD	Gramado	69/13,8	29° 24' 05" S	50° 52' 15" O
GTA	Gravataí1	69/23,1	29° 57' 12" S	51° 00' 02" O
GPR	Guaporé	138/69/23,1	28° 50' 08" S	51° 53' 43" O
HZT	Horizontina	69/23,1	27° 38' 09" S	54° 19' 04" O
IBR	Ibirubá	69/23,1/13,8	28° 38' 09" S	53° 05' 30" O
JCT	Jacutinga	44/13,8	27° 44' 17" S	52° 31' 58" O
JQR	Jaquirana	69/23,1/13,8	28° 56' 04" S	50° 18' 13" O
LVA	Lagoa Vermelha1	138/23,1	28° 12' 57" S	51° 30' 33" O
MRU	Marau	138/23,1	28° 27' 30" S	52° 12' 19" O
NMT	Não-me-Toque	69/13,8	28° 28' 19" S	52° 48' 42" O
NPA	Nova Petrópolis	69/23,1	29° 22' 41" S	51° 07' 05" O
NPR1	Nova Prata1	69/23,1	28° 48' 02" S	51° 36' 13" O
PFI	Paim Filho	69/23,1	27° 43' 00" S	51° 46' 04" O
PAM	Palmeira das Missões	69/23,1	27° 53' 05" S	53° 18' 36" O
PRJ	Paráí	138/23,1	28° 35' 33" S	51° 47' 17" O
PRB	Parobé	138/13,8	29° 38' 12" S	50° 52' 04" O
PIF	Passo do Inferno	44/13,8	29° 16' 24" S	50° 45' 07" O
PIX	Passo do Inferno1	44/13,8	29° 16' 11" S	50° 45' 17" O
PFA	Passo Fundo1	138/13,8	28° 14' 35" S	52° 21' 27" O

MAB	PCH Marco Baldo	69/69	27° 34' 28" S	53° 47' 25" O
PNT	Planalto	138/23,1	27° 20' 20" S	53° 03' 46" O
ROL	Rolante	138/13,8	29° 38' 30" S	50° 33' 23" O
RLU	Romano Lunardi	69/13,8	29° 16' 10" S	50° 18' 39" O
ROT	Rota do Sol	69/13,8	29° 12' 24" S	50° 14' 22" O
SQI	Saiquí	44/13,8	29° 19' 29" S	50° 43' 12" O
SGA	Santo Ângelo1	69/23,1	28° 17' 49" S	54° 14' 32" O
SAU	Santo Augusto	69/23,1	27° 51' 41" S	53° 47' 13" O
SCI	Santo Cristo	69/23,1	27° 49' 38" S	54° 39' 01" O
SFP	São Francisco Paula	138/69/13,8	29° 25' 55" S	50° 34' 04" O
SLG	São Luis Gonzaga	69/23,1	28° 24' 21" S	54° 56' 38" O
SMC	São Marcos	69/13,8	28° 58' 48" S	51° 03' 41" O
SDI	Sarandi	69/23,1	27° 56' 20" S	52° 55' 57" O
SOL	Soledade	69/23,1	28° 48' 52" S	52° 30' 44" O
TIN	Tainhas	69/13,8	29° 16' 24" S	50° 19' 05" O
TJB	Tapejara2	138/13,8	28° 05' 35" S	52° 03' 40" O
TPR	Tapera1	69/23,1/13,8	28° 38' 05" S	52° 51' 56" O
TCO	Três Coroas	138/13,8	29° 30' 48" S	50° 46' 17" O
TPA	Três Passos	69/23,1	27° 26' 39" S	53° 56' 03" O
TUP	Tupaciretã	69/23,1	29° 05' 09" S	53° 49' 19" O
UIV	Usina de Ivai	44/13,8	29° 07' 28" S	53° 21' 21" O
ERN	Usina Ernestina	44/13,8	28° 33' 36" S	52° 32' 55" O
VAC	Vacaria	138/23,1	28° 29' 14" S	50° 54' 49" O
VEP	Veranópolis	69/23,1	28° 54' 28" S	51° 32' 46" O

D - Subestações: Coordenadas e Tensões – Apêndice

TABELA D.3 •

AES SUL (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
AGU	Agudo	69/23,1/13,8	29° 38' 57" S	53° 15' 29" O
ALE3	Alegrete3	69/23,1	29° 22' 59" S	56° 02' 11" O
ALE4	Alegrete4	69/23,1/13,8	29° 48' 23" S	55° 50' 37" O
ALE5	Alegrete5	69/23,1	29° 27' 45" S	56° 25' 51" O
CAV	Caçapava do Sul	69/23,1/13,8	30° 31' 14" S	53° 28' 55" O
CCQ	Cacequi	69/23,1	29° 52' 20" S	54° 49' 29" O
CCE	Cachoeira do Sul	69/23,1/13,8	30° 00' 16" S	52° 54' 26" O
CDL	Candelária	69/23,1/13,8	29° 40' 58" S	52° 46' 34" O
CNA3	Canoas3	138/23,1	29° 54' 08" S	51° 08' 56" O
CND	Canudos	69/23,1	29° 40' 42" S	51° 05' 16" O
CSE	Centro Serra	69/23,1	29° 25' 57" S	53° 01' 46" O
DIR	Dois Irmãos	138/23,1	29° 35' 23" S	51° 06' 25" O
ENC	Encantado	69/23,1	29° 13' 36" S	51° 53' 22" O
EVE	Estância Velha	138/23,1	29° 39' 05" S	51° 09' 08" O
EST	Esteio	69/23,1	29° 50' 29" S	51° 10' 40" O
ETL2	Estrela2	69/23,1/13,8	29° 28' 59" S	51° 57' 41" O
FSO	Faxinal do Soturno	69/23,1/13,8	29° 35' 28" S	53° 25' 52" O

FOR	Formigueiro	69/13,8	30° 05' 16" S	53° 38' 29" O
HAR	Harmonia	69/23,1	30° 03' 52" S	56° 09' 04" O
ITQ	Itaqui	69/23,1	29° 07' 46" S	56° 32' 40" O
JAG	Jaguari	69/23,1	29° 29' 37" S	54° 42' 02" O
LAJ1	Lajeado1	69/13,8	29° 26' 23" S	51° 57' 32" O
LIV1	Livramento1	69/23,1/13,8	30° 52' 16" S	55° 29' 59" O
MVI	Manoel Viana	69/23,1	29° 24' 27" S	55° 41' 03" O
MON	Montenegro	138/23,1	29° 40' 07" S	51° 27' 38" O
NHA1	Novo Hamburgo	69/23,1	29° 39' 44" S	51° 07' 40" O
NHA2	Novo Hamburgo2	138/23,1	29° 42' 37" S	51° 06' 41" O
PID	Parque Industrial	69/13,8	29° 49' 57" S	51° 24' 47" O
QUA	Quaraí	69/23,1	30° 23' 07" S	56° 26' 29" O
RPA	Rio Pardo	69/23,1/13,8	29° 57' 49" S	52° 21' 51" O
RSA	Roca Sales	69/23,1	29° 17' 55" S	51° 52' 53" O
ROS	Rosário	69/23,1	30° 14' 31" S	54° 55' 20" O
SCR2	Santa Cruz2	69/13,8	29° 42' 06" S	52° 26' 42" O
SMA2	Santa Maria2	69/13,8	29° 42' 39" S	53° 44' 34" O
SMA4	Santa Maria4	69/13,8	29° 42' 13" S	53° 50' 41" O
SMA5	Santa Maria5	69/13,8	29° 42' 46" S	53° 48' 27" O
SAN	Santiago	69/23,1	29° 12' 17" S	54° 51' 57" O
SSC	São Sebastião do Caí	138/23,1	29° 34' 32" S	51° 21' 38" O

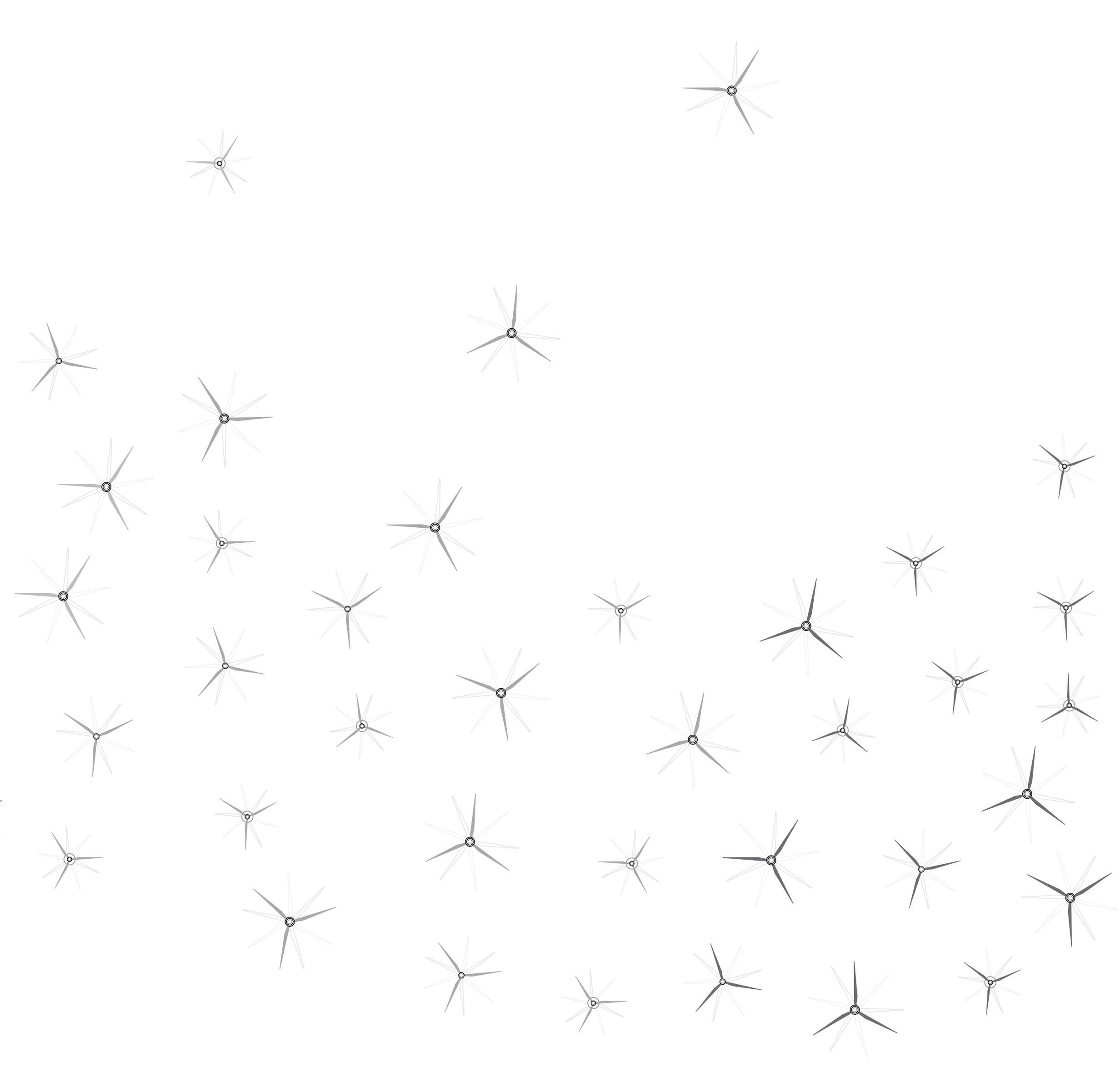
SBO1	São Borja1	69/23,1	28° 39' 58" S	56° 01' 03" O
SBO3	São Borja3	69/23,1	28° 48' 23" S	55° 33' 55" O
SFR	São Francisco	69/23,1	29° 33' 29" S	55° 07' 56" O
SGA	São Gabriel	69/23,1	30° 20' 14" S	54° 20' 01" O
SLE	São Leopoldo	138/23,1	29° 45' 42" S	51° 06' 50" O
SPE	São Pedro	69/23,1	29° 36' 08" S	54° 10' 13" O
SSE	São Sepé	69/13,8	30° 10' 03" S	53° 35' 27" O
SAP	Sapiranga	69/23,1	29° 39' 03" S	51° 00' 28" O
SPC	Sapucaia	138/23,1	29° 48' 42" S	51° 07' 58" O
SNB	Sinimbu	69/13,8	29° 32' 06" S	52° 30' 57" O
TQR	Taquari	69/13,8	29° 48' 19" S	51° 51' 06" O
TRI	Triunfo	69/13,8	29° 56' 23" S	51° 42' 41" O
TPY	Tuparay	69/23,1	29° 09' 41" S	56° 22' 07" O
URU1	Uruguaiana1	69/23,1/13,8	29° 46' 53" S	57° 03' 32" O
URU2	Uruguaiana2	69/23,1	29° 54' 05" S	56° 43' 30" O
URU3	Uruguaiana3	69/23,1	30° 06' 16" S	57° 19' 39" O
URU4	Uruguaiana4	69/23,1	29° 32' 47" S	56° 44' 09" O
URU7	Uruguaiana7	69/23,1	29° 45' 39" S	57° 03' 28" O
VSO	Vale do Sol	69/23,1/13,8	29° 41' 33" S	52° 39' 09" O
VAI2	Venâncio Aires2	69/13,8	29° 37' 35" S	52° 11' 50" O
ZOO	Zoológico	138/23,1	29° 47' 07" S	51° 09' 49" O

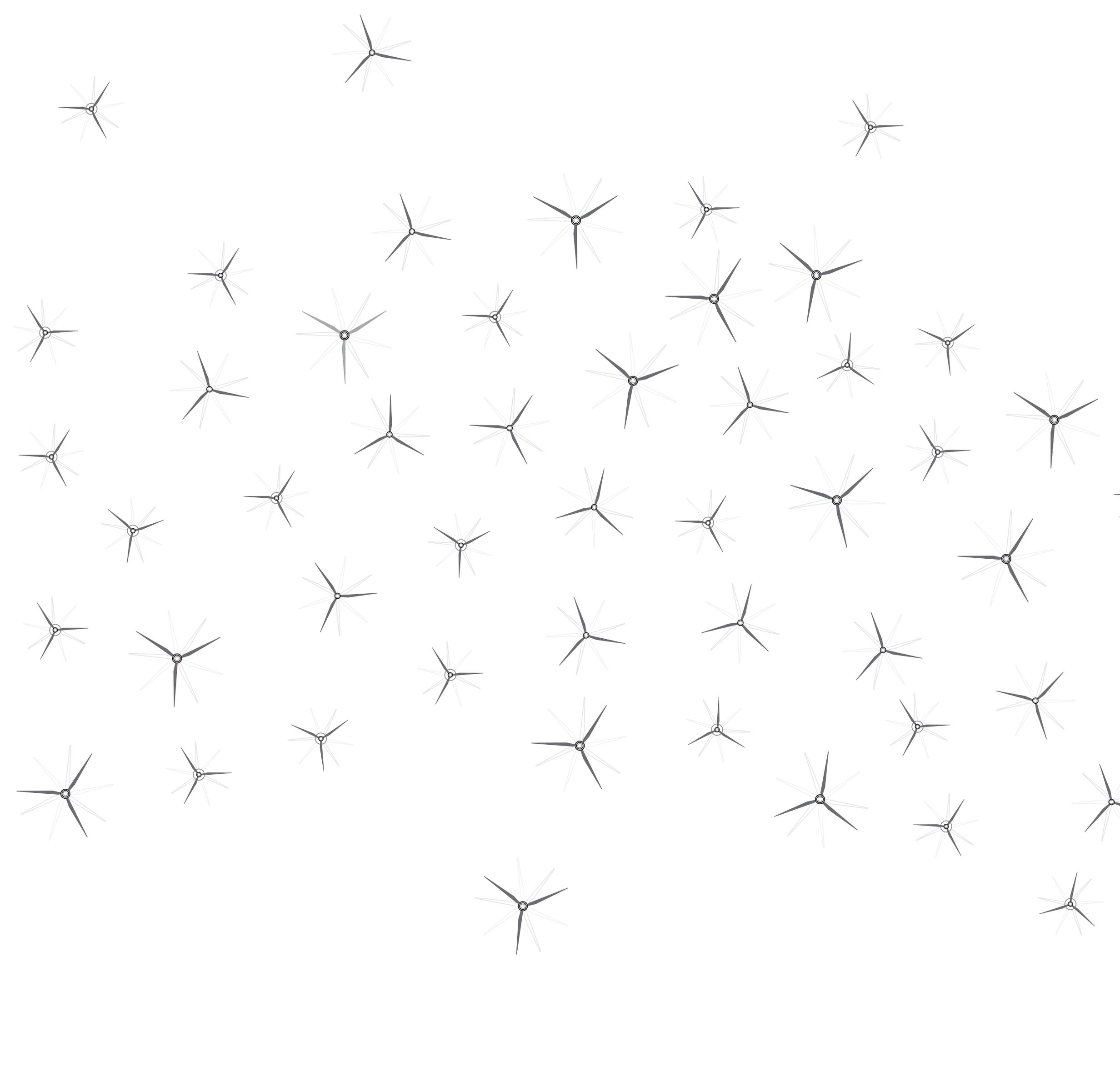
TABELA D.4 •

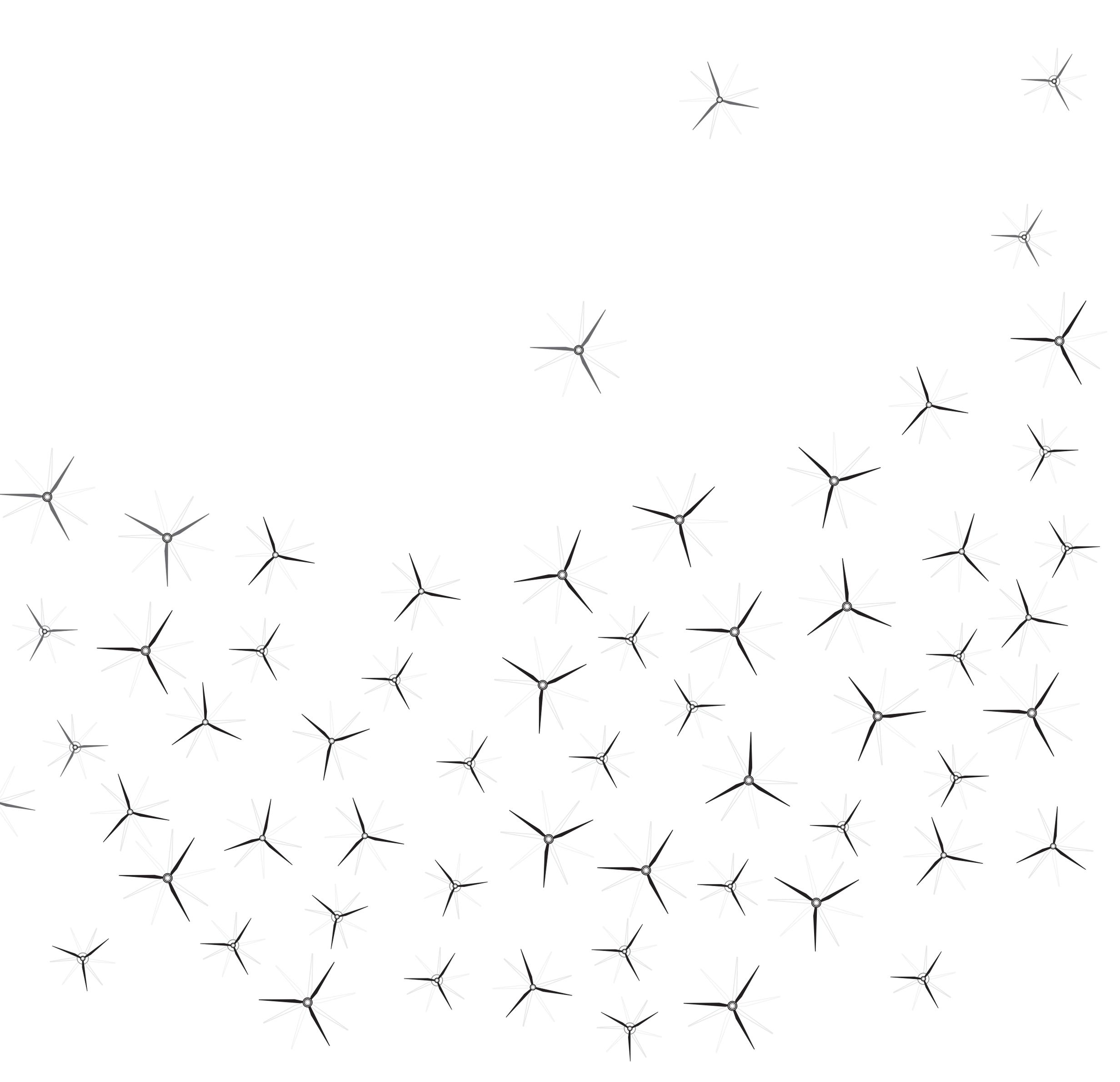
CEEE (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
ALE2	Alegrete2	230	29° 46' 40" S	55° 43' 32" O
ALV	Alvorada	69/23,1	30° 00' 35" S	51° 02' 03" O
ARE	Areal	69/23,1	30° 06' 46" S	51° 50' 03" O
ASA	Arroio do Sal	69/13,8	29° 32' 42" S	49° 53' 33" O
AGR	Arroio Grande	138/23,1	32° 13' 53" S	53° 05' 28" O
ATL	Atlântida	69/13,8	29° 46' 13" S	50° 01' 28" O
ATS	Atlântida Sul	69/13,8	29° 52' 14" S	50° 05' 20" O
BAG1	Bagé1	69/13,8	31° 19' 57" S	54° 03' 55" O
BAG2	Bagé2	230/69/23,1/13,8	31° 17' 21" S	54° 04' 17" O
BAS	Basílio	138	31° 52' 36" S	53° 01' 31" O
UBUG	Bugres	69	29° 20' 36" S	50° 41' 45" O
CAC1	Cachoeirinha1	138/69	29° 54' 36" S	51° 05' 18" O
CAM	Camaquã	230/69/23,1	30° 49' 42" S	51° 48' 55" O
CAM2	Camaquã2	69/23,1	30° 50' 31" S	51° 45' 07" O
CBO	Campo Bom	230	29° 41' 38" S	51° 04' 00" O
UCAN	Canastra	138/69	29° 23' 37" S	50° 44' 43" O
CGU	Canguçu	69/23,1	31° 23' 05" S	52° 42' 29" O
CNA1	Canoas1	230	29° 56' 54" S	51° 11' 27" O
CNA2	Canoas2	230	29° 52' 29" S	51° 08' 39" O
CPN	Capão Novo	69/13,8	29° 40' 41" S	49° 59' 24" O
CPV	Capivarita	69/23,1	30° 19' 54" S	52° 19' 53" O
CSN	Cassino	69/13,8	32° 10' 11" S	52° 10' 29" O
CTT	Castertech	230	29° 08' 47" S	51° 08' 53" O
CAX2	Caxias2	230	29° 08' 31" S	51° 09' 26" O
CAX5	Caxias5	230	29° 07' 56" S	51° 11' 30" O
CHA2	Charqueadas2	69/13,8	29° 57' 25" S	51° 36' 36" O
CIAG	CIAG	230	29° 56' 06" S	50° 54' 56" O
CIN	Cidade Industrial	230/138	29° 53' 28" S	51° 10' 48" O
CAL	Cruz Alta	138/69	28° 36' 44" S	53° 36' 56" O
CAL 1	Cruz Alta1	138/69	28° 36' 44" S	53° 36' 56" O
DPE	Dom Pedrito	69	30° 59' 34" S	54° 40' 32" O
UDFR	Dona Francisca	230	29° 27' 05" S	53° 17' 26" O
ELD	Eldorado do Sul	230/23,1	30° 00' 51" S	51° 19' 06" O
ECZ	Encruzilhada do Sul	69/23,1	30° 32' 09" S	52° 31' 01" O
ERE1	Erexim1	138	27° 39' 24" S	52° 18' 49" O
UERN	Ernestina	44	28° 33' 34" S	52° 32' 55" O

ERG	Estaleiro Rio Grande	69	32° 05' 32" S	52° 06' 27" O
FAR	Farroupilha	230/69	29° 13' 10" S	51° 19' 28" O
FIB	Fibraplac	230	29° 53' 54" S	50° 46' 01" O
GAR	Garibaldi	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GAR 1	Garibaldi1	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GKN2	GKN	69	29° 57' 17" S	51° 36' 26" O
GRA2	Gravatá2	230/69/23,1	29° 52' 58" S	51° 03' 48" O
GUA1	Guaíba1	69/23,1	30° 07' 55" S	51° 19' 46" O
GUA2	Guaíba2	230/69	30° 07' 49" S	51° 22' 53" O
GRT	Guarita	230	27° 36' 45" S	53° 34' 15" O
IJU1	Ijuí	69	28° 24' 28" S	53° 55' 32" O
IRA	Irapuazzino	23,1/13,8	30° 32' 16" S	53° 00' 50" O
UITA	Itaíba	230	29° 15' 39" S	53° 14' 04" O
UJAC	Jacuí	138	29° 04' 52" S	53° 13' 36" O
JGR	Jaguarião	138/23,1	32° 33' 15" S	53° 22' 17" O
LVE2	Lagoa Vermelha2	230/138	28° 11' 09" S	51° 31' 23" O
LAJ2	Lajeado2	230/69	29° 27' 54" S	51° 59' 05" O
LIV2	Livramento2	230/69	30° 51' 45" S	55° 32' 35" O
MBR	Maçambará	230/69	29° 09' 06" S	56° 03' 59" O
MML	Marmeleiro	138/23,1	33° 08' 48" S	52° 59' 07" O
MDE	Menino Deus	69/13,8	30° 04' 22" S	51° 14' 28" O
CRM 1	Minas do Leão	69/23,1	30° 05' 25" S	52° 20' 34" O
MIS	Missões	230	28° 23' 18" S	54° 55' 58" O
MOS	Mostardas	138/23,1	30° 46' 58" S	50° 38' 33" O
NPR2	Nova Prata2	230	28° 48' 26" S	51° 36' 49" O
OJA	OJA	69	29° 56' 49" S	51° 34' 26" O
OSO1	Osório1	69/23,1	29° 52' 57" S	50° 15' 52" O
OSO2	Osório2	230/138/69	29° 53' 43" S	50° 18' 55" O
PMR	Palmares do Sul	138/23,1	30° 14' 36" S	50° 29' 02" O
PAN	Panambi	69	28° 17' 24" S	53° 30' 42" O
UPRE	Passo Real	230/138	29° 01' 05" S	53° 11' 27" O
POS	Pedro Osório	138/23,1	31° 55' 55" S	52° 44' 27" O
PEL1	Pelotas1	138/13,8	31° 45' 24" S	52° 18' 10" O
PEL2	Pelotas2	138/13,8	31° 45' 28" S	52° 20' 53" O
PEL3	Pelotas3	230/138/13,8	31° 43' 34" S	52° 24' 28" O
PEL4	Pelotas4	138/69/13,8	31° 39' 26" S	52° 21' 15" O
PIN	Pinhal	69/13,8	30° 14' 25" S	50° 14' 47" O
PPE	Polo Petroquímico	230/69	29° 52' 10" S	51° 23' 20" O
PAL1	Porto Alegre1	69/13,8	30° 00' 60" S	51° 10' 16" O
PAL10	Porto Alegre10	230/69/13,8	30° 02' 49" S	51° 11' 47" O

PAL12	Porto Alegre12	69/13,8	30° 02' 32" S	51° 10' 22" O
PAL13	Porto Alegre13	230/13,8	30° 05' 44" S	51° 13' 28" O
PAL14	Porto Alegre14	69/13,8	30° 09' 52" S	51° 09' 18" O
PAL16	Porto Alegre16	69/13,8	30° 01' 07" S	51° 06' 12" O
PAL2	Porto Alegre2	69/13,8	30° 00' 25" S	51° 11' 53" O
PAL3	Porto Alegre3	69/13,8	30° 03' 29" S	51° 12' 29" O
PAL4	Porto Alegre4	230/13,8	30° 02' 49" S	51° 13' 42" O
PAL5	Porto Alegre5	69/13,8	30° 02' 01" S	51° 11' 42" O
PAL6	Porto Alegre6	230/69/13,8	30° 03' 53" S	51° 08' 33" O
PAL7	Porto Alegre7	69/13,8	30° 01' 11" S	51° 12' 53" O
PAL8	Porto Alegre8	230/69/13,8	30° 00' 32" S	51° 08' 31" O
PAL9	Porto Alegre9	230/69/13,8	29° 58' 16" S	51° 11' 48" O
UPME	Presidente Médici	230/138/69/23,1	31° 33' 08" S	53° 40' 52" O
QUI	Quinta	230/138/69/13,8	32° 04' 38" S	52° 16' 05" O
RGR1	Rio Grande1	69/13,8	32° 02' 37" S	52° 07' 28" O
RGR2	Rio Grande2	69/13,8	32° 02' 32" S	52° 05' 16" O
RGR3	Rio Grande3	69/13,8/23,1	32° 06' 59" S	52° 06' 47" O
SCR1	Santa Cruz1	230/69	29° 45' 02" S	52° 25' 03" O
SMA1	Santa Maria1	138/69	29° 39' 37" S	53° 47' 31" O
SMA3	Santa Maria3	230/69	29° 40' 53" S	53° 52' 34" O
SMT	Santa Marta	230/138/69	28° 17' 02" S	52° 25' 47" O
SRO1	Santa Rosa1	230	27° 52' 38" S	54° 27' 28" O
SVP	Santa Vitória do Palmar	138/23,1	33° 32' 17" S	53° 22' 11" O
SAG2	Santo Ângelo2	69/230	28° 18' 13" S	54° 17' 08" O
SAO	Santo Antônio da Patrulha	138/23,1	29° 49' 11" S	50° 29' 54" O
SBO2	São Borja2	230/69	28° 41' 25" S	55° 59' 47" O
SJE	São Jerônimo	69/13,8		









Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-67342-01-6



9 788567 342016



Ministério de
Minas e Energia

