3. Metodologia

3.1 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. Seu desenvolvimento deu-se nos últimos três anos, com suporte do NYSERDA - New York State Energy Research and Development Authority e DoE - US Department of Energy. Além de no projeto inicial de mapeamento eólico do Estado de New York, o MesoMap tem sido ou está sendo utilizado em projetos similares nas Américas do Norte e Central, Europa e Ásia, e foi utilizado para o Brasil neste Atlas. O MesoMap tem sido aferido por medições anemométricas de alta qualidade em uma grande variedade de regimes de vento.

O MesoMap oferece diversas vantagens sobre métodos tradicionais de mapeamento de recursos eólicos. Primeiro, ele obtém representatividade para grandes áreas continentais sem a necessidade de dados anemométricos de superfície efetivamente medidos – característica importante para regiões como o Norte e o Centro-Oeste brasileiro, onde medições consistentes e confiáveis são poucas. Segundo, o MesoMap modela importantes fenômenos meteorológicos não considerados em modelos mais simplificados de escoamento de ventos (por exemplo, WAsP – Jackson-Hunt, ou WindMap – NOABL). Esses fenômenos incluem ondas orográficas, ventos convectivos, brisas marinhas e lacustres e ventos térmicos descendentes de montanhas. Finalmente, o MesoMap simula diretamente os regimes de vento de longo prazo, diminuindo a incerteza intrínseca de ajustes climatológicos baseados em correlações de registros de vento de curto e longo prazos obtidos por medições em superfície.

3.1.1 Modelos

O núcleo do Sistema MesoMap é o MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), um modelo numérico de previsão de tempo, estado-da-arte no setor, desenvolvido desde o início dos anos 1980 pela empresa MESO Inc., que integra a joint-venture TrueWind Solutions e LLC. O MASS é similar a outros modelos de previsão de tempo, como ETA e Mm5. Ele incorpora os princípios físicos fundamentais de movimentação atmosférica, que incluem:

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

Como é um modelo dinâmico, o MASS simula a evolução das condições atmosféricas em intervalos de tempo necessariamente de poucos segundos. Disso resultam grandes demandas computacionais, que requerem o uso de supercomputadores ou redes de poderosas estações de trabalho com múltiplos processadores em paralelo. Adicionalmente, o MASS também está acoplado a dois módulos de cálculo mais rápido: ForeWind, um modelo dinâmico de camada-limite viscosa desenvolvido pela TrueWind Solutions, e WindMap (versão especial adaptada para esta finalidade), um modelo tridimensional de consistência de massa com interface para dados geográficos de geoprocessamento (SIG) de alta resolução, desenvolvido pela Brower&Co, também integrante da joint-venture TrueWind Solutions. Para áreas e casos específicos, um desses dois módulos é escolhido para aumentar a resolução espacial das simulações do MASS.

3.1.2 Dados de Entrada

Diversos dados geográficos e meteorológicos são utilizados como entrada para o Sistema MesoMap. Os principais dados geográficos de entrada são topografia, uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN).

O modelo de relevo utilizado pelo MesoMap neste Atlas foi desenvolvido pela US Geological Survey (USGS), na forma de malha digital de cotas, a partir de diversas fontes de dados, com resolução horizontal de 1km. O modelo USGS foi aferido e eventualmente corrigido em algumas áreas dos Estados do Ceará e de Santa Catarina, onde existiam modelos digitais em maior resolução desenvolvidos pela Camargo Schubert a partir das curvas de nível de cartas 1:50.000 ou 1:100.000 digitalizadas (SUDENE ou IBGE). A figura 3.2(p.17) apresenta o modelo de relevo do Brasil adotado no Atlas. Para efeito de visualização e síntese, às imagens está sobreposto o relevo sombreado com iluminação a partir da direção predominante geral sobre o Brasil – Leste-Nordeste. Dessa forma são ressaltadas as encostas expostas e sombreados os declives mais pronunciados a jusante.

Os dados de uso do solo utilizados no presente Atlas foram produzidos em um projeto de cooperação entre a US Geological Survey, a Universidade de Nebraska e o Joint Research Centre (JRC) da Comissão Européia. Assim como os mapas de IVDN, seu desenvolvimento teve como base a interpretação de dados do AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer (Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta). Tanto os dados de uso do solo quanto os de IVDN são convertidos pelo MesoMap em parâmetros biofísicos tais como: modelos de rugosidade, albedo, emissividade, e outros. A resolução horizontal nominal desses conjuntos de dados também é de 1km. O modelo de rugosidade do território brasileiro adotado no Atlas é apresentado na figura 3.4(p.19). Para comparação, um mosaico de imagens SPOT é apresentado na figura 3.3(p.18).

Como foram utilizados modelos com resolução horizontal de 1km para os dados geográficos de entrada na simulação para o presente Atlas, os resultados de saída do Sistema MesoMap foram mapas de parâmetros estatísticos de vento – com maior interesse final nas velocidades médias – na resolução horizontal de 1km. Resoluções maiores são plenamente possíveis para estudos posteriores, desde que os dados geográficos correspondentes estejam disponíveis.

Os principais dados de entrada meteorológicos foram os provenientes de reanálises, radiossondagens e temperaturas sobre a terra e os oceanos. Entre estes, têm maior importância as reanálises, que são constituídas de um banco de dados em malha geográfica global. Nos modelamentos deste Atlas foi utilizado o banco de dados de reanálises produzido pelo US National Center for Atmospheric Research (NCAR). Esses dados contêm seqüências de parâmetros meteorológicos dos principais níveis de toda a atmosfera terrestre, em intervalos de 6 horas. Em conjunto com dados existentes de radiossondas e temperaturas da superfície terrestre, os dados de reanálises estabelecem as condições de contorno iniciais, bem como as condições de contorno laterais atualizadas para a progressão das simulações do MesoMap. Entretanto, o modelo determina por si 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.

Como os dados de reanálises são estabelecidos em uma malha com resolução horizontal relativamente baixa, de 200km, o Sistema MesoMap precisa ser rodado de forma sucessiva em áreas que são subdivididas em mosaicos de resolução gradualmente maior, em que cada malha utiliza como dados de entrada os parâmetros da respectiva região anterior, até que a resolução desejada seja atingida. A malha inicial pode abranger milhares de quilômetros.

3.1.3 O Processo de Mapeamento

Os mapas de potencial eólico foram calculados a partir de simulações produzidas pelo MesoMap para 360 dias, extraídos de um período de 15 anos. Os dias foram escolhidos por meio de amostragem estratificada aleatória, de forma a considerar cada mês e estação do ano de forma representativa.

De cada simulação foram geradas as variáveis de vento e meteorológicas (temperatura, pressão, umidade relativa, energia cinética turbulenta, fluxo de calor, e outras) ao longo dos nós de malha do modelo. Essas variáveis foram armazenadas em arquivos de dados horários. Ao término do processo para a área total do Brasil, os milhares de arquivos de dados foram processados e sin-

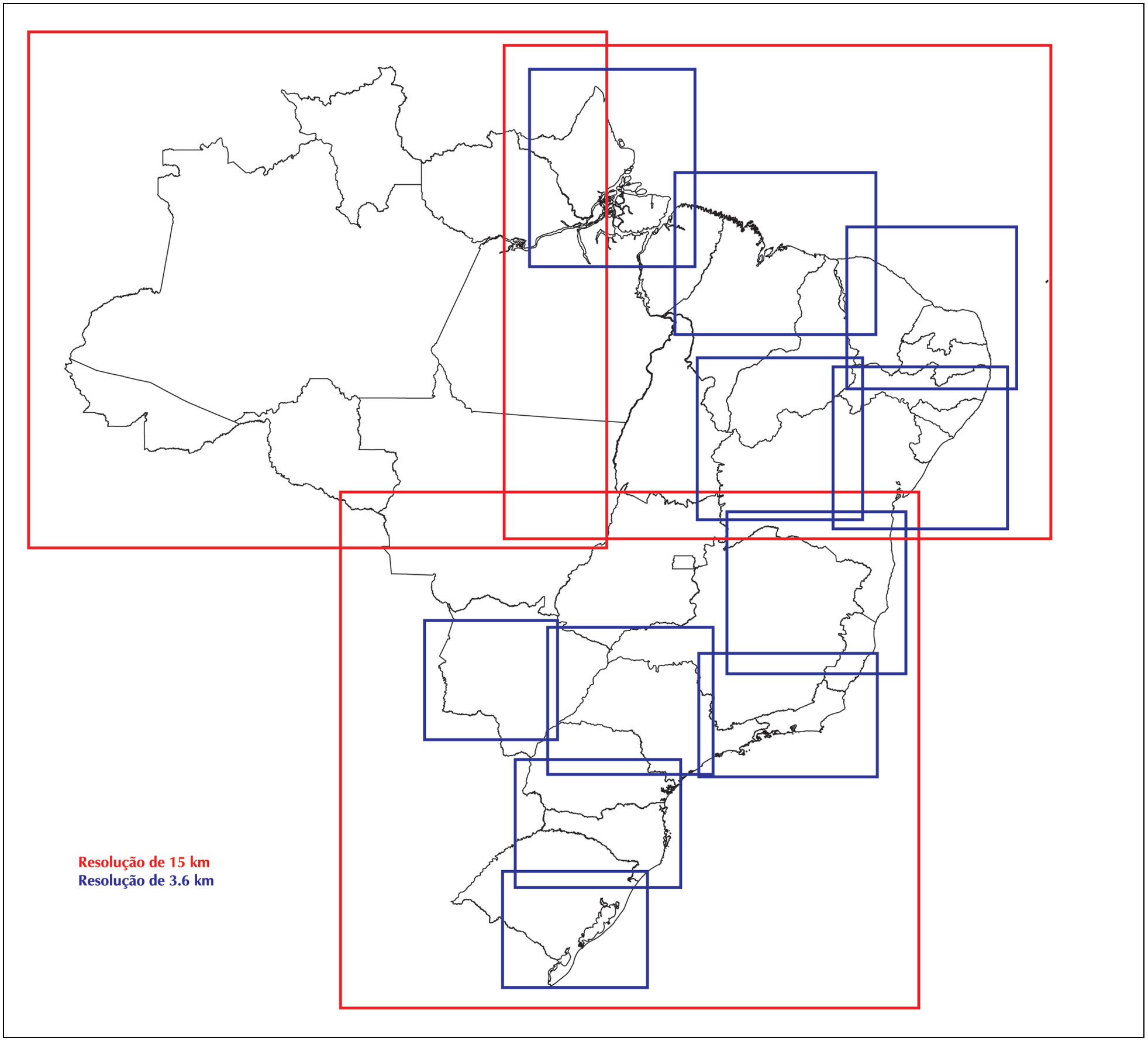

Figura 3.1 – Regiões utilizadas no cálculo de mesoescala

tetizados em formatos apropriadamente escolhidos, tais como mapas temáticos por códigos de cores que apresentam velocidades médias, mapas de rosa dos ventos, arquivos e gráficos contendo os parâmetros das distribuições estatísticas associadas às velocidades de vento.

Numa etapa inicial, esse modelamento de mesoescala no MASS foi realizado para todo o território brasileiro na resolução de 15km. A partir da identificação das áreas de maior interesse quanto ao potencial eólico, sub-regiões foram modeladas novamente, com a resolução horizontal de 3,6km, para assegurar maior exatidão nos resultados, visto que essa resolução permite maior representatividade na simulação de mecanismos tais como brisas marinhas, descolamento de escoamento em relevos complexos, entre outros.Testes realizados com resoluções inferiores a 3,6km não indicaram ganhos substanciais nos resultados, com a contrapartida de tempos de processamento computacional aumentados exponencialmente com a quantidade de elementos nos modelos de entrada. A figura 3.1 apresenta as regiões simuladas em resolução de 15km e 3,6km. A transposição das simulações MASS na resolução de 3,6km para a resolução final de 1km foi realizada pelo WindMap.

3.2 RESULTADOS DO MESOMAP

Entre os principais resultados, destacam-se os mapas temáticos por códigos de cores, que permitem visualização rápida do conjunto de dados sobre o território em estudo. O mapa de maior interesse indica, para a altura escolhida de 50m, as velocidades médias anuais e o fluxo de energia eólica. No contexto do Sistema MesoMap, também podem ser elaborados mapas de geração elétrica anual para qualquer tipo específico de turbina eólica existente no mercado. O MesoMap também fornece, em forma tabular, todos os principais detalhes estatísticos do potencial eólico, tais como os regimes sazonais diurnos e diversos parâmetros de interesse usual no setor. A velocidade média é o indicador mais simples da qualidade do potencial eólico e o mais usual em estimativas de geração eólio-elétrica a partir de dados de desempenho de turbinas eólicas disponíveis. Ela é resultante da média das velocidades horárias de vento geradas no MesoMap, a 50m de altura, para todos os dias de simulação:

$$\bar{v} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i \qquad (1)$$

em que **N** é o número total de horas simuladas e $\mathbf{V}_i$, a velocidade horária.

Um outro indicador, mais usual em estudos de potencial energético, é a densidade de potência eólica: representa a potência cinética média do vento que flui através de uma unidade de área sempre perpendicular à sua direção, ao longo do ano. Ela é função da densidade do ar e do cubo das velocidades médias horárias de vento e é expressa como:

$$\overline{P} = \frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N} \rho_i v_i^3 \quad \text{W/m}^2 \qquad (2)$$

A densidade do ar, ρ, é determinada pela temperatura do ar e a pressão atmosférica, ambas fornecidas pelo Sistema MesoMap.

Além dos mapas temáticos, o Sistema MesoMap produz grande variedade de arquivos de dados numéricos, que detalham todos os principais parâmetros estatísticos relativos ao vento em cada elemento da malha geográfica. Um deles é a rosa dos ventos com as respectivas distribuições estatísticas de freqüências de velocidades por setores nas direções geográficas. Essas distribuições estatísticas podem ser combinadas para fornecer a distribuição total das freqüências de cada local. A distribuição estatística utilizada é a de Weibull, que é a mais usual e apresenta melhor aderência aos casos mais variados de regimes de vento dada por:

$$p(v) = \frac{k}{C}\left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k} \qquad (3)$$

em que k é o fator de forma, sendo que valores maiores de k indicam maior constância dos ventos, com menor ocorrência de valores extremos (figura 3.5). Valores de k anuais variam tipicamente entre 2 e 3. Excepcionalmente, durante alguns meses do ano em regiões de ventos alísios, como no Nordeste brasileiro, o fator de forma pode atingir valores mensais superiores a 6 – sendo que existem registros até de $k = 10{,}78$ [12].

O fator de escala C tem relação com a velocidade média:

$$\bar{v} = C.\Gamma(1+\frac{1}{k}) \qquad (4)$$

em que Γ é a função Gama. Uma aproximação útil para C quando os valores de k estão entre 2 e 3 é dada por:

$$\bar{v} \approx 0{,}9.C \qquad (5)$$

Os parâmetros k e C são calculados por ajuste com as curvas de distribuição geradas pelo modelo MesoMap. Além das velocidades médias de vento, o ATLAS apresenta mapas com o fator de forma k dos regimes anuais de vento no Brasil. Da equação (4), o fator de escala C pode ser calculado por:

$$C = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1+\frac{1}{k})} \qquad (6)$$

Apesar de a aderência do ajuste por Weibull ser adequada para a grande maioria dos regimes estatísticos de vento, é importante ter-se em mente que podem ocorrer

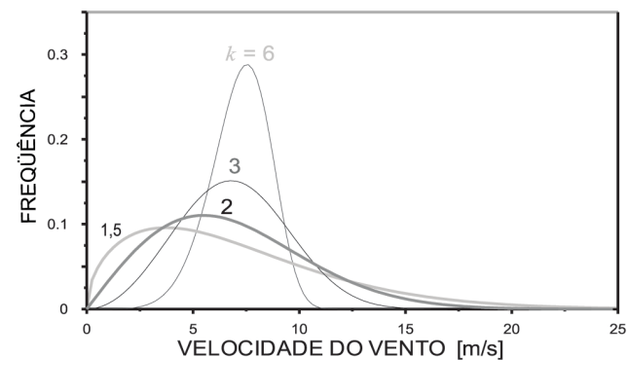

*Figura 3.5 – Freqüência de ocorrência de vento baseada na Distribuição de Weibull, para diferentes valores de **k***

discrepâncias significativas com dados reais. Entretanto, a distribuição de Weibull tem-se provado como um método conveniente de caracterização de recursos eólicos. Com os dois fatores k e C e com a densidade média do ar, é geralmente possível estimar a produção anual de uma turbina eólica com boa exatidão.

3.3 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Apesar de ser reconhecidamente um dos métodos melhores e mais avançados para mapeamento de recursos eólicos, o Sistema MesoMap ainda tem limitações que podem afetar a exatidão das estimativas de potencial eólico. Entre essas principais limitações podem-se citar: erros na base de dados de entrada, efeitos de sub-resolução, e limitações do modelo.

3.3.1 ERROS NA BASE DE DADOS DE ENTRADA

Tanto as bases de dados geográficos quanto de meteorológicos utilizados podem eventualmente conter erros que afetam as estimativas do MesoMap. Eventuais erros na base topográfica tendem a apresentar impactos apenas de caráter localizado. A margem nominal de incerteza nas malhas de cotas utilizadas é de 30m na maior parte do modelo. No entanto, nas áreas cobertas pelo Digital Chart of the World, essa margem de erro pode atingir até 160m.

Erros eventuais nos modelos de uso do solo e IVDN teriam impactos mais consideráveis. A exatidão horizontal de posicionamento nesses modelos, apesar da resolução nominal de 1km, pode eventualmente ser superior a esse valor, dependendo do ângulo em que as medições do satélite foram realizadas. Como avaliação conservativa, pode-se considerar que a margem de incerteza é da ordem de 2-3km. Adicionalmente, erros podem ocorrer na classificação de uso do solo em razão das dificuldades inerentes à interpretação da radiometria por satélite. Um exercício independente de validação foi conduzido sobre os dados da base de uso do solo,por pesquisadores da Universidade da Califórnia, em Santa Bárbara. O estudo verificou que, em casos nos quais uma equipe de

três pesquisadores estava em acordo unânime acerca de determinado tipo de uso do solo, a base de dados resultante estava correta em 79% dos casos. Entretanto, erros eventuais de classificação entre tipos similares de classes de vegetação terão impacto mínimo nas propriedades de superfícies importantes para o modelo (rugosidade, albedo, etc.). Se as classes de uso do solo são agrupadas por classes de rugosidade, por exemplo, a exatidão observada aumentou para 88% [13]. Entretanto, a freqüência estimada para associações incorretas de classes de rugosidade (12%) é substancial.

Erros podem também ocorrer nos dados meteorológicos. Entretanto, o Sistema MesoMap é relativamente insensível a tais erros por duas razões. Primeiro, os dados de reanálises são utilizados apenas para se estabelecerem as condições iniciais e para se atualizarem as condições laterais de contorno, enquanto o modelo determina a coerência da evolução dos parâmetros meteorológicos dentro de cada mesorregião. Segundo, as equações físicas no modelo forçam a reconciliação entre as variáveis físicas, tendendo a suprimir erros de medição isolados ou sistemáticos.

Por exemplo, se uma estação radiossonda registra com erro sistemático as direções e velocidades de vento mas a temperatura é registrada corretamente, os dados de vento serão prontamente suprimidos do modelo MesoMap devido à sua inconsistência com a temperatura e os gradientes de pressão. Da mesma forma, determinadas influências topográficas – tais como serras altas ou grandes ilhas – tendem a estar ausentes do banco de dados de reanálises, devido à baixa resolução de sua malha de dados. Tais influências são introduzidas na resolução de cálculo do MesoMap, o que reconcilia as condições iniciais com a topografia muito mais detalhada.

3.3.2 Efeitos de Subescala

Como qualquer modelo físico que utiliza técnicas de elementos finitos, o Sistema MesoMap é vulnerável a erros causados por terreno ou outras características geográficas que não podem ser totalmente resolvidas na resolução da malha do modelo. Como exemplo, considere-se o caso da figura 3.6, na qual a forma detalhada da montanha não aparece no modelo de resolução 1km. A velocidade do vento no topo da montanha será diferente da velocidade em sua base, podendo serem distintas da velocidade estimada pelo modelo na resolução 1km. De forma similar, podem existir variações significativas de uso do solo (rugosidade ou obstáculos) dentro de uma célula da malha do modelo, causando variações na velocidade de vento medida. Esses efeitos locais, não captados pela resolução do modelo, podem afetar as velocidades estimadas para 50m com uma significativa porcentagem em relação ao real.

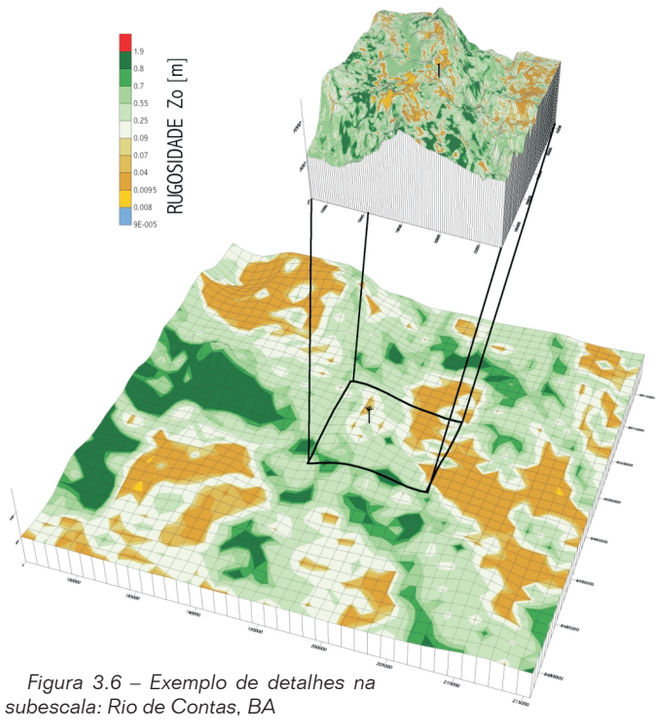

Figura 3.6 – Exemplo de detalhes na subescala: Rio de Contas, BA

Apesar de esses efeitos não poderem ser avaliados diretamente sem um modelamento em resolução muito mais fina, a faixa de velocidades possíveis de ocorrerem dentro de uma célula do modelo – devida a tais efeitos de variações de rugosidade e/ou topografia na subescala – pode ser aproximada por estimativa. O relevo (a diferença entre as cotas máxima e mínima dentro de uma dada célula) não é fortemente dependente da escala da malha e, portanto, essa faixa de variações do relevo na subescala pode ser estimada a partir dos dados em resolução 1km. Às cotas podem então ser associadas faixas de velocidades de vento (estimativa aproximada). O efeito potencial de variações de rugosidade pode ser calculado pelas equações conhecidas da física de camada-limite.

Alguns processos atmosféricos, tais como convecção e turbulência, também não podem ser totalmente resolvidos na escala de malha do modelo. Tais processos precisam ser parametrizados, ou seja, seus efeitos devem ser estimados com o uso de conhecidas equações que utilizam parâmetros disponíveis na escala do modelo. Como nenhum esquema de parametrização é perfeito, erros na estimativa de velocidade de vento podem eventualmente ocorrer, especialmente onde os processos na subescala da malha sejam significativos. Um exemplo é o processo convectivo localizado que ocorre nos trópicos. Felizmente, esses efeitos tendem a ocorrer aleatoriamente na natureza e a sua média tenderá a zero nas centenas de simulações realizadas no modelo.

Brisas marinhas também não podem ser totalmente resolvidas, pois a sua existência depende do desenvolvimento de gradientes térmicos fortes, localizados ao longo da faixa litorânea, enquanto, no modelo, o gradiente de temperatura é limitado à escala de sua resolução. Essa limitação significa que existe uma tendência a que as velocidades próximas à costa sejam subestimadas. Para minimizar esse efeito, o modelo de mesoescala para a principal extensão da costa brasileira foi rodado na resolução de 3,6km (figura 3.1). Essa escolha foi validada por simulações realizadas com resoluções progressivamente maiores, as quais indicaram que os erros induzidos pela resolução de 3,6 km (no modelo de mesoescala) já eram suficientemente pequenos.

3.3.3 Limitações do Modelo

Fora os inevitáveis efeitos de subescala, existem limitações na formulação das equações do modelo que podem introduzir erros nas estimativas de velocidades de vento, sob certas condições.

Uma das principais fontes de erros eventuais é a hipótese de taxa fixa numérica lateral de difusão de temperatura ao longo da declividade de terreno, que pode resultar em um gradiente incorreto de temperatura entre vales e topos de montanhas. Em particular, sob condições termicamente estáveis em terreno íngreme, vales podem tornar-se demasiado quentes e os topos de montanhas, demasiado frios, o que resulta em um vento descendente de montanha superestimado. No entanto, deve-se enfatizar que tais eventos são relativamente raros e testes têm indicado que teriam pequeno impacto na exatidão das estimativas de velocidades médias de vento.

3.4 Validação do MesoMap

A exatidão do Sistema MesoMap tem sido testada extensivamente pela comparação com medições confiáveis de vento, em distintos locais do mundo. No caso do presente mapeamento eólico brasileiro, dentre todas as estações anemométricas com dados disponibilizados para o presente Atlas, foram selecionadas apenas aquelas que satisfaziam condições mínimas de qualidade: medições com abrangência mínima de 01 ciclo climatológico (em alguns casos obtida por ajustes climatológicos), informações sobre relevo e rugosidade no seu entorno e ausência de obstáculos próximos em relação aos ventos predominantes. Todos os dados anemométricos foram extrapolados para a altura de 50m, a partir de medições em diferentes alturas, ou por informações de rugosidade local nos casos de medições em altura única, e comparados aos resultados do mapa de velocidades médias anuais, para cada local. Essa comparação é apresentada na tabela 3.1(p.22), em que se observa que, dentre todas as estações aferidas com o mapa calculado, o desvio-padrão das diferenças cálculo-medição foi de 7,5%. Vale observar que algumas das medições, especialmente aquelas obtidas em baixa altura e extrapoladas para 50m, podem conter incertezas superiores a 10%.

Tabela 3.1 – Comparação: cálculos x medições

ESTAÇÃO	FONTE	Altura Medição	Diferença Cálc - Med	
		[m]	[m/s]	[%]
MATELÂNDIA, PR	COPEL	77	-0.02	-0.3
CAMAMU, BA	COELBA	20	0.02	0.4
TEOFILÂNDIA, BA	COPEL	20	0.02	0.4
SANTO ANDRÉ, PR	COPEL	55	-0.03	-0.5
MORRO DA IGREJA, SC	CELESC	48	0.05	0.7
FZ RENASCENÇA, PF	COPEL	18	-0.05	-0.7
CONDE, BA	COELBA	20	0.08	1.2
BOA VISTA, RR	DPV - M.AER	10	-0.07	-1.4
AJURUTEUA, PA	CEPEL	30	-0.12	-1.6
S.FCO.DO SUL, SC	CELESC	48	0.08	1.7
Farol CALCANHAR, RN	DHN - M.MAR	10	-0.16	-1.8
ENTRE RIOS, PR	COPEL	20	0.10	1.8
ALTO ALEGRE, PR	COPEL	67	0.12	2.2
COSTA DOURADA, BA	COELBA	30	-0.15	-2.2
VIT. DA CONQUISTA, BA	COELBA	48	-0.16	-2.5
PALMAS, PR	COPEL	17	0.19	2.5
VENTANIA, PR	COPEL	26	-0.14	-2.5
MONTENEGRO, PR	COPEL	18	-0.16	-2.6
PONTA PORÃ, MS	DPV - M.AER	10	0.15	2.6
APUCARANA, PR	COPEL	31	-0.18	-3.0
SOBRADINHO, BA	COELBA	20	-0.19	-3.2
C. MOURÃO, PR	COPEL	38	-0.19	-3.2
GOIABAL, PA	CEPEL	30	-0.26	-3.4
ÁGUA FRIA, RR	CEPEL	10	0.27	4.3
SA MONTE ALTO, BA	COELBA	40	0.26	4.5
CARAMBEÍ, PR	COPEL	18	0.30	4.6
B.JDIM DA SERRA, SC	CELESC	48	0.31	5.2
BARRACÃO, PR	COPEL	18	0.31	5.3
JOANES, PA	CEPEL	30	0.42	5.5
CRATEUS, CE	CHESF-[Ref.5]	10	0.22	5.5
CALMON, SC	CELESC	48	0.31	6.0
FÁTIMA, BA	COELBA	20	-0.36	-6.4
SAUÍPE, BA	COELBA	20	0.43	6.7
IÇARA, SC	CELESC	48	0.40	7.1
S. LUIZ DO PURUNÃ, PR	COPEL	22	0.47	8.2
CAMPO ERÊ, SC	CELESC	30	0.51	8.2
BATAGUASSU, MS	SOCEPPAR	25	0.38	8.4
TERRA RICA , PR	COPEL	19	0.39	8.7
Mo. DO CHAPÉU, BA	COELBA	20	0.50	9.2
PLACAS, BA	COELBA	30	0.53	9.3
COOPAVEL, PR	COPEL	22	-0.53	-9.4
SUPERAGÜI, PR	COPEL	18	0.39	9.9
M.PERDIDOS, PR	COPEL	20	-1.29	-15.0
RIO DE CONTAS, PR	COELBA	30	-1.42	-21.5
CAPÃO REDONDO, BA	COELBA	30	-1.40	-23.0

A transposição das simulações MASS na resolução de 3,6km para a resolução final de 1km foi realizada pelo WindMap, que utilizou os dados medidos – extrapolados para a altura de 50m – para a convergência do modelamento de camada-limite com conservação de massa. Para algumas estações, especialmente da COELBA, COPEL e CELESC, modelos digitais de terreno estavam disponíveis em resolução maior e ajustes adicionais foram efetuados para correção do modelo de rugosidade utilizado no entorno daquelas estações.

As estações que apresentaram maior discrepância entre os valores calculados e aqueles medidos localizam-se em sua maioria em relevo complexo (efeitos de subescala) ou em locais nos quais o modelo de relevo apresentava as maiores diferenças em relação aos valores reais de altitude. Tomando-se esses poucos casos, com diferenças entre cálculo e medição próximas ou superiores a 10%, e aplicando-se uma correção de velocidades pela altitude, obtida por regressão linear entre os dados (figura 3.7), obtêm-se os resultados da tabela 3.2. A grande coerência na redução dos desvios em velocidade obtidos na tabela 3.2 é um indício muito forte de que as maiores diferenças entre velocidades (calculada - medida) deve-se a discrepâncias no modelo de relevo ou principalmente a efeitos de subescala.

A magnitude dos desvios entre os valores de velocidades médias anuais no cálculo e aquelas medidas nas melhores estações anemométricas disponíveis indica que o presente ATLAS pode ser utilizado para a identificação das melhores áreas para projetos de aproveitamentos eólio-elétricos. Entretanto, como a energia eólica é extremamente sensível a condições de microescala, da ordem de dezenas a centenas de metros, alerta-se que a resolução de 1km x 1km pode ser insuficiente para a localização exata das turbinas eólicas. A análise anterior também revela a possibilidade de ocorrência, eventual e localizada, de discrepâncias nos modelos de relevo e rugosidade utilizados. Assim, no caso mais geral, recomenda-se que a implantação de projetos eólio-elétricos seja precedida das ações necessárias e compatíveis com os critérios técnicos e econômicos de investimentos no setor.

Tabela 3.2 – Ajuste para altitude por regressão linear

Estação	Diferenças Modelo - Medição		Velocidade Ajustada	
	Velocidade [m/s]	Altitude [m]	Desvio [m/s]	Desvio [%]
COOPAVEL	-0.53	-68	0.06	1.05
PLACAS	0.53	118	0.15	2.67
M.PERDIDOS	-1.29	-125	-0.40	-4.71
CAPÃO REDONDO	-1.4	-202	-0.11	-1.87
RIO DE CONTAS	-1.42	-285	0.30	4.51

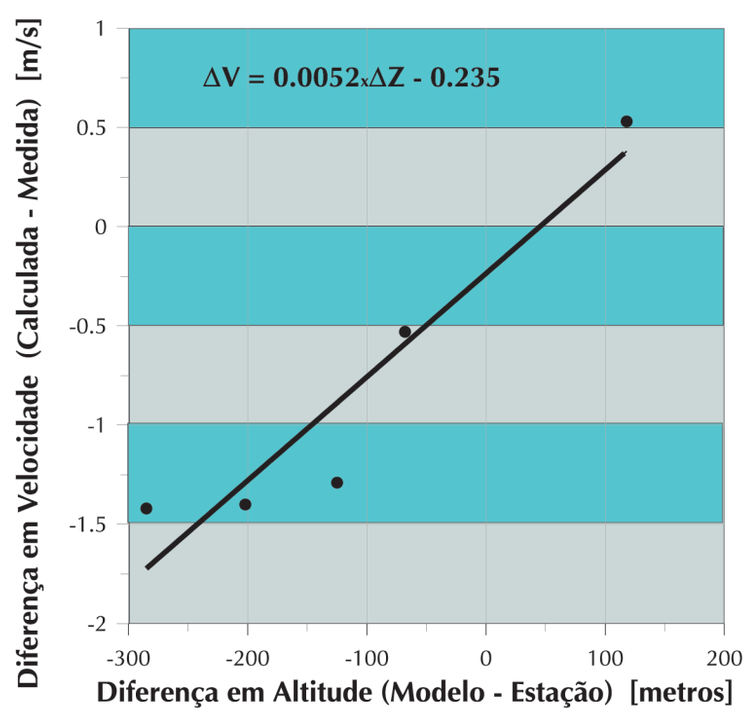

Figura 3.7 – Regressão linear para ajuste de velocidade (correção de discrepâncias em altitude)