



## 4. POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

### 4.1 REGIMES DE VENTO SOBRE O BRASIL

A distribuição geral dos ventos sobre o Brasil é controlada pelos aspectos da circulação geral planetária da atmosfera próxima, conforme se apresenta na figura 4.1. Dentre esses aspectos, sobressaem os sistemas de alta pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte e a faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial.

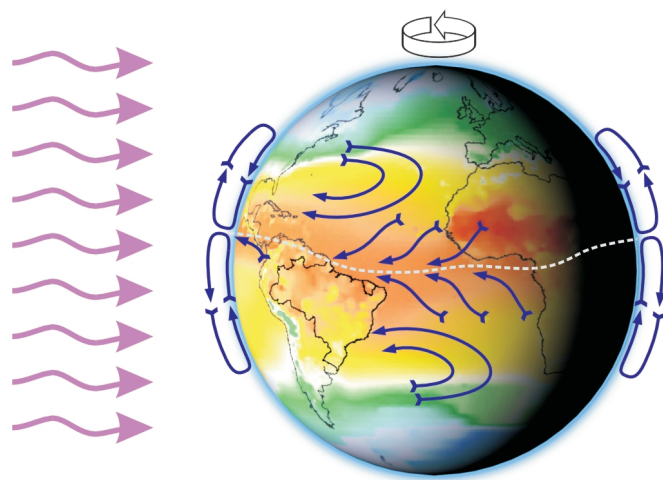


Figura 4.1 – Distribuição geral dos ventos

A posição média da Depressão Equatorial estende-se de oeste a leste ao longo da região Norte do Brasil e sobre o Oceano Atlântico adjacente. Ela coincide com a localização e orientação da Bacia Amazônica, no centro da qual existe uma faixa persistente de baixas pressões. A Depressão Equatorial é geralmente uma zona de pequenos gradientes de pressão e ventos fracos. Ao norte da Depressão Equatorial os ventos são persistentes de leste a nordeste. Ao sul, os ventos são persistentes de leste a sudeste entre a Depressão Equatorial e o Anticiclone Subtropical Atlântico, o qual tem uma posição média anual próxima a 30°S, 25°W. Esse perfil geral de circulação atmosférica induz ventos de leste ou nordeste sobre o território brasileiro ao norte da Bacia Amazônica e no litoral nordeste. Os ventos próximos à superfície são geralmente fracos ao longo da Depressão Equatorial, porém aumentam de intensidade ao norte e ao sul dessa faixa. A área entre a Depressão Equatorial e a latitude de 10°S é dominada pelos ventos alísios de leste a sudeste. Ao sul da latitude 10°S, até o extremo sul brasileiro, prevalecem os efeitos ditados pela dinâmica entre o centro de alta pressão Anticiclone Subtropical Atlântico, os deslocamentos de massas polares e a Depressão do Nordeste

da Argentina – centro de baixas pressões a leste dos Andes.

Esse perfil geral de circulação atmosférica encontra variações significativas na mesoescala e na microescala, por diferenças em propriedades de superfícies, tais como geometria e altitude de terreno, vegetação (a figura 4.2 (p.24) apresenta o modelo de vegetação do Brasil) e distribuição de superfícies de terra e água. Esses fatores atuantes nas escalas menores podem resultar em condições de vento locais que se afastam significativamente do perfil geral da larga escala da circulação atmosférica. Uma síntese dessas características em menores escalas sobre a distribuição dos regimes de vento é apresentada a seguir, organizada em 7 regiões geográficas: (1) Bacia Amazônica Ocidental e Central; (2) Bacia Amazônica Oriental; (3) Zona Litorânea Norte-Nordeste; (4) Zona Litorânea Nordeste-Sudeste; (5) Elevações Nordeste-Sudeste; (6) Planalto Central; (7) Planaltos do Sul.

A *Bacia Amazônica Ocidental e Central* estende-se aproximadamente entre as latitudes 10° S e 5° N, e longitudes 70° W e 55° W. As velocidades médias anuais de vento a 50m de altura através dessa região são inferiores a 3,5m/s. O escoamento atmosférico predominante de leste (alísios) sobre essa região é bastante reduzido pelo atrito de superfície associado à longa trajetória sobre florestas densas e pelos gradientes fracos de pressão associados à zona difusa de baixas pressões centrada nessa região da Bacia Amazônica. Apesar de não refletida nos ventos de superfície, existe uma faixa estreita de ventos médios anuais de 8m/s a 10m/s na camada entre 1.000m e 2.000m acima da superfície; essa faixa inicia-se no Atlântico, a leste da foz do Rio Amazonas, e estende-se para oeste sobre a porção norte da Bacia Amazônica e gradualmente se enfraquece à medida que o escoamento aproxima-se das cadeias montanhosas da parte oeste do continente. Essa faixa de altas velocidades tem pouco significado para os ventos de superfície na Bacia Amazônica, porém torna-se uma fonte de energia eólica para as áreas mais elevadas que ocorrem no extremo norte da Bacia Amazônica: é ela que muito provavelmente constitui o principal fator para a existência de uma área isolada de altas velocidades médias anuais de vento na região da Serra Pacaraima, em Roraima, ao longo da fronteira Brasil-Venezuela. Naquela área, esse escoamento de altitude alcança os níveis da superfície dos terrenos mais elevados, grande parte dos quais cobertos pela baixa rugosidade de savanas, onde em alguns locais também ocorrem canalizações orográficas. Entretanto, excetuando-se essa área isolada e única na região, os ventos nessa grande área da Bacia Amazônica são bastante fracos. As noites são geralmente de calmarias, ocorrendo ventos descendentes de montanhas, fracos e ocasionais, nas áreas a leste e a sul dessa grande região. Durante o dia, podem ocorrer ventos localizados mais for-

tes, causados pelo aquecimento desigual da superfície, induzidos por pequenas diferenças em vegetação, disponibilidade hídrica do solo ou cobertura de nuvens. No entanto, é pequena a magnitude das velocidades de vento geradas por esse processo, devido à baixa amplitude das variações de temperatura e à alta rugosidade/atrito de superfície.

A *Bacia Amazônica Oriental* abrange a área continental a partir da longitude 55° W (Santarém, PA) até aproximadamente 100km da costa que se estende entre o Amapá e o Maranhão. A Depressão Equatorial permanece geralmente próxima a essa região, a qual é dominada por ventos alísios de leste a nordeste, em sua porção norte, e leste a sudeste, em sua porção sul. O vento médio anual é geralmente inferior a 3,5m/s devido à proximidade dos gradientes fracos de pressão associados à Depressão Equatorial e ao elevado atrito de superfície causado pela rugosidade da vegetação densa. Existe um generalizado, porém pequeno, aumento nas velocidades de vento de oeste para leste ao longo dessa região. Isso acontece porque o escoamento predominante de leste percorre trajetórias gradualmente menores sobre as áreas de vegetação densa e o gradiente de pressão aumenta gradualmente para o leste, devido aos contrastes térmicos mais acentuados entre continente e mar. As máximas velocidades médias anuais de vento nessa região são encontradas nas porções nordeste e sudeste, onde existem elevações de terreno que aceleram os ventos pelo efeito de compressão vertical do escoamento atmosférico, e especialmente na porção nordeste, onde algumas elevações alcançam as velocidades de vento de camadas mais altas da atmosfera atuantes nessa área.

A *Zona Litorânea Norte-Nordeste* é definida como a faixa costeira com cerca de 100km de largura, que se estende entre o extremo norte da costa do Amapá e o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte. Nessa região, os ventos são controlados primariamente pelos alísios de leste e brisas terrestres e marinhas. Essa combinação das brisas diurnas com os alísios de leste resulta em ventos médios anuais entre 5m/s e 7,5m/s na parte norte dessa região (litorais do Amapá e Pará) e entre 6m/s a 9m/s em sua parte sul, que abrange os litorais do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. As velocidades são maiores na parte sul devido a dois principais fatores: (1) os ventos alísios geralmente tornam-se mais fortes à medida que se afastam da Depressão Equatorial; (2) as brisas marinhas são significativamente acentuadas ao sul dessa região em razão dos menores índices de vegetação e de umidade do solo, fazendo que a superfície do solo atinja temperaturas mais elevadas durante as horas de sol e, conseqüentemente, acentuando o contraste de temperaturas terra-mar e as brisas marinhas resultantes. As maiores velocidades médias anuais de vento ao longo



dessa região estão ao norte do Cabo de São Roque, abrangendo os litorais do Rio Grande do Norte e Ceará, onde a circulação de brisas marinhas é especialmente intensa e alinhada com os ventos alísios de leste-sudeste. Adicionalmente, ocorrem áreas em que os ventos são acentuados por bloqueios ao escoamento causados por montanhas na parte continental. Entretanto, o vento médio anual decresce rapidamente à medida que se desloca da costa para o interior, devido ao aumento de atrito e rugosidade de superfície e ao enfraquecimento da contribuição das brisas marinhas.

A *Zona Litorânea Nordeste-Sudeste* é definida como a faixa de aproximadamente 100km de largura que se estende entre o Cabo de São Roque (RN) até aproximadamente o Estado do Rio de Janeiro. As velocidades médias anuais decrescem de 8-9 m/s na porção norte (Rio Grande do Norte) até 3,5m/s a 6m/s sobre a maioria da costa que se estende até o Sudeste. A exceção mais significativa desse comportamento está na costa entre as latitudes 21° S e 23° S (sul do Espírito Santo e nordeste do Rio de Janeiro), onde as velocidades são próximas de 7,5m/s. Isso é resultante do efeito de bloqueio do escoamento leste-nordeste (causado pelo Anticiclone Subtropical Atlântico) pelas montanhas imediatamente a oeste da costa. Nesse caso, é criada uma espécie de aceleração por obstáculo, pois o ar acelera-se para o sul para aliviar o acúmulo de massa causado pelo bloqueio das formações montanhosas. Ao sul dessa região, a costa do Estado do Rio de Janeiro desvia-se para oeste, onde os ventos passam a ser consideravelmente mais fracos devido ao abrigo das montanhas a norte e a nordeste. Disso resultam velocidades relativamente menores na região que engloba a cidade do Rio de Janeiro.

As *Elevações Nordeste-Sudeste* são definidas como as áreas de serras e chapadas que se estendem ao longo da costa brasileira, desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro, a distâncias de até 1.000km da costa. Velocidades médias anuais de 6,5m/s até 8m/s devem ser encontradas nos cumes das maiores elevações da Chapada Diamantina e da Serra do Espinhaço. Essas áreas de maiores velocidades ocorrem em forma localizada, primariamente devido ao efeito de compressão vertical do escoamento predominante em larga escala, que é leste-nordeste, quando ultrapassa a barreira elevada das serras. Os ventos anuais mais intensos são geralmente encontrados nas maiores elevações, onde o efeito de compressão é mais acentuado. No entanto, o escoamento atmosférico é bastante complexo nessa região, existindo outras características locais com influência adicional, resultantes de uma combinação de fatores relacionados à topografia e ao terreno.

O *Planalto Central* está ao sul da Bacia Amazônica e estende-se desde a margem esquerda da Bacia do Rio

São Francisco até as fronteiras com Bolívia e Paraguai. Essa região é dominada pelo escoamento leste-sudeste em torno do Anticiclone Subtropical Atlântico. A velocidade média anual na região situa-se geralmente entre 4m/s e 6m/s. A intensidade do escoamento de leste predominante em larga escala aumenta para o sul, onde o gradiente de pressão é mais acentuado e a superfície tem menor rugosidade, pela vegetação menos densa. Assim, as velocidades médias anuais de vento variam de 3m/s a 4m/s ao norte dessa região (no limite sul da Bacia Amazônica) para 5m/s a 6m/s sobre a porção sul do extenso planalto. Destacam-se nessa área algumas regiões mais elevadas a oeste, na fronteira com o Paraguai (no Mato Grosso do Sul), onde as velocidades médias anuais aproximam-se de 7m/s, resultantes principalmente do efeito de compressão vertical do escoamento ao transpor as elevações.

Na região mais ao sul do Brasil estão os *Planaltos do Sul*, que se estendem aproximadamente de 24°S (São Paulo) até os limites ao sul do Rio Grande do Sul. O escoamento atmosférico geral nessa área é controlado pela Depressão do Nordeste da Argentina, uma área

quase permanente de baixas pressões, geralmente estacionária ao leste dos Andes sobre planícies secas e o Anticiclone Subtropical Atlântico. A posição média da Depressão do Nordeste da Argentina é aproximadamente 29°S, 66°W, sendo criada pelo bloqueio da circulação atmosférica geral pelos Andes e por intenso aquecimento da superfície na região.

O gradiente de pressão entre a Depressão do Nordeste da Argentina e o Anticiclone Subtropical Atlântico induz um escoamento persistente de nordeste ao longo dessa área. Desse escoamento resultam velocidades médias anuais de 5,5m/s a 6,5m/s sobre grandes áreas da região. Entretanto, esse escoamento é significativamente influenciado pelo relevo e pela rugosidade do terreno. Os ventos mais intensos estão entre 7m/s e 8m/s e ocorrem nas maiores elevações montanhosas do continente, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas. Outra área com velocidades superiores a 7m/s encontra-se ao longo do litoral sul, onde os ventos predominantes leste-nordeste são acentuados pela persistente ação diurna das brisas marinhas.



Figura 4.2 – Mosaico de imagens de satélite (SPOT Image), sobreposto ao modelo de relevo