

REGIONALIZAÇÃO DAS VELOCIDADES EXTREMAS E TEMPERATURAS DO VENTO
NO CENTRO-SUL DO BRASIL

MÁRIO LUÍS WUNDERLICH DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre
Março 1989

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Jorge Daniel Riera
Orientador



Prof. Jarbas Milititsky
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. Jorge Daniel Riera (Orientador)
Ph.D. pela Princeton University
- Prof. Luis Fernando Nanni
M.Sc. pela Princeton University
- Prof. Joaquim Blessmann
D.Sc. pelo I. T. A.

AGRADECIMENTOS

ao Prof. Jorge Daniel Riera pela orientação e apoio, fundamentais em todas as fases do trabalho;

ao Prof. Luís Fernando Nanni pela orientação na análise estatística;

aos Professores do CPGEC-UFRGS pelo inestimável conhecimento transmitido;

ao colega Felipe, companheiro durante todo o curso;

ao colega Paulo Roberto pelo apoio em todos os momentos;

à Andrea pela amizade e incentivo;

aos colegas do CPGEC pela amizade;

à Odila pelo auxílio na digitação de dados e ao Francisco e Leandro pela colaboração nos desenhos;

à Força Aérea Brasileira, pelo fornecimento dos dados e colaboração nos trabalhos de sua coleta;

ao CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro concedido a este trabalho.

A meus pais

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | x |
| RESUMO..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| | |
| 1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 - O CLIMA DE VENTOS EXTREMOS..... | 4 |
| 2.1 - Aspectos Meteorológicos Básicos..... | 4 |
| 2.1.1 - Convergência e divergência..... | 4 |
| 2.1.2 - Circulação geral da atmosfera..... | 5 |
| 2.1.3 - Circulação local..... | 7 |
| 2.2 - Principais Fenômenos Causadores de Ventos Fortes.. | 7 |
| 2.2.1 - Sistemas extensos de pressão..... | 7 |
| 2.2.2 - Tempestades elétricas..... | 9 |
| 2.2.3 - Tornados..... | 10 |
| 2.2.4 - Ciclones tropicais..... | 12 |
| 2.2.5 - Ventos locais..... | 14 |
| 3 - DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS..... | 15 |
| 4 - ESTUDOS DE CORRELAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E VELOCIDADE DO VENTO..... | 20 |
| 4.1 - Considerações Preliminares..... | 20 |
| 4.2 - Análise Estatística Básica das Amostras de Temperatura..... | 21 |
| 4.2.1 - Comparação de variâncias..... | 21 |
| 4.2.2 - Comparação de médias..... | 22 |
| 4.2.3 - Coeficientes de assimetria (g1) e curtose (g2)..... | 24 |
| 4.3 - Testes de Aderência..... | 24 |
| 4.4 - Relação entre Velocidades e Temperaturas..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 4.5 - Variação da Temperatura com a Direção de Origem dos Ventos..... | 28 |
| 4.6 - Modelo para Predição da Temperatura durante Ventos Extremos em Pontos Desprovidos de Estações Meteorológicas..... | 28 |
| 5 - REGIONALIZAÇÃO DAS VELOCIDADES EXTREMAS DO VENTO NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL..... | 32 |
| 5.1 - Considerações Preliminares..... | 32 |
| 5.2 - Apresentação do Modelo..... | 33 |
| 5.2.1 - Hipóteses básicas..... | 33 |
| 5.2.2 - Modelo de regressão múltipla - cálculo dos parâmetros da distribuição de Gumbel.. | 34 |
| 5.2.3 - Equações de predição das velocidades extremas do vento..... | 36 |
| 5.3 - Aplicação do Modelo à Região Centro-Sul do Brasil. | 39 |
| 5.3.1 - Média e desvio padrão das séries de velocidades máximas..... | 39 |
| 5.3.2 - Regionalização das estações meteorológicas..... | 40 |
| 5.3.3 - Análise dos resultados das regressões..... | 41 |
| 5.3.3.1 - Modelo incluindo todas as estações..... | 42 |
| 5.3.3.2 - Subdivisão regional 1..... | 42 |
| 5.3.3.3 - Subdivisão regional 2..... | 43 |
| 5.3.3.4 - Subdivisão regional 3..... | 43 |
| 5.3.3.5 - Subdivisão regional 4..... | 43 |
| 5.3.3.6 - Subdivisão regional 5..... | 43 |
| 5.3.3.7 - Comportamento dos resíduos..... | 52 |
| 5.3.3.8 - Comportamento dos coeficientes das regressões..... | 52 |
| 5.3.4 - Testes e verificações..... | 52 |
| 6 - CONCLUSÕES..... | 59 |
| APÊNDICE A..... | 61 |
| APÊNDICE B..... | 69 |
| APÊNDICE C..... | 81 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 93 |

LISTA DE FIGURAS

Figura

| | | |
|------------|--|---------|
| 2.1.1.1 | - Conservação da massa na atmosfera..... | 5 |
| 2.1.2.1 | - Ventos superficiais médios globais..... | 6 |
| 2.2.2.1 | - Seção transversal de uma tormenta elétrica típica..... | 10 |
| 3.1 | - Divisão setorial adotada para a direção de origem do vento (45°)..... | 17 |
| 3.2 | - Estações meteorológicas pesquisadas..... | 18 |
| 4.5.1 | - Variação das médias das temperaturas com a direção..... | 29 |
| 5.3.2.1 | - Subdivisões regionais adotadas..... | 41 |
| A.1 | - Família de curvas de densidade de probabilidade de Weibull..... | 63 |
| A.2 | - Família de curvas da distribuição de probabilidade de Weibull..... | 63 |
| A.3 | - Valor esperado das ordens estatísticas para a distribuição de Rayleigh..... | 64 |
| B.1 - B.11 | - Valor médio e desvio padrão das séries de velocidades máximas do vento Valores observados e curvas ajustadas..... | 70 - 80 |

LISTA DE TABELAS

Tabela

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.1 | - Localização e altitude das estações..... | 18 |
| 3.2 | - Número de valores disponíveis em cada série de dados..... | 19 |
| 4.2.1 | - Valores estatísticos básicos..... | 23 |
| 4.3.1 | - Testes de aderência..... | 25 |
| 4.4.1 | - Relação entre velocidades e temperaturas ($V = a + bt$)..... | 27 |
| 4.6.1 | - Resultados das regressões (EQUAÇÕES 4.6.1-4)... | 31 |
| 5.3.3.1 | - Resultados das regressões - modelo incluindo todas as estações..... | 44 |
| 5.3.3.2.a | - Resultados das regressões - subdivisão regional 1 - amostra completa..... | 45 |
| 5.3.3.2.b | - Resultados das regressões - subdivisão regional 1 - retirados valores espúrios..... | 46 |
| 5.3.3.3.a | - Resultados das regressões - subdivisão regional 2 - amostra completa..... | 47 |
| 5.3.3.3.b | - Resultados das regressões - subdivisão regional 2 - retirados valores espúrios..... | 48 |
| 5.3.3.4 | - Resultados das regressões - subdivisão regional 3..... | 49 |
| 5.3.3.5 | - Resultados das regressões - subdivisão regional 4..... | 50 |
| 5.3.3.6 | - Resultados das regressões - subdivisão regional 5..... | 51 |
| 5.3.3.7 | - Sinais dos coeficientes das regressões ($\alpha \leq 5\%$)..... | 53 |
| 5.3.4.1 | - Análise estatística básica (amostras completas)..... | 55 |

| | | |
|------------|--|---------|
| 5.3.4.2 | - Análise estatística básica | |
| | Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov..... | 55 |
| 5.3.4.3 | - ($V50^{17}$ - $V50_{med}$): Estações classificadas | |
| | segundo condições locais de exposição..... | 56 |
| 5.3.4.4 | - Quociente entre predições..... | 56 |
| 5.3.4.5 | - Comparação entre predições ($V50$) independentes | |
| | de direção..... | 58 |
| A.1 - A.8 | - Valores esperados da distribuição | |
| | de Weibull..... | 65 - 68 |
| C.1 - C.11 | - Comparação entre predições ($V50$) em cada | |
| | octante..... | 82 - 92 |

LISTA DE SÍMBOLOS

- CV - coeficiente de variação
- DN - estatística para teste de bondade de ajuste, distribuição Normal
- $D\sqrt{n}$ - estatística para teste de bondade de ajuste, distribuição de Weibull
- E - valor esperado
- F - estatística para teste de significância na distribuição de Fisher
- P - probabilidade de ocorrência, nível de significância
- R^2 - coeficiente de determinação, regressão linear múltipla
- SE - erro padrão dos resíduos
- Sv - desvio padrão usado na EQUAÇÃO 5.2.2.4
- T - temperatura do ar
- U - moda da distribuição de Gumbel
- V, v - velocidade do vento
- V_i, V_i^*, V_i^* - velocidades anuais máximas do vento definidas no ITEM 5.2.3
- V50, V50med - velocidades do vento com período de retorno médio de 50 anos, definidas no ITEM 5.3.3.
- a, b, c, d - coeficientes em equações de regressão
- g1 - coeficiente de assimetria
- g2 - coeficiente de curtose
- m - período de retorno médio definido na EQUAÇÃO 5.2.3.11
- mv - valor médio definido na EQUAÇÃO 5.2.2.3
- n - tamanho da amostra
- s - desvio padrão amostral
- t - estatística para teste de significância na distribuição de Student
- r - coeficiente de correlação entre duas variáveis

r^2 - coeficiente de determinação, regressão linear simples
 x - variável

Γ - função Gama

α - dispersão da distribuição de Gumbel, parâmetro de escala da distribuição de Weibull, nível de significância

β - parâmetro de forma da distribuição de Weibull

ψ_{i+1} - fator multiplicativo definido na EQUAÇÃO 5.2.3.6

θ - ângulo bissetor dos octantes, referido à direção Norte

σ - desvio padrão de uma variável aleatória

RESUMO

Séries de dados de velocidades máximas anuais do vento, classificadas segundo o tipo de tormenta (ventos EPS ou IS) e a direção (octantes), são utilizadas para o ajuste de um modelo baseado em regressão linear múltipla, permitindo a estimativa dos ventos extremos no interior da região definida pelas estações meteorológicas disponíveis. A correlação entre as velocidades do vento e a temperatura do ar durante tormentas também é investigada, bem como o comportamento estatístico das temperaturas durante ventos fortes.

ABSTRACT

Maximum annual wind velocities series, classified according to storm type (EPS or TS winds) and direction (octants), are used to fit a model based in multiple linear regression, which provides the estimation of extreme winds inside the region defined by the available meteorological stations. The correlation between wind velocity and air temperature during storms is also investigated, as well as the statistical behaviour of air temperature during strong winds.

1 - INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a predição da velocidade do vento a ser considerada na determinação das cargas variáveis em estruturas é realizada através do ajuste de uma distribuição de extremos a dados de velocidades máximas anuais absolutas, coletados em estações meteorológicas de superfície. Diferentes distribuições de probabilidade são utilizadas com este fim, não sendo possível, devido à quantidade relativamente pequena de dados, determinar aquela que apresente o melhor ajuste por meio de critérios puramente estatísticos.

A escolha da distribuição mais adequada é, assim, baseada em fundamentos teóricos. A distribuição de Gumbel (ou Extremo Tipo I) é utilizada em regiões de clima "bem-comportado" (temperado, onde há predominância de apenas um fenômeno causador de ventos fortes), porque a distribuição dos valores extremos de amostras coletadas da população de origem dos ventos nessas regiões, que é melhor conhecida, tende à distribuição de Gumbel, à medida que o tamanho da amostra aumenta. Procedimentos apropriados a regiões de clima misto (com extremos originados de diferentes fenômenos meteorológicos) envolvem o ajuste de uma distribuição de probabilidade a cada fenômeno significativo, tendo sido examinados por Riera 'et al'¹ e Gomes & Vickery².

A caracterização do melhor método de estimativa dos parâmetros da distribuição finalmente escolhida é, também, objeto de discussões, sendo utilizados, principalmente, verossimilhança máxima, estatísticas de ordem, método gráfico, mínimos quadrados e método dos momentos.

No Brasil, a técnica de predição de ventos extremos foi utilizada, entre outros, por Vieira Filho³ e Padaratz⁴, que utilizaram a distribuição de Frechet (ou Extremo Tipo II) com parâmetros estimados por verossimilhança máxima, e por Menezes Jr. & Silva Filho⁵, que preferiram o uso da distribuição de

Gumbel (ou Extremo Tipo I), com estimativa de parâmetros através do método dos mínimos quadrados.

Os diferentes aspectos desta técnica podem ser avaliados através das compilações de "estado da arte" efetuadas por Riera 'et al'¹, Mayne⁶ e Simiu⁷, enquanto um resumo de resultados importantes da teoria de valores extremos é encontrado na Ref. [8].

Nos últimos anos, grandes esforços de pesquisa⁹⁻¹⁴ têm sido devotados ao estabelecimento de métodos adequados à avaliação da dependência dos ventos extremos com a sua direção de origem, de importância fundamental para:

- a) análises de confiabilidade;
- b) projetos de estruturas sensíveis à orientação do vento, como linhas de transmissão.

Um desses métodos consiste no ajuste de uma distribuição de extremos a séries de valores de velocidades máximas anuais classificadas segundo a direção. Este procedimento, somado à consideração dos dois fenômenos meteorológicos que são as principais causas de ventos extremos em latitudes médias do Brasil (sistemas extensos de pressão e tormentas elétricas) foi utilizado por Riera & Nanni^{9, 10} em um estudo piloto aplicado a séries de dados coletados em 4 estações meteorológicas localizadas no Rio Grande do Sul. As análises efetuadas mostraram ser a distribuição de extremos Tipo I a mais adequada para o ajuste dos dados, observando-se, por outro lado, diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de vento considerados. Além disso, resultados de um modelo visando a determinação do clima de ventos extremos em localidades afastadas das estações meteorológicas estudadas indicaram que a direção do vento é uma variável importante, sugerindo a possibilidade de desenvolvimento de modelos mais adequados do que as interpolações normalmente utilizadas para este fim.

Riera e Nanni⁹ investigaram, ainda, a relação entre as temperaturas e velocidades durante ventos extremos, cujo

tratamento conjunto é importante no estabelecimento de cargas de vento em linhas de transmissão.

Em vista dos resultados obtidos, o levantamento de séries de dados de outras 7 estações meteorológicas foi efetuado, segundo a metodologia desenvolvida⁹. Os dados de todas as 11 estações pesquisadas, bem como considerações gerais sobre a coleta de dados são apresentados na Ref. [16].

Propõe-se o presente trabalho a :

1 - Examinar a relação entre as velocidades do vento durante tormentas e as temperaturas do ar associadas às mesmas, visando possibilitar um tratamento probabilístico para a ação conjunta das duas variáveis.

2 - Investigar a aplicabilidade do modelo apresentado por Riera e Nanni^{9, 10} para a predição de ventos extremos, classificados segundo tipo de fenômeno causador e direção, introduzir correções e/ou modificações no mesmo se forem necessárias e, finalmente, empregar o enfoque na elaboração de modelos de predição de ventos extremos para toda a região centro-sul do Brasil.

2 - O CLIMA DE VENTOS EXTREMOS

A importância da identificação dos diferentes fenômenos meteorológicos que contribuem para a ocorrência de ventos fortes em uma região é reconhecida por diversos autores,^{1,2} sendo decorrente da observação de que as distribuições de probabilidade das velocidades extremas correspondentes a cada fenômeno são diferentes. Assim, é necessário que os dados disponíveis para ajuste sejam corretamente classificados segundo o mecanismo de tormenta que originou os ventos, contornando os problemas associados a populações mistas. A principal dificuldade deste tratamento em separado reside na identificação do fenômeno causador da tormenta. Para tanto, é necessário o conhecimento das características gerais de cada tipo de tormenta, bem como a disponibilidade de arquivos de dados que permitam a identificação destas características. Obviamente, tais cuidados não são necessários em regiões onde apenas um fenômeno apresenta-se como dominante.

2.1 - Aspectos Meteorológicos Básicos

2.1.1 - Convergência e divergência

Os movimentos das massas de ar na atmosfera podem ser explicados através dos princípios de conservação da massa e do momento. Uma massa de ar A (FIGURA 2.1.1.1), mais aquecida do que o restante da atmosfera que a circunda, tende a subir, provocando a convergência horizontal do ar que a envolvia (conservação da massa). Este, por sua vez, é substituído pelo ar descendente, deslocado pela massa de ar que iniciou o processo. Formam-se, assim, regiões alternadas de convergência, onde a pressão é mais baixa, e divergência, onde a pressão é mais alta (FIGURA 2.1.1.1). O ar convergente, ou divergente, é afetado pelo movimento de rotação da Terra, que é acompanhado

pela atmosfera. No Hemisfério Sul, a componente da rotação normal à superfície (força de Coriolis) induz um movimento rotacional (conservação do momento) horário no ar convergente e anti-horário no ar divergente. Como no Hemisfério Norte estes sentidos de rotação são invertidos, denominam-se de ciclônica a rotação do ar em torno de um centro de baixa pressão, e de anticiclônica o giro em torno de um centro de alta pressão.

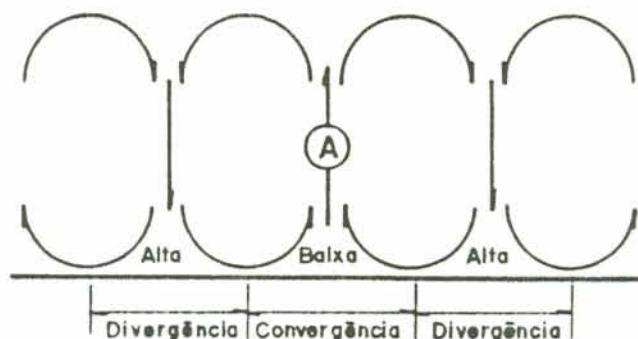


FIGURA 2.1.1.1 - Conservação da massa na atmosfera²⁴

2.1.2 - Circulação geral da atmosfera

Os objetivos do presente trabalho estão ligados à estimativa de ventos superficiais extremos. Deste modo, a apresentação de conceitos ligados à circulação atmosférica têm caráter introdutório e informativo.

A circulação da atmosfera em escala global é causada pela incidência diferenciada da energia solar, que diminui do Equador para os Pólos. Os ventos médios resultantes na superfície de cada hemisfério são divididos em três grandes cinturões (FIGURA 2.1.2.1): os ventos alísios que sopram de Nordeste no Hemisfério Norte e de Sudeste no Hemisfério Sul; os ventos predominantes do Oeste nas latitudes médias e os ventos polares de Leste junto aos Pólos. Entre cada cinturão e nos Pólos existe uma região de convergência (baixa pressão) ou de divergência (alta pressão).

O movimento de rotação da Terra faz com que o ar que se desloca gire para a esquerda no Hemisfério Sul e para a direita no Hemisfério Norte, provocando o padrão observado na

FIGURA 2.1.2.1.

Além dos aspectos gerais ligados à circulação, ocorrem diversos fenômenos secundários que, periodicamente, perturbam a circulação global da atmosfera, como frentes, depressões, anticiclones móveis, etc.

Frente é uma superfície de descontinuidade térmica e barométrica que se forma na linha de encontro de duas massas de ar de temperaturas diferentes. A oposição dos ventos predominantes de oeste com os ventos polares forma a chamada Frente Polar. Ao longo dessa frente, sob determinadas condições, geram-se centros de baixa pressão que desenvolvem-se em depressões frontais.

A sucessão contínua das depressões e anticiclones provoca variações na intensidade e direção dos ventos, bem como em todas as outras variáveis climatológicas da região afetada.

Uma descrição da circulação geral da atmosfera no Brasil, bem como, dos fenômenos da circulação secundária nas diferentes épocas do ano é encontrada na ref. [4].

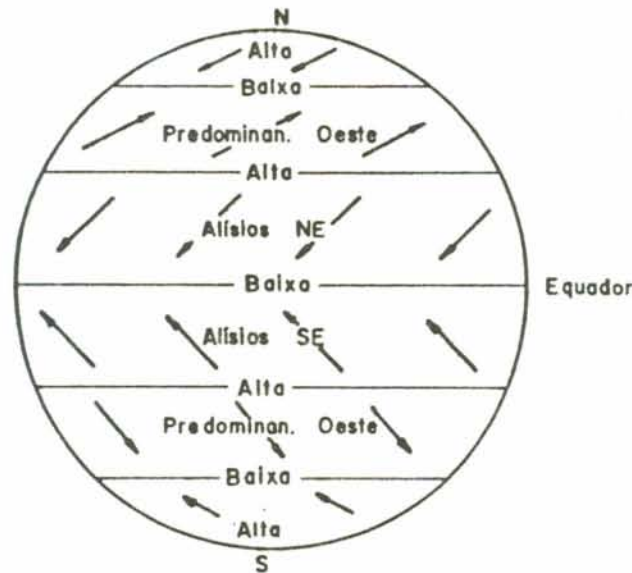


FIGURA 2.1.2.1 - Ventos superficiais médios globais

2.1.3 - Circulação local

O aquecimento solar local diferenciado é outra fonte de circulação. Uma área local muito aquecida pode provocar convecção suficiente para produzir forte convergência local, com circulação ciclônica.

2.2 - Principais Fenômenos Causadores de Ventos Fortes

A breve apresentação de alguns aspectos meteorológicos permite concluir que a causa básica dos ventos é a incidência diferenciada da energia solar e o consequente desnível térmico-barométrico causado. Entretanto, algumas condições são necessárias para que os ventos provocados atinjam velocidades superficiais elevadas, configurando uma tempestade. Os principais fenômenos causadores de velocidades extremas do vento e as técnicas utilizadas para a estimativa racional dos mesmos para uso na determinação de cargas sobre estruturas serão sucintamente apresentados a seguir.

2.2.1 - Sistemas extensos de pressão (Tormentas EPS*)

Também chamados de tormentas extra-tropicais, são ventos de origem global que se desenvolvem, geralmente, ao longo das frentes polares (depressões frontais). A atmosfera apresenta-se verticalmente estável e o fenômeno atinge toda uma região, com ventos de intensidade média e direção razoavelmente constantes por até algumas dezenas de horas. Suas dimensões variam de algumas centenas a alguns poucos milhares de quilômetros de diâmetro.¹⁵

Os sistemas extensos de pressão são a principal fonte de ventos extremos em latitudes temperadas, diminuindo sua influência à medida que as condições climáticas se tornam mais tropicais e a atividade térmica aumenta. Sua consideração é, assim, particularmente importante na análise dos ventos extremos no sul do Brasil. A área atingida por uma depressão frontal

* - EXTENDED MATURE PRESSURE SYSTEMS

individual será influenciada pela posição e intensidade dos sistemas climatológicos vizinhos.

Pela extensão territorial abrangida, ocorrência periódica e duração dos ventos, um sistema extenso de pressão permite a coleta de dados em muitas estações meteorológicas. Por isso, esses ventos são considerados bem conhecidos, existindo, inclusive, modelos matemáticos (lei logarítmica, lei potencial) para o perfil vertical das velocidades médias durante os mesmos, importante para a caracterização micrometeorológica do local em estudo.

O método mais utilizado para a estimativa de valores extremos é o ajuste a séries de dados de velocidades máximas anuais medidas sobre um determinado intervalo de tempo (3 s, médias horárias, etc) de uma distribuição de valores extremos, usualmente a Distribuição de Gumbel (ou Extremo Tipo I) :

$$F_V(v) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{v - U}{\alpha} \right) \right] \quad (2.2.1.1)$$

que fornece a probabilidade de que uma velocidade anual máxima seja igual ou inferior a v . Os parâmetros U e α são a moda e o fator de dispersão da distribuição em unidades de velocidade. O mesmo procedimento pode ser utilizado para a predição de velocidades extremas do vento classificadas segundo a sua direção de origem^{9,10,11,17} se, em vez de apenas um máximo anual forem coletados máximos anuais referidos a diferentes direções (por exemplo, setores de 45°).

Métodos de predição baseados em valores das pressões dinâmicas máximas associadas a tormentas individuais também são utilizados,^{12,95} sendo igualmente preferida a distribuição de Gumbel. Estes métodos, apesar do aumento considerável do tamanho das amostras disponíveis para o ajuste, são de aplicação difícil quando não se dispõe de bancos de dados informatizados, como é o caso do Brasil. Além disso, estudos realizados por Viegas¹⁷ indicam que a qualidade do ajuste da distribuição de Gumbel a séries máximas anuais de pressões dinâmicas é inferior ao obtido com o uso de velocidades.

2.2.2 - Tempestades elétricas (Ventos TS*)

As tempestades elétricas são a principal fonte de velocidades elevadas do vento em vastas regiões do país. Araujo,¹⁸ em 1930, destacava : " A causa principal que determina o registro de ventos de grande velocidade no Rio Grande do Sul, são os temporaes locais, communmente acompanhados de chuva e trovoadas, que ocorrem geralmente à tarde, dando fim a um período de altas temperaturas. ".

Estas tormentas são observadas ao longo de frentes, mas também podem ser provocadas pelo aquecimento local do solo em dias muito quentes. Elas se desenvolvem a partir de "células" individuais, caracterizadas por uma nuvem cúmulo-nimbus, com diâmetros e altura em torno de 5000 e 10000 m, respectivamente.²⁴ A topografia também pode contribuir para a maior ocorrência deste tipo de vento, devido à maior área exposta à insolação nas encostas.

O início da tormenta se dá devido ao movimento ascendente de ar quente e úmido. Se o ar nas camadas atingidas estiver mais frio do que a massa que subiu (instabilidade vertical da atmosfera), esta continua o movimento, até que o peso da água e gelo acumulados não pode mais ser suportado pela corrente ascendente. Fortes precipitações de chuva e, as vezes, granizo alteram o sentido do movimento do ar através de fricção. Grandes quantidades de ar são, assim, trazidas até o solo. O choque resultante produz um fluxo horizontal de ar de alta turbulência, que se propaga a partir da célula em avanço. Uma seção transversal típica de uma tormenta elétrica²² é apresentada na FIGURA 2.2.2.1. Além das elevadas velocidades horizontais produzidas, ocorrem fortes movimentos ascendentes (updrafts) e descendentes (downdrafts) do ar, que podem alterar substancialmente a resposta das estruturas submetidas ao vento. O estágio maduro da tormenta, caracterizado pelas rajadas bruscas do vento e precipitação intensa, dura geralmente de 5 a 30 minutos,¹⁵ sendo os efeitos do fluxo sentidos até 30 km a frente na direção de avanço da nuvem.²¹

* - THUNDERSTORMS

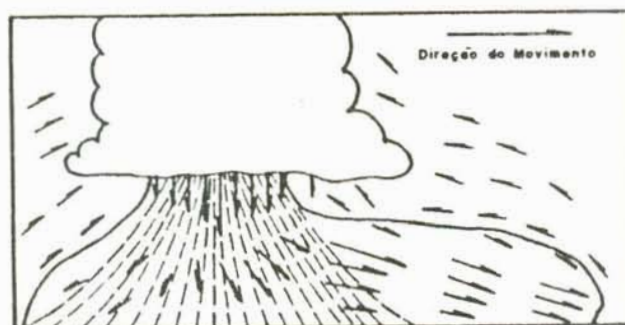


FIGURA 2.2.2.1 - Seção transversal de uma tempestade elétrica típica²²

Os métodos de análise utilizados para a estimativa dos ventos horizontais extremos são, também, baseados no uso das distribuições de valores extremos e, novamente, a distribuição de Gumbel é a preferida.^{2, 9, 10, 17}

A possibilidade de associar uma direção às rajadas do vento durante uma tempestade elétrica foi sugerida por Gomes & Vickery,² que observaram ser a distribuição de probabilidades da direção do vento horizontal durante a tempestade consistente com a direção de deslocamento da mesma. Esta constatação é compatível com a seção de uma tempestade típica apresentada por Zhu e Etkin,²² reproduzida na FIGURA 2.2.2.1. Nos trabalhos de Riera & Nanni^{9, 10} e Viegas,¹⁷ a distribuição de Gumbel é utilizada para a predição de ventos extremos durante tempestades elétricas classificadas segundo a direção do vento.

Quanto ao perfil vertical dos ventos, não há conclusões definitivas devido à pouca informação existente. Simiu⁷ cita observações realizadas por Sinclair 'et al.'³⁶ de que os ventos variam com a altura de acordo com uma lei logarítmica até 100 m, apresentando variações desprezáveis acima desta altura.

2.2.3 - Tornados

Os tornados são tempestades locais que geralmente se desenvolvem a partir de uma tempestade elétrica. Para a sua

ocorrência são necessárias duas condições meteorológicas²⁴: uma célula convectiva intensa (usualmente uma nuvem tipo cumulonimbus de uma tempestade TS) e um vento forte no topo da célula, isto é, a uma altura de aproximadamente 10 km. A inércia do vento no topo da célula suga o ar existente dentro da mesma, reduzindo a sua pressão interna. A medida que a altura da zona de convecção diminui em direção ao solo, forma-se uma nuvem com formato de funil. No ponto de contato com o solo, o movimento convectivo intenso desenvolve um movimento rotacional ciclônico. Os vórtices formados têm de 10 a 200 m de diâmetro em sua parte inferior e desenvolvem-se em trilhas que atingem até 20 km (Dyer,²⁰ cita tornados com trilhas de 70 km de comprimento e 1,2 km de largura). Os violentos movimentos ascencionais do ar são responsáveis pela formação da coluna negra observada no tornado, ao sugarem objetos e poeira para o interior do mesmo.

A quantificação dos riscos associados aos tornados deve levar em conta, além das velocidades elevadas do vento, a intensa depressão barométrica dentro do vórtice. Os objetos sugados pelo tornado são, também, fonte de danos consideráveis. Os métodos de análise utilizados são baseados na determinação de uma área de risco para a qual deve-se estabelecer as distribuições de probabilidade de ocorrência de tornados, das larguras e comprimentos das trilhas e das velocidades observadas. A probabilidade de que um tornado atinja uma localidade qualquer dentro da área em estudo é dada por⁷:

$$P_t = \bar{n} \frac{a}{A_o} \quad (2.2.3.1)$$

onde \bar{n} = número médio de tornados por ano
 a = área média das trilhas de tornado
 A_o = área da região em estudo

A probabilidade de que um tornado com velocidade superior a um determinado valor V_o atingirá uma localidade

qualquer é dada por:

$$P_t(V_o) = P(V_o) P_t \quad (2.2.3.2)$$

onde $P(V_o)$ = probabilidade de que a velocidade seja maior que V_o , caso um tornado tenha ocorrido.

A maior dificuldade reside na avaliação de $P(V_o)$, pois nas poucas ocasiões em que um tornado atinge uma estação meteorológica, os medidores são normalmente destruídos. As estimativas são, assim, normalmente efetuadas pela observação dos danos causados. Outra hipótese frequentemente adotada² é considerar que, quando uma localidade é atingida, a velocidade do tornado atinge seu valor máximo, devido à pequena largura do vórtice.

Devido ao risco reduzido de atingirem uma determinada localidade, os tornados são considerados apenas em casos onde todos os riscos, por menores que sejam, devam ser levados em conta, por exemplo, no projeto de centrais nucleares.

A ocorrência de possíveis tornados no Brasil foi sugerida por Dyer,²⁰ ao observar danos causados em florestas na região sudoeste do país. Além disso, a frequente ocorrência de tormentas elétricas indica que existem condições para a formação de tornados.

2.2.4 - Ciclones tropicais

Também chamados furacões ou tufões, quando os ventos produzidos são muito intensos, os ciclones tropicais formam-se sobre os oceanos próximos ao equador, sendo causados pelo aquecimento solar local, que produz um movimento convectivo conforme descrito no ITEM 2.1.1. Apresentam movimento rotativo, os ventos de velocidades destrutivas raramente atingindo raios de 100 km a partir do centro da tormenta.¹⁵

Apesar do mecanismo de formação não ser, ainda, totalmente conhecido, algumas condições meteorológicas são necessárias para que os ciclones tropicais se formem²⁴:

- a temperatura da água deve ser superior a 27°C , necessária para o início e manutenção de intensa convergência;
- a atmosfera entre a superfície e uma altitude de cerca de 10 km deve estar isenta de inversões, para que o ar convergente sofra convecção até esta altura;
- a atmosfera a cerca de 10 km de altitude deve estar levemente divergente, para que o ar que sobe seja removido o suficiente, evitando a formação do mecanismo celular simples de convergência/divergência da FIGURA 2.1.1.1;
- o parâmetro de Coriolis tem de ser maior que 10^{-5} rad/s, a fim de induzir a circulação necessária à manutenção do ciclone.

A primeira e a última condições determinam que o surgimento dos ciclones tropicais só aconteça nos oceanos quentes localizados nas latitudes entre 5° e 20° de cada lado do Equador. Em latitudes menores, a força de Coriolis é insuficiente para manter o movimento rotacional. A primeira condição é utilizada para explicar a rara ocorrência de ciclones tropicais na América do Sul, onde a água possui temperaturas inferiores ao mínimo requerido (27°), devido à corrente de Humboldt. Este tipo de vento, portanto, é pouco importante na caracterização do clima de ventos extremos do Brasil.

A pequena quantidade de ciclones tropicais formados durante cada ano, aliada aos problemas decorrentes das falhas normalmente observadas dos instrumentos de medição devido à força dos ventos produzidos, impede (como no caso dos tornados) o acúmulo de dados para uma análise estatística confiável. Essa dificuldade é contornada através do uso de simulações da estrutura do campo de ventos em um ciclone tropical, baseadas em informações estatísticas das características climatológicas dos mesmos. As velocidades máximas observadas durante os ciclones simulados são, então, utilizadas para a estimativa dos ventos extremos devidos a este tipo de fenômeno meteorológico. Descrições desta técnica são encontradas nas Ref. 2,7,24 e 29.

2.2.5 - Ventos locais

A ocorrência de ventos fortes condicionados por fatores locais, principalmente pela topografia, constitui um outro fator a ser considerado na caracterização do clima de ventos extremos. Além da influência normal das variações do relevo, protegendo a estrutura ou aumentando a exposição da mesma ao vento, a presença de mudanças topográficas significativas pode aumentar o número de tormentas elétricas, ou mesmo produzir ventos bastante fortes de origem diretamente topográfica.

3 - DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

O presente trabalho baseou-se no tratamento probabilístico de dados de temperatura e velocidade extrema do vento, estando fundamentado em estudos preliminares^{9,10} realizados em 4 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul.

O estabelecimento de modelos para a predição das velocidades extremas do vento na região Sul do Brasil, situada em latitudes médias, deve levar em conta, pelo menos, dois dos fenômenos descritos no capítulo anterior:

- Tormentas extra-tropicais (ventos EPS)
- Tempestades elétricas (ventos TS)

Sugestões neste sentido foram lançadas por Riera 'et al'¹ para o clima de ventos extremos do Hemisfério Sul. Estudos posteriores de Nanni e Riera^{9,10} confirmaram a importância do tratamento em separado dos dois tipos de tormentas citados, devido às diferenças estatisticamente significativas encontradas entre as distribuições de probabilidade ajustadas a séries de velocidades máximas anuais originadas em ventos EPS e TS. Como já foi mencionado, a principal dificuldade na elaboração desses modelos reside em caracterizar qual o tipo de fenômeno causador de cada velocidade do vento registrada. Nanni e Riera^{9,10} utilizaram dados coletados em estações meteorológicas de superfície localizadas em aeroportos, onde a anotação das condições meteorológicas no momento da leitura da velocidade do vento permite determinar o fenômeno causador da mesma. Nestas estações, operadas pela Força Aérea Brasileira, são efetuadas leituras horárias durante o período de funcionamento da estação, que varia de 14 a 24 h por dia. As medições são realizadas através de média visual, sobre aproximadamente 30 segundos, do movimento da agulha dos anemômetros. Anota-se, também, a velocidade instantânea do vento (velocidade de rajada, com intervalo médio de tempo em

torno dos 3 s) quando a mesma ultrapassa em pelo menos 10 nós (1 nó = 0,514 m/s) a velocidade média sobre 30 segundos. O trabalho de coleta de dados consistiu em identificar o fenômeno causador (tormenta EPS ou TS) de cada velocidade elevada do vento, que era, a seguir, classificada segundo a sua direção de origem (dividida em octantes, conforme FIGURA 3.1). Utilizou-se uma calculadora programável para arquivar as máximas velocidades anuais correspondentes a cada fenômeno e direção considerados, sendo as velocidades médias sobre 30 segundos e as velocidades de rajada coletadas separadamente. Anotou-se, também, a temperatura do ar associada a cada velocidade.

A metodologia desenvolvida foi utilizada na ampliação do banco de dados, através do acréscimo de séries de velocidades do vento relativas a outras 7 estações meteorológicas, igualmente localizadas em aeroportos. As localidades envolvidas no estudo são indicadas na FIGURA 3.2, enquanto sua localização e altitude são indicadas na TABELA 3.1.

Os produtos finais obtidos, isto é, as séries de velocidades máximas anuais, classificadas segundo o tipo de tormenta (EPS ou TS) e a direção de origem do vento (dividida em octantes), e a temperatura do ar associada a cada velocidade máxima, estão disponíveis sob a forma de planilhas em um relatório técnico publicado pelo CPGEC - UFRGS,¹⁶ juntamente com a descrição da metodologia de levantamento de dados.

Para os processamentos estatísticos efetuados no presente estudo foram produzidas séries artificiais de dados, definindo-se como velocidade anual máxima do vento em cada octante e para cada tipo de fenômeno meteorológico o maior valor entre a velocidade de rajada e a velocidade média sobre 30 segundos majorada por um fator de rajada igual a 1,15. Novas modificações se fizeram necessárias em face do condicionamento apresentado pelas séries devido a problemas na leitura dos dados (tendência do operador do anemômetro a ler apenas valores pares e/ou múltiplos de 5). Descrições detalhadas das modificações efetuadas são encontradas no trabalho de Viegas.¹⁷

Finalmente, deve ser destacado que diversas séries apresentam-se truncadas, isto é, incompletas, não apresentando

quaisquer valores de velocidade do vento (média sobre 30 segundos ou rajada) para alguns octantes em alguns dos anos de dados disponíveis. Na TABELA 3.2 são apresentados os totais de anos pesquisados para cada estação e o número de dados encontrados em cada octante. As séries incompletas estão indicadas por um asterisco. Conforme pode ser observado, o problema é maior no caso de ventos TS, especialmente nas estações do Rio Grande do Sul. Esse fato pode ser explicado pela adoção do valor mínimo 13 nós para a velocidade do vento durante a maior parte do levantamento de dados nesse estado. Nos demais, pesquisados posteriormente, adotou-se o valor 10 nós, como forma de contornar o problema. Os valores mínimos se justificam devido ao custo (duração) elevado da coleta e para evitar confundir ventos locais de baixa intensidade com aqueles originados dos mecanismos de tormenta estudados.

Convém lembrar, ainda, que a forma de anotação dos dados, para uso aeronáutico, não é a melhor para os fins de uma análise direcional de ventos extremos, pois diversos eventos de menor intensidade são perdidos entre as horas de coleta. Também o horário de funcionamento da maioria das estações, interrompido durante a noite, é responsável pela perda de alguns valores. Assim, é bastante provável que grande parte, senão a totalidade, dos valores "nulos" possa ser creditada a deficiências na anotação dos dados e no trabalho de levantamento, não representando, necessariamente, uma velocidade do vento zero para o setor.

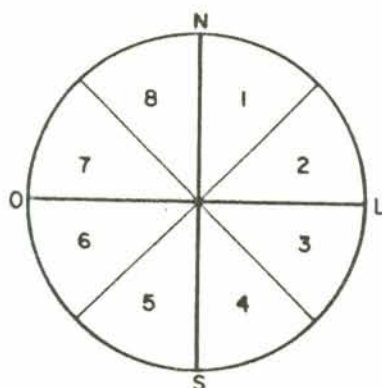


FIGURA 3.1 - Divisão setorial adotada para a direção de origem do vento (45°)

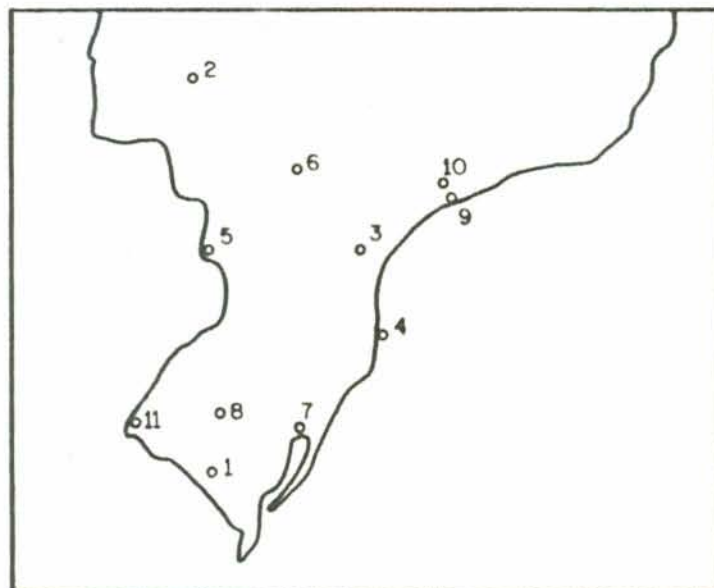


FIGURA 3.2 - Estações meteorológicas pesquisadas

TABELA 3.1 - Localização e altitude das estações

| N.º | ESTAÇÃO | Latitude | Longitude | Altitude |
|-----|---------------|----------|-----------|----------|
| 1 | Bagé | 31°23' S | 54°07' W | 180 m |
| 2 | Campo Grande | 20°28' S | 54°40' W | 552 m |
| 3 | Curitiba | 25°31' S | 49°11' W | 910 m |
| 4 | Florianópolis | 27°40' S | 48°33' W | 5 m |
| 5 | Foz do Iguaçu | 25°31' S | 54°35' W | 180 m |
| 6 | Londrina | 23°20' S | 51°08' W | 570 m |
| 7 | Porto Alegre | 30°00' S | 51°10' W | 4 m |
| 8 | Santa Maria | 29°43' S | 53°42' W | 85 m |
| 9 | Santos | 23°56' S | 46°18' W | 3 m |
| 10 | São Paulo | 23°27' S | 46°39' W | 802 m |
| 11 | Uruguaiiana | 29°47' S | 57°02' W | 74 m |

TABELA 3.2 - Número de valores disponíveis em cada série de dados

n =====> total de anos pesquisados

* =====> séries truncadas

| | OCT | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| BAGÉ n = 25 | EPS | 25 | 23* | 25 | 25 | 25 | 24* | 25 | 25 |
| | TS | 18* | 12* | 18* | 23* | 24* | 25 | 20* | 23* |
| CAMPO GRANDE n = 15 | EPS | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | TS | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| CURITIBA n = 23 | EPS | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| | TS | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| FLORIANÓPOLIS n = 27 | EPS | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| | TS | 26* | 18* | 24* | 27 | 27 | 26* | 26* | 27 |
| FOZ DO IGUAÇU n = 23 | EPS | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| | TS | 21* | 23 | 22* | 23 | 23 | 22* | 20* | 23 |
| LONDRINA n = 22 | EPS | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| | TS | 22 | 21* | 21* | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| PORTO ALEGRE n = 29 | EPS | 12* | 24* | 29 | 29 | 29 | 28* | 28* | 23* |
| | TS | 16* | 13* | 15* | 25* | 29 | 26* | 27* | 20* |
| SANTA MARIA n = 29 | EPS | 29 | 28* | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| | TS | 25* | 14* | 24* | 22* | 27* | 29 | 29 | 29* |
| SANTOS n = 16 | EPS | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | TS | 16 | 15* | 15* | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| SÃO PAULO n = 16 | EPS | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 15* | 16 | 16 |
| | TS | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 15* | 15* | 16 |
| URUGUAIANA n = 29 | EPS | 29 | 27* | 29 | 29 | 29 | 29 | 24* | 29 |
| | TS | 18* | 18* | 24* | 29 | 29 | 25* | 23* | 22* |

4 - ESTUDOS DE CORRELAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E VELOCIDADE DO VENTO

4.1 - Considerações Preliminares

Faz parte das hipóteses de carregamento sobre linhas de transmissão, nos casos de mudança de direção ou de torre de extremidade (especialmente para vãos reduzidos), a consideração da temperatura, conjuntamente com a ação direta do vento.

No Brasil, o primeiro estudo sobre as temperaturas durante ventos extremos, aplicado ao estabelecimento de carregamentos sobre linhas de transmissão é, aparentemente, devido à Serra,²⁹ que apresentou uma série de mapas descrevendo a variação das condições meteorológicas brasileiras, incluindo uma avaliação das temperaturas a serem consideradas durante a ocorrência de ventanias.

Internacionalmente, a norma IEC³⁰ apresenta duas hipóteses para o carregamento de vento em linhas de transmissão, com diferentes combinações de velocidade e temperatura:

a) Hipótese de vento extremo :

Considera o vento extremo, definido de acordo com a confiabilidade exigida da linha, associado ao valor da média das temperaturas mínimas diárias.

Como alternativa, pode-se usar o valor anual mínimo da temperatura com probabilidade de ocorrência de 2% ou período de retorno de 50 anos, acrescido de 15°C.

b) Hipótese de temperatura mínima:

Considera a temperatura anual mínima, descrita no item anterior, associada à velocidade extrema do vento reduzida por um coeficiente definido pelas condições meteorológicas lo-

cais (um valor de 0,6 para esse coeficiente é sugerido caso não se tenha um bom conhecimento das condições meteorológicas).

A fim de investigar a relação entre as velocidades extremas do vento e a temperatura do ar no momento da sua ocorrência, bem como de caracterizar o comportamento probabilístico da temperatura durante ventos extremos uma série de testes foram realizados sobre as séries de dados descritos no CAPÍTULO 3. Os resultados obtidos serão apresentados e analisados a seguir.

4.2 - Análise Estatística Básica das Amostras de Temperatura

Os valores das temperaturas associadas às velocidades máximas anuais dos ventos¹⁶ em cada octante foram, para cada estação (TABELA 3.1), divididos em dois grupos de acordo com o tipo de tormenta causadora (EPS ou TS). A análise estatística básica foi, então, realizada sobre os valores indicados na TABELA 4.2.1, onde:

- n é o tamanho da amostra;
- s é o desvio padrão da amostra;
- min é o valor mínimo da amostra;
- máx é o valor máximo da amostra;
- g1 é o coeficiente de assimetria da amostra;
- g2 é o coeficiente de curtose da amostra;
- CV é o coeficiente de variação da amostra.

4.2.1 - Comparação de variâncias

A observação dos desvios padrões resultantes para as amostras durante ventos EPS e TS indica haver uma maior dispersão dos dados no primeiro fenômeno, o que era esperado devido a maior distribuição temporal de um sistema extenso de pressão em relação a uma tormenta elétrica.

A hipótese a testar é :

$$H_0 : \sigma_{eps}^2 \leq \sigma_{ts}^2 \quad (4.2.1.1)$$

e a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_{eps}^2 > \sigma_{ts}^2 \quad (4.2.1.2)$$

com :

$$F = \sigma_{eps}^2 / \sigma_{ts}^2 \quad (4.2.1.3)$$

Normalmente, para o uso da distribuição F para a comparação de variâncias é necessário que as variáveis comparadas sejam normalmente distribuídas. Porém, quando o nível de significância de F é muito pequeno a caracterização das distribuições não impede o seu uso. Para as estações estudadas a hipótese H_0 é rejeitada no nível 0,1 % em 4 casos (Campo Grande, Londrina, São Paulo e Uruguaiana); no nível 0,5 % em 4 casos (Bagé, Curitiba, Foz do Iguaçu e Porto Alegre) e no nível 5 % em uma estação (Santa Maria). Nas estações Santos e Florianópolis, a hipótese não é rejeitada no nível 5 %, o que pode ser explicado pelo efeito da massa oceânica. Pode-se admitir, portanto, que as temperaturas EPS apresentam variância superior às TS nas estações continentais.

4.2.2 - Comparação de médias

Geralmente, ventos tipo TS ocorrem à tarde, dando fim a um período de altas temperaturas. Apesar do fluxo de vento da tormenta ser mais frio que o ar que determinava as temperaturas elevadas pode-se esperar que as médias das temperaturas durante os ventos TS seja superior à média das temperaturas durante ventos EPS.

Como o número de observações é grande, a comparação das médias foi realizada através da distribuição Normal. Os testes ($\alpha = 0.05$) indicam que a média das temperaturas tipo TS é significativamente maior que a média das EPS em Porto Alegre,

TABELA 4.2.1 - Valores Estatísticos Básicos

| ESTIÇÃO | vento | n | média | s | min | máx | g1 | g2 | CV |
|---------------|-------|-----|-------|------|------|------|--------|--------|------|
| BAGÉ | EPS | 193 | 19,65 | 6,02 | 6,0 | 37,0 | 0,161 | -0,307 | 30,6 |
| | TS | 158 | 21,13 | 4,59 | 10,0 | 32,2 | 0,093 | -0,472 | 21,7 |
| CAMPO GRANDE | EPS | 95 | 22,97 | 5,36 | 10,0 | 32,8 | -0,526 | -0,404 | 23,3 |
| | TS | 104 | 23,26 | 3,51 | 15,2 | 34,0 | 0,463 | 0,466 | 15,9 |
| CURITIBA | EPS | 174 | 18,69 | 5,04 | 2,0 | 31,2 | 0,028 | -0,082 | 30,0 |
| | TS | 162 | 20,48 | 3,83 | 10,7 | 28,8 | -0,251 | -0,375 | 18,7 |
| FLORIANÓPOLIS | EPS | 188 | 21,49 | 4,37 | 9,7 | 31,5 | -0,297 | -0,088 | 20,3 |
| | TS | 181 | 23,99 | 4,14 | 15,0 | 34,0 | -0,123 | -0,521 | 17,3 |
| FOZ DO IGUAÇU | EPS | 152 | 24,18 | 5,93 | 9,7 | 37,0 | -0,098 | -0,473 | 24,5 |
| | TS | 145 | 23,20 | 4,43 | 11,0 | 34,7 | 0,087 | -0,186 | 19,1 |
| LONDRINA | EPS | 160 | 22,46 | 5,57 | 2,5 | 32,9 | -0,585 | 0,329 | 24,8 |
| | TS | 156 | 23,12 | 3,47 | 13,6 | 32,5 | 0,016 | -0,076 | 15,0 |
| PORTO ALEGRE | EPS | 188 | 21,49 | 6,20 | 6,5 | 36,0 | -0,084 | -0,571 | 28,8 |
| | TS | 160 | 25,03 | 4,71 | 13,0 | 35,0 | -0,278 | -0,161 | 18,8 |
| SANTA MARIA | EPS | 223 | 22,34 | 5,41 | 6,0 | 33,0 | -0,616 | 0,010 | 24,2 |
| | TS | 190 | 23,39 | 4,61 | 6,0 | 37,4 | -0,106 | 1,064 | 19,7 |
| SANTOS | EPS | 108 | 25,25 | 4,13 | 13,6 | 34,9 | -0,376 | 0,137 | 16,4 |
| | TS | 105 | 26,50 | 3,65 | 19,0 | 35,8 | 0,116 | -0,528 | 13,8 |
| SÃO PAULO | EPS | 174 | 21,29 | 5,04 | 8,3 | 31,6 | -0,368 | -0,469 | 23,7 |
| | TS | 118 | 23,58 | 3,38 | 15,0 | 31,2 | 0,161 | -0,364 | 14,3 |
| URUGUAIANA | EPS | 221 | 22,34 | 7,34 | 6,9 | 40,0 | 0,100 | -0,750 | 32,8 |
| | TS | 186 | 22,31 | 4,51 | 8,0 | 35,5 | 0,184 | 0,600 | 20,2 |

Bagé, Florianópolis, Curitiba, Santos e São Paulo, não sendo significativa a diferença nas demais. Os testes foram realizados levando em conta variâncias diferentes, exceto em Santos e Florianópolis.

4.2.3 - Coefficientes de assimetria (g_1) e curtose (g_2)

O valor do coeficiente de assimetria para temperaturas TS só é significativo em Campo Grande, que apresenta assimetria à direita. Para as temperaturas EPS, o coeficiente g_1 é significativo em Santa Maria, Florianópolis, Londrina, São Paulo e Campo Grande, todas com assimetria à esquerda. Assim, a análise indica o possível ajuste das temperaturas EPS a distribuições com essa assimetria (Weibull, Gama).

Quanto ao coeficiente de curtose, para temperaturas EPS, a distribuição é aplainada em Porto Alegre e Uruguaiana. Para as temperaturas TS, a distribuição é aplainada em Florianópolis e acentuada em Santa Maria. Nos demais casos, EPS ou TS, a curtose não é significativa.

4.3 - Testes de Aderência

Foram examinados os ajustes das distribuições Normal e de Weibull às séries de temperaturas EPS e TS através do teste de bondade de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Os níveis de significância das estatísticas calculadas ^{31,32} e os parâmetros de forma e escala para a distribuição de Weibull são indicados na TABELA 4.3.1.

Para as temperaturas EPS, a hipótese de normalidade é aceita em Porto Alegre, Curitiba e Santos sendo duvidosa em Foz do Iguaçu. A observada assimetria à esquerda se reflete no melhor ajuste da distribuição de Weibull, que só é rejeitado em Santa Maria, Bagé e Campo Grande, sendo duvidoso em Uruguaiana.

Para as temperaturas TS, a hipótese de normalidade é aceita em Florianópolis, Curitiba, Foz do Iguaçu, Santos, Londrina e Campo Grande, sendo duvidosa em Santa Maria. A distri-

TABELA 4.3.1 - Testes de Aderência

Nota:

 α, β - parâmetros de escala e forma da distribuição de Weibull

| ESTAÇÃO | vento | n | NORMAL | | WEIBULL | | | |
|---------------|-------|-----|--------|-------|---------|----------|-------------|-------|
| | | | DN | P | β | α | $D\sqrt{n}$ | P |
| BAGÉ | EPS | 193 | 0,078 | <0,01 | 3,60 | 21,82 | 1,15 | <0,01 |
| | TS | 158 | 0,078 | 0,01 | 5,19 | 22,82 | 1,14 | <0,01 |
| CAMPO GRANDE | EPS | 95 | 0,114 | <0,01 | 5,65 | 25,16 | 1,13 | <0,01 |
| | TS | 104 | 0,068 | 0,10 | 6,84 | 24,73 | 0,93 | 0,025 |
| CURITIBA | EPS | 174 | 0,055 | 0,10 | 4,06 | 20,29 | 0,71 | 0,10 |
| | TS | 162 | 0,047 | 0,10 | 6,04 | 22,06 | 0,65 | 0,10 |
| FLORIANÓPOLIS | EPS | 188 | 0,073 | 0,01 | 5,65 | 23,12 | 0,75 | 0,10 |
| | TS | 181 | 0,066 | 0,05 | 6,51 | 25,58 | 0,68 | 0,10 |
| FOZ DO IGUAÇU | EPS | 152 | 0,074 | ~0,05 | 4,63 | 26,47 | 0,68 | 0,10 |
| | TS | 145 | 0,044 | 0,10 | 5,79 | 25,01 | 0,81 | ~0,10 |
| LONDRINA | EPS | 160 | 0,088 | <0,01 | 4,78 | 24,42 | 0,88 | 0,05 |
| | TS | 156 | 0,062 | 0,10 | 7,19 | 24,55 | 1,14 | <0,01 |
| PORTO ALEGRE | EPS | 188 | 0,060 | 0,05 | 3,96 | 23,73 | 0,69 | 0,10 |
| | TS | 160 | 0,077 | 0,01 | 6,12 | 26,96 | 0,79 | 0,10 |
| SANTA MARIA | EPS | 223 | 0,125 | <0,01 | 5,00 | 24,36 | 1,52 | <0,01 |
| | TS | 190 | 0,068 | ~0,05 | 5,46 | 25,14 | 1,05 | 0,01 |
| SANTOS | EPS | 108 | 0,063 | 0,10 | 7,11 | 26,96 | 0,57 | 0,10 |
| | TS | 105 | 0,078 | 0,10 | 7,84 | 28,00 | 0,87 | 0,05 |
| SÃO PAULO | EPS | 174 | 0,080 | ~0,01 | 4,93 | 22,70 | 0,66 | 0,10 |
| | TS | 118 | 0,103 | <0,01 | 7,58 | 24,81 | 1,20 | <0,01 |
| URUGUAIANA | EPS | 221 | 0,069 | 0,01 | 3,39 | 24,92 | 0,93 | 0,025 |
| | TS | 186 | 0,077 | 0,01 | 5,21 | 24,10 | 1,29 | <0,01 |

buição de Weibull apresenta ajustes superiores à Normal em Porto Alegre e Florianópolis. Em Curitiba, o nível de significância das duas distribuições é praticamente o mesmo, enquanto nas demais estações a Normal apresenta melhores ajustes.

Os resultados dos testes de aderência levam à proposição da distribuição de Weibull para as temperaturas durante ventos extremos do tipo EPS e da distribuição Normal para as temperaturas durante ventos TS. A distribuição de probabilidade de Weibull é descrita no APÊNDICE A.

4.4. Relação entre Velocidades e Temperaturas

Tentativas anteriores de determinar uma relação entre velocidade do vento e temperatura⁹ sugeriram que não há correlação entre as duas variáveis. Adicionalmente, deve ser destacada a comunicação pessoal (1987) de A. Davenport de que não encontrara relação significativa entre velocidade do vento e temperatura. Davenport concluiu que essas variáveis são independentes.

A hipótese de existência de uma relação entre temperaturas e velocidades foi testada através de regressão linear, adotando-se o seguinte modelo :

$$V = a + bT \quad (4.4.1)$$

Os resultados da regressão são indicados na TABELA 4.4.1, onde:

- n é o tamanho da amostra;
- a e b são os parâmetros da equação;
- t_b é a estatística para o teste de significância;
- r é o coeficiente de correlação;
- r^2 é o coeficiente de determinação.

A análise mostra que a relação parece ser significativa em Santa Maria (EPS e TS), Florianópolis (EPS),

TABELA 4.4.1 - Relação entre Velocidades e Temperaturas
($V = a + bT$)

| ESTAÇÃO | vento | n | a | b | tb | r | r^2 (%) |
|---------------|-------|-----|-------|-------|--------|-------|-----------|
| BAGÉ | EPS | 193 | 14,01 | -0,00 | -0,058 | -0,00 | 0,00 |
| | TS | 158 | 11,97 | 0,08 | 0,845 | 0,07 | 0,46 |
| CAMPO GRANDE | EPS | 95 | 11,89 | 0,21 | 2,650 | 0,29 | 7,71 |
| | TS | 104 | 19,74 | -0,02 | -0,100 | -0,01 | 0,01 |
| CURITIBA | EPS | 174 | 12,27 | 0,08 | 1,720 | 0,13 | 1,72 |
| | TS | 162 | 17,95 | -0,16 | -1,579 | -0,12 | 1,53 |
| FLORIANÓPOLIS | EPS | 188 | 20,08 | -0,25 | -3,900 | -0,28 | 7,61 |
| | TS | 181 | 11,28 | 0,07 | 0,729 | 0,05 | 0,30 |
| FOZ DO IGUAÇU | EPS | 152 | 11,43 | -0,01 | -0,213 | -0,02 | 0,03 |
| | TS | 145 | 6,14 | 0,25 | 2,500 | 0,21 | 4,24 |
| LONDRINA | EPS | 160 | 15,65 | -0,02 | -0,295 | -0,02 | 0,06 |
| | TS | 156 | 20,77 | -0,13 | -0,703 | -0,06 | 0,32 |
| PORTO ALEGRE | EPS | 188 | 17,67 | -0,04 | -0,779 | -0,06 | 0,32 |
| | TS | 160 | 19,77 | -0,06 | -0,683 | -0,05 | 0,30 |
| SANTA MARIA | EPS | 223 | 10,14 | 0,27 | 3,990 | 0,26 | 6,71 |
| | TS | 190 | 6,44 | 0,40 | 4,160 | 0,29 | 8,38 |
| SANTOS | EPS | 108 | 17,00 | -0,02 | -0,190 | -0,02 | 0,03 |
| | TS | 105 | 15,32 | -0,05 | -0,309 | -0,03 | 0,10 |
| SÃO PAULO | EPS | 174 | 15,74 | -0,10 | -1,079 | -0,10 | 1,02 |
| | TS | 118 | 14,53 | 0,00 | 0,015 | 0,00 | 0,00 |
| URUGUAIANA | EPS | 221 | 17,57 | -0,04 | -1,023 | -0,07 | 0,48 |
| | TS | 186 | 16,98 | 0,00 | 0,010 | 0,00 | 0,00 |

Foz do Iguaçu (TS) e Campo Grande (EPS). Entretanto, os valores de r^2 são muito pequenos (no máximo 8,38 % em Santa Maria-EPS, significando que a percentagem da variabilidade da velocidade explicada pela temperatura é de apenas 8,38 %). Como a grande maioria dos valores de t_b não é significativa, conclui-se que não há uma relação linear significativa entre temperaturas e velocidades, que podem ser assumidas, nessas condições, como estatisticamente independentes.

4.5 - Variação da Temperatura com a Direção de Origem dos Ventos

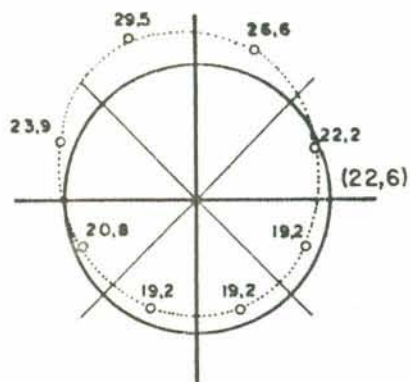
Foi efetuada uma breve análise gráfica da variação da temperatura com a direção de origem dos ventos. O objetivo era verificar descrições de ventos associados a temperaturas altas no quadrante norte,^{1º} fato comprovado para ventos tipo EPS sendo menos intenso nas duas estações litorâneas (influência da massa oceânica). Para os ventos TS, esta variação da temperatura com a direção, apesar de existente, parece ser pouco significativa.

Na FIGURA 4.5.1 são apresentados 2 exemplos ilustrando a variação da média das temperaturas com a direção.

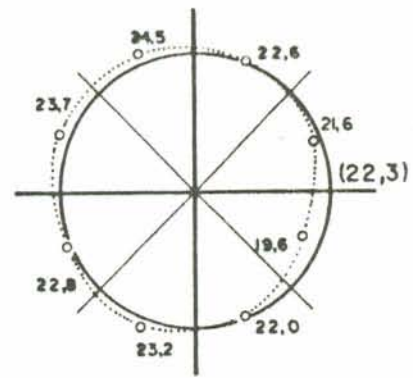
4.6. Modelo para Predição da Temperatura durante Ventos Extremos em Pontos Desprovidos de Estações Meteorológicas

De acordo com Menezes Jr & Silva Filho⁵ para algumas variáveis climatológicas, como a temperatura do ar, modelos de transferência de informações baseados em regressão linear múltipla entre a variável estudada e variáveis independentes identificadas por características fisiográficas (latitude, longitude e altitude, por exemplo), apresentam elevados coeficientes de correlação.

Os valores das médias e desvios padrões das amostras de temperaturas durante ventos TS, e dos fatores de forma (α) e escala (β) da distribuição de Weibull ajustada para as temperaturas durante ventos EPS, foram considerados como funções

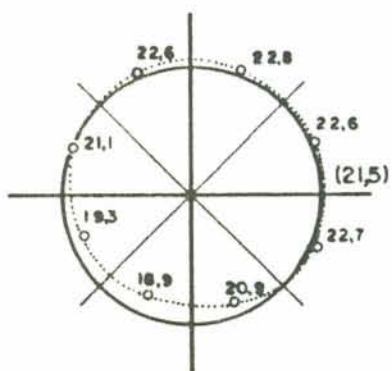


(a)
EPS

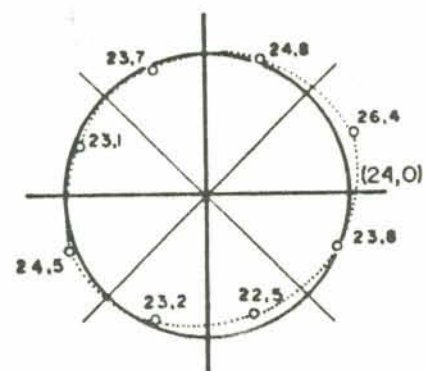


(b)
TS

URUGUAI ANA



(c)
EPS



(d)
TS

FLORIANÓPOLIS

FIGURA 4.5.1 (a-d) - Variação das médias das temperaturas com a direção

Nota: Entre parênteses, média independente de direção.

das seguintes variáveis :

lat = latitude (em graus)

long = longitude (em graus)

alt = altitude (em quilômetros)

Os coeficientes nas equações :

$$m_{ts} = a_0 + a_1 \text{lat} + a_2 \text{long} + a_3 \text{alt} \quad (4.6.1)$$

$$s_{ts} = b_0 + b_1 \text{lat} + b_2 \text{long} + b_3 \text{alt} \quad (4.6.2)$$

$$\alpha_{eps} = c_0 + c_1 \text{lat} + c_2 \text{long} + c_3 \text{alt} \quad (4.6.3)$$

$$\beta_{eps} = d_0 + d_1 \text{lat} + d_2 \text{long} + d_3 \text{alt} \quad (4.6.4)$$

foram determinados por regressão linear múltipla. Os resultados (TABELA 4.6.1) mostram que, em todos os casos, a significância global do modelo (teste F), assim como o coeficiente de determinação (R^2), são elevados. Os valores dos coeficientes calculados através das regressões são igualmente indicados na TABELA 4.6.1, bem como o valor das estatísticas utilizadas para avaliar sua significância (valor de t). Os valores marcados com asterisco têm nível de significância $\alpha \leq 0,05$. Indica-se, ainda, o valor do erro padrão dos resíduos (SE). O uso das relações obtidas, especialmente das EQUAÇÕES 4.6.2 e 4.6.4, deve ser cauteloso, uma vez que não foram realizados maiores verificações dos resultados das mesmas.

TABELA 4.6.1 - Resultados das regressões (EQUAÇÕES 4.6.1-4)

Nota :

* nível de significância $\leq 0,05$

| m_{ts} | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | F | $R^2(\%)$ | SE |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----------|------|
| t | 43,89 10,29* | -0,30 -3,19* | -0,22 -2,83* | -4,84 -5,16* | 11,51 | 83 | 0,81 |
| s_{ts} | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | F | $R^2(\%)$ | SE |
| t | -0,50 -0,51 | 0,10 4,75* | 0,04 2,22* | -0,33 -1,56 | 23,88 | 91 | 0,18 |
| α_{eps} | c_0 | c_1 | c_2 | c_3 | F | $R^2(\%)$ | SE |
| t | 32,55 6,51* | -0,54 -4,91* | 0,15 1,62 | -5,81 -5,27* | 11,72 | 83 | 0,95 |
| β_{eps} | d_0 | d_1 | d_2 | d_3 | F | $R^2(\%)$ | SE |
| t | 19,70 7,88* | -0,27 -4,90* | -0,14 -3,02* | -2,36 -4,29* | 14,58 | 86 | 0,48 |

5 - REGIONALIZAÇÃO DAS VELOCIDADES EXTREMAS DO VENTO NA REGIÃO CENTRO - SUL DO BRASIL

5.1 - Considerações Preliminares

Para o projeto de estruturas sensíveis à ação do vento, é necessário estimar as máximas velocidades do vento que poderão ocorrer na região em estudo durante a vida útil da estrutura. Infelizmente, na maioria dos casos, não existem registros meteorológicos confiáveis e de duração suficiente (acima de 15 anos) para uma análise de valores extremos, sendo necessária a transferência, de alguma forma, das informações disponíveis em estações meteorológicas situadas a distâncias, muitas vezes, consideráveis. O problema é normalmente solucionado estimando-se a velocidade do vento com um período de retorno médio adequado (geralmente 50 anos), em cada ponto onde se dispunha de uma estação meteorológica para, a seguir, utilizar estes valores como "cotas de nível" na confecção de mapas de isocurvas, como, por exemplo, o mapa de velocidades básicas apresentado pela NBR 6123.⁹⁹ Essas velocidades não levam em conta a direção do vento, isto é, foram utilizadas séries de dados de velocidades máximas anuais absolutas (maior valor anual independente da direção).

Deve ser destacado, ainda, que os registros disponíveis deveriam ser corrigidos para uma altura e exposição padrões (terreno aberto e plano, aparelho de medição a 10 m de altura) antes do ajuste da distribuição de valores extremos, a fim de evitar a influência de fatores locais, tais como, topografia, rugosidade superficial do terreno, variações nas condições de exposição do aparelho de medição (por exemplo, devido ao aumento da densidade de prédios), mudanças de posição ou de altura dos aparelhos, etc. A transferência de tais características locais para o restante da região é, obviamente,

indesejável.

Atualmente, a questão da estimativa dos ventos em locais desprovidos de estações meteorológicas é ampliada pela crescente necessidade da consideração da direção do vento no projeto de alguns tipos de estruturas (especialmente linhas de transmissão, que atravessam grandes áreas desprovidas de pontos de coleta de dados). Estudos efetuados por Cook²⁸ para a Grã-Bretanha indicaram que, em virtude de todo o país estar sujeito a condições meteorológicas semelhantes, é possível a adoção de fatores direcionais válidos para todo o território, aplicáveis sobre velocidades básicas obtidas através de um mapa de isocurvas similar ao da NBR 6123. Cook³⁴ também concluiu que as eventuais diferenças nas características direcionais apresentadas pelas estações estudadas deviam-se somente às variações das condições de exposição (topografia e rugosidade superficial) com a direção. No caso brasileiro, dadas as dimensões territoriais e as consequentes diferenças climatológicas entre as regiões do país, parece claro que a utilização de critérios meteorológicos é indispensável para o desenvolvimento de procedimentos mais adequados do que as interpolações atualmente em uso. Riera e Nanni^{9, 10} em estudos realizados para o Rio Grande do Sul, apresentaram um modelo baseado em regressão linear múltipla que, levando em consideração o tipo de fenômeno meteorológico (ventos EPS e TS) e a direção de origem do vento, apresentou bons resultados, com possível utilização para todo o território nacional. A ampliação do universo de dados a grande parte da região centro-sul do país¹⁶ permitiu a investigação da aplicabilidade do método, que será, a seguir, discutida.

5.2 - Apresentação do Modelo

5.2.1 - Hipóteses básicas

O modelo de previsão proposto por Riera e Nanni⁹ baseia-se nas seguintes hipóteses:

- 1 - as distribuições de probabilidade das velocidades

extremas do vento, classificadas segundo a direção (em setores de 45° , a seguir referidos como octantes) e segundo o fenômeno meteorológico (ventos EPS ou TS) são de tipo I (Gumbel), de acordo com a equação 2.2.1.1;

2 - as distribuições de probabilidade das velocidades extremas durante ventos EPS e TS apresentam diferentes conjuntos de parâmetros;

3 - os fenômenos meteorológicos estudados (ventos EPS e TS) são considerados independentes;

4 - os dois primeiros momentos (isto é, média e desvio padrão) das funções densidade de probabilidade das velocidades extremas do vento associadas a cada octante são funções contínuas, diferenciáveis e de variação suave das coordenadas geográficas e da orientação.

5.2.2 - Modelo de regressão múltipla - cálculo dos parâmetros da distribuição de Gumbel

Para cada estação meteorológica pesquisada são disponíveis 16 séries de velocidades máximas anuais do vento, correspondentes aos dois fenômenos meteorológicos e à divisão setorial da direção de origem em octantes. O ajuste da distribuição de Gumbel a essas séries¹⁷ permite a caracterização do clima de ventos extremos nas proximidades do local de medição das velocidades. A fim de possibilitar estimativas confiáveis das velocidades extremas em pontos desprovidos de dados, torna-se necessário agrupar aquelas estações sujeitas a condições meteorológicas similares, identificar e manter as tendências regionais comuns ao grupo e, a partir destas, caracterizar o clima de ventos "padrão" (a 10 m de altura em terreno aberto e plano) em qualquer ponto da região em estudo. Finalmente, as características particulares de exposição em cada local considerado devem ser determinadas e aplicadas sobre o vento "padrão".

No modelo proposto,^{9, 10} uma vez divididas as estações

em províncias meteorologicamente similares, a média m_v e o desvio padrão S_v de cada série de dados, para cada uma das províncias, são consideradas funções das seguintes variáveis:

$$\begin{array}{ll}
 x_1 = \text{latitude} & x_6 = x_1 x_3 \\
 x_2 = \text{longitude} & x_7 = x_1 x_4 \\
 x_3 = \text{sen } \theta & x_8 = x_2 x_3 \quad (5.2.2.1.a-j) \\
 x_4 = \text{cos } \theta & x_9 = x_2 x_4 \\
 x_5 = x_1 x_2 & x_{10} = x_3 x_4
 \end{array}$$

onde :

- a latitude e a longitude são referidas ao baricentro do polígono formado pelas estações que compõe cada província;
- θ é o ângulo bissetor de cada octante, referido à direção Norte, no sentido horário, isto é :

$$\theta = (2m-1) \frac{\pi}{8} \quad m = 1, 2, \dots, 8 \quad (5.2.2.2)$$

Os coeficientes nas equações :

$$m_v = a_0 + \sum_{j=1}^{10} a_j x_j \quad (5.2.2.3)$$

$$S_v = b_0 + \sum_{j=1}^{10} b_j x_j \quad (5.2.2.4)$$

são, então, obtidos por regressão linear múltipla.

Assim, para cada grupo de estações, são ajustadas equações que mantêm as características regionais presentes nas estações que formam o grupo e atenuam os efeitos micrometeorológicos locais.

A predição das velocidades extremas do vento durante tormentas EPS ou TS pode, agora, ser realizada através da distribuição de Gumbel, com parâmetros definidos em cada octante por:

$$U = m_v - 0,45 S_v \quad (5.2.2.5)$$

$$\alpha = S_v / 1,282 \quad (5.2.2.6)$$

Os parâmetros determinados só podem ser utilizados para predições no interior dos polígonos formados por cada grupo de estações, uma vez que, pelas limitações de uma regressão linear, os resultados em pontos externos seriam absurdos.

5.2.3 - Equações de predição das velocidades extremas do vento

Calculados os parâmetros das distribuições de probabilidade das velocidades anuais máximas do vento classificadas segundo a direção e o fenômeno meteorológico, devem ser determinados os períodos de recorrência média e as probabilidades de excedência das velocidades para uso em projeto.

Adotando-se a seguinte notação,^p

V_1 = velocidade anual máxima, setor 1, vento EPS

V_2 = velocidade anual máxima, setor 2, vento EPS

.....

V_8 = velocidade anual máxima, setor 8, vento EPS

V_1^* = velocidade anual máxima, independente de orientação, vento EPS

V_p = velocidade anual máxima, setor 1, vento TS

V_{10} = velocidade anual máxima, setor 2, vento TS

.....

V_{16} = velocidade anual máxima, setor 8, vento TS

V_2^* = velocidade anual máxima, independente de orientação, vento TS

V^* = velocidade anual máxima, independente de orientação ou tipo de tormenta.

e, como as distribuições de probabilidade das variáveis V_i ($i = 1, 16$) têm distribuição de Gumbel, com parâmetros obtidos das equações 5.2.2.5 e 5.2.2.6, então:

$$F_{V_i}(v) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{v - U_i}{\alpha_i} \right) \right] \quad (5.2.3.1)$$

A probabilidade $P(V_i^* \leq v)$ de que V_i^* não seja excedida é igual, para ventos EPS e TS, respectivamente, a:

$$P(V_1^* \leq v) = P(V_1 \leq v \text{ e } V_2 \leq v \text{ e } \dots V_8 \leq v) \quad (5.2.3.2)$$

$$P(V_2^* \leq v) = P(V_p \leq v \text{ e } V_{10} \leq v \text{ e } \dots V_{16} \leq v) \quad (5.2.3.3)$$

Admitindo que as variáveis V_i ($i = 1, 8$) são independentes tem-se, para ventos EPS:

$$F_{V_1^*} = F_{V_1} F_{V_2} \dots F_{V_8} = \prod_{i=1}^8 F_{V_i}(v) \quad (5.2.3.4)$$

Analogamente, para ventos TS:

$$F_{V_2}^* = \prod_{i=0}^{10} F_{V_i} (v) \quad (5.2.3.5)$$

Entretanto, como existe uma correlação entre F_{V_i} e $F_{V_{i+1}}$ para setores adjacentes,⁹ (5.2.3.4) e (5.2.3.5) são modificadas por um fator multiplicativo ψ_{i+1} :

$$\psi_{i+1} = 1 + \rho \sqrt{\left(1 - \frac{1}{F_{V_i}}\right) \left(1 - \frac{1}{F_{V_{i+1}}}\right)} \quad (5.2.3.6)$$

Riera e Nanni⁹ sugerem adotar para o valor do coeficiente de correlação $\rho=0,3$.

Tem-se, assim, para tormentas EPS e TS :

$$F_{V_1}^* = \prod_{j=1}^8 \psi_{j+1} F_{V_{j+1}} (v) \quad (5.2.3.7)$$

$$F_{V_2}^* = \prod_{j=0}^{10} \psi_{j+1} F_{V_{j+1}} (v) \quad (5.2.3.8)$$

Finalmente, como as ocorrências de tormentas EPS e TS são consideradas independentes :

$$F_V^* = F_{V_1}^* F_{V_2}^* \quad (5.2.3.9)$$

O período de recorrência médio de V_1 é dado por:

$$R_1 = \frac{1}{1 - F_{V_1}} \quad (5.2.3.10)$$

Enquanto a probabilidade de que a velocidade v seja

excedida em m anos pela variável aleatória V_1 é igual à :

$$(P_m)_i = 1 - [F_{V_i}(v)]^m \quad (5.2.3.11)$$

5.3 - Aplicação do Modelo à Região Centro - Sul do Brasil

A aplicação do modelo descrito no ITEM 5.2 às séries de dados disponíveis (ver CAPÍTULO 3) compreendeu as seguintes etapas :

- 1 - cálculo da média e desvio padrão das séries de velocidades máximas anuais do vento (velocidades de rajada);
- 2 - regionalização das estações;
- 3 - cálculo dos coeficientes das EQUAÇÕES (5.2.2.3 - 4) através de regressão linear múltipla, para cada subdivisão regional adotada;
- 4 - elaboração de um programa computacional para cálculo dos parâmetros da distribuição de Gumbel (EQUAÇÕES 5.2.2.3 - 6), e das equações de predição descritas no ITEM 5.2.3, testes e verificações dos resultados;

Os critérios adotados em cada uma das etapas serão descritos a seguir:

5.3.1 - Média e desvio padrão das séries de velocidades máximas

A média e o desvio padrão foram calculados sobre séries artificiais de velocidades de rajada (intervalo de tempo de aproximadamente 3 s), obtidas a partir da modificação das séries originais de acordo com os critérios definidos por Viegas.¹⁷

Conforme pode ser verificado na TABELA 3.2, do total de 176 séries disponíveis, 52 apresentam-se incompletas. Considerou-se, nesses casos, que a série de dados era formada unicamente pelos anos com valores observados, desconsiderando os demais (por exemplo, para ventos TS no setor 2 em Porto Alegre adotou-se uma série formada pelos 13 valores coletados). Tal consideração foi tomada em função do seu conservadorismo e na expectativa de que eventuais anomalias seriam acusadas nos cálculos da regressão. Caso os valores truncados fossem considerados realmente nulos, as equações de predição deveriam ser corrigidas através de uma redução no período de retorno dos ventos extremos, proporcional à razão entre o número de anos com dados em cada setor e o número total de anos pesquisados na estação. Tal correção, entretanto, é desaconselhável em vista dos argumentos apresentados no CAPÍTULO 3.

Além disso, deve ser destacado que nenhuma correção das condições de exposição (rugosidade ou topografia) foi realizada sobre as séries de dados. A hipótese adotada é de que, na maioria das direções, predominam as condições padrões de exposição (10 m de altura em terreno aberto e plano), razoável em se tratando de estações localizadas em aeroportos. Neste caso, eventuais efeitos devidos a condições locais de exposição em alguns octantes isolados serão eliminados durante o cálculo da regressão, enquanto as características direcionais regionais presentes em diversas estações serão mantidas. Novamente, efeitos locais exagerados devem ser detectados nos cálculos da regressão.

5.3.2. - Regionalização das estações meteorológicas

O modelo de regressão foi inicialmente aplicado sobre o grupo formado pelas 11 estações disponíveis, objetivando analisar o comportamento global do modelo. Como os resultados foram considerados insatisfatórios, indicando a existência de diferenças climatológicas regionais, foram testadas diferentes subdivisões regionais. Esse processo, inevitavelmente, seguiu um procedimento de "tentativa e erro", devido à dificuldade em estabelecer a priori que estações pertenceriam a uma mesma

"provincia meteorológica". Outra dificuldade se refere à enorme esparsidade das estações, que condicionou o agrupamento das mesmas. As divisões propostas são apresentadas na FIGURA 5.3.2.1. Note-se a existência de vazios consideráveis na região oeste, obrigando uma subdivisão de grandes dimensões (número 2).

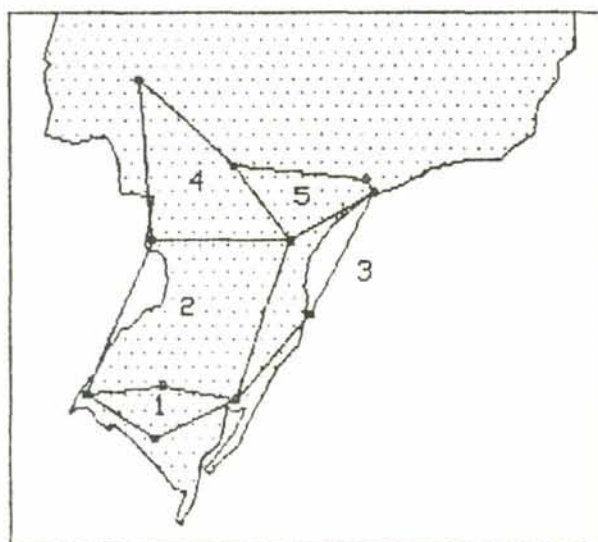


FIG. 5.3.2.1 - Subdivisões regionais adotadas

5.3.3 - Análise dos resultados das regressões

Os resultados dos cálculos da regressão linear múltipla sobre o conjunto das 11 estações e sobre cada uma das subdivisões regionais estão apresentados sob a forma de TABELAS (5.3.3.1 - 6), nas quais são apresentados:

- os coeficientes das EQUAÇÕES (5.2.2.2 - 3) e os valores das suas respectivas estatísticas para testes de significância (valor de t), assinalados com um asterisco para nível de significância $\leq 5\%$
- o coeficiente de determinação, R^2
- o valor de F , para teste global de significância
- o erro padrão dos resíduos, SE

As curvas ajustadas e os valores observados são

comparados graficamente nas FIGURAS B.1-11, dispostas no APÊNDICE B.

5.3.3.1 - Modelo incluindo todas as estações

Os resultados do modelo (TABELA 5.3.3.1) são significativos para o valor médio nos ventos TS ($R^2 = 44,3\%$, $F = 6,12$), com vários coeficientes significativos. Também o modelo para desvios padrões TS apresenta razoável significância ($R^2 = 37,7\%$, $F = 4,66$). Já os resultados para ventos EPS são inferiores, especialmente na regressão sobre as médias ($R^2 = 16,3\%$, $F = 1,5$), indicando uma maior dependência em relação às possíveis variações entre regiões. O exame dos resíduos mostra que apenas o resíduo padronizado da média TS em Foz do Iguaçu, setor 6 (-3,10) poderia ser considerado como indicador de um valor espúrio. Para médias EPS, diversos valores apresentaram resíduos padronizados elevados, embora nenhum deles fosse, em módulo, superior a 3 (por exemplo, 2,61 em Santa Maria, setor 8).

5.3.3.2 - Subdivisão regional 1

A análise dos resultados (TABELA 5.3.3.2 (a)) mostra que o modelo é altamente significativo, exceto para as médias em ventos EPS ($R^2 = 33,4\%$, $F = 1,05$) que possui significância marginal. Entretanto, descrições do clima de ventos na cidade de Santa Maria^{1º} destacam a existência de ventos locais de origem topográfica no quadrante Norte. Os valores dos resíduos padronizados das médias EPS nos octantes 1 (1,79) e 8 (2,42), são bastante superiores aos demais resíduos padronizados observados, indicando que esses pontos podem ser considerados condicionados por fatores locais. Além disso, os resíduos padronizados elevados para os valores médios TS e EPS no setor 4 da mesma estação (maiores que 3) indicam possíveis valores espúrios. Novas regressões foram, então, efetuadas sobre os demais valores, com grande aumento na significância do modelo (TABELA 5.3.3.2 (b)).

5.3.3.3 - Subdivisão regional 2

O comportamento do modelo (TABELA 5.3.3.3 (a)) é bom, com exceção dos desvios padrões TS onde apenas os coeficientes associados ao $\sin \theta$ e ao produto latitude. $\cos(\theta)$ são significativos. Porém, a significância global do modelo para os desvios TS é ainda considerável (F = 2,17, com P = 5,03 %). Além disso, uma grande melhoria foi obtida no caso dos valores médios através da retirada dos pontos correspondentes aos octantes 1,4 e 8 (ventos EPS) e 4 (ventos TS) da estação Santa Maria (TABELA 5.3.2.3 (b)) por apresentarem comportamento similar ao da subdivisão regional 1, comprovando o caráter local dos ventos nesses octantes na referida estação.

5.3.3.4 - Subdivisão regional 3

As regressões aplicadas sobre os valores relativos à subdivisão regional 3 apresentam-se com elevada significância conforme pode ser verificado na TABELA 5.3.3.4. Os resíduos padronizados não apresentam valores excessivos.

5.3.3.5 - Subdivisão regional 4

A análise (TABELA 5.3.3.5) mostra-se satisfatória, especialmente para os valores médios. Os desvios padrões para ventos TS novamente apresentam os piores resultados, mesmo assim com diversos coeficientes significativos e F = 2,92, também significativo (P = 1,8 %). Não há resíduos excessivos.

5.3.3.6 - Subdivisão regional 5

Os resultados (TABELA 5.3.3.6) confirmam a maior dificuldade no ajuste aos desvios padrões TS ($R^2 = 41,6\%$, F = 1,49), onde apenas o coeficiente associado ao $\sin \theta$ apresenta alguma significância. A significância global do modelo também é baixa (F = 1,49, com P = 21 %). Para as demais regressões, a subdivisão regional 5 tem bom comportamento.

TABELA 5.3.3.1 - Resultados das regressões

Modelo incluindo todas as estações

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|------|------|
| T S | coefic. | 15,65 | -0,26 | 0,26 | -2,45 | -1,35 | -0,03 | -0,10 | -0,18 | 0,11 | 0,06 | 0,45 | 44,3 | 6,12 | 2,82 |
| | t | 47,28* | -2,25* | 2,60* | -5,75* | -3,16* | -0,78 | -0,70 | -1,30 | 0,84 | 0,42 | 0,53 | | | |
| E P S | coefic. | 15,19 | 0,02 | 0,03 | -1,38 | 0,13 | -0,01 | -0,09 | -0,12 | 0,23 | -0,01 | -0,31 | 16,3 | 1,50 | 2,85 |
| | t | 45,45* | 0,17 | 0,29 | -3,21* | 0,31 | -0,41 | -0,66 | -0,91 | 1,74 | -0,11 | -0,37 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 4,96 | -0,17 | 0,06 | -0,81 | -0,22 | 0,05 | -0,11 | -0,02 | 0,05 | 0,01 | -0,04 | 37,7 | 4,66 | 1,12 |
| | t | 37,92* | -3,72* | 1,47 | -4,79* | -1,31 | 3,52* | -2,09* | -0,31 | 1,03 | 0,24 | -0,12 | | | |
| E P S | coefic. | 3,64 | -0,04 | -0,03 | -0,83 | 0,09 | 0,01 | -0,01 | 0,04 | 0,07 | -0,06 | -0,08 | 29,8 | 3,27 | 1,08 |
| | t | 28,71* | -0,99 | -0,68 | -5,10* | 0,56 | 0,58 | -0,23 | 0,70 | 1,46 | -1,15 | -0,24 | | | |

* Nível de significância ≤ 5 %

Latitude de referência : 26,45°

Longitude de referência : 51,55°

Estações : Todas

TABELA 5.3.3.2.a - Resultados das regressões - subdivisão regional 1
Amostra completa

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|------|------|
| T S | coefic. | 15,38 | -0,46 | -1,92 | -2,65 | -1,83 | -5,20 | 0,56 | 1,08 | 0,33 | -0,14 | 0,24 | 82,0 | 9,57 | 1,61 |
| | t | 45,89* | -0,84 | -3,31* | -6,58* | -4,53* | -3,06* | 0,95 | 1,82 | 1,73 | -0,73 | 0,29 | | | |
| E P S | coefic. | 15,72 | -1,21 | -0,57 | -1,26 | -0,08 | -1,48 | -0,54 | -0,28 | 0,06 | -0,04 | -0,47 | 33,4 | 1,05 | 2,50 |
| | t | 30,24* | -1,43 | -0,63 | -2,02* | -0,13 | -0,56 | -0,58 | -0,31 | 0,21 | -0,13 | -0,37 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 5,10 | -0,46 | 0,01 | -1,06 | -0,39 | -0,06 | -0,23 | 0,00 | 0,00 | -0,10 | 0,03 | 63,0 | 3,57 | 0,84 |
| | t | 29,34* | -1,61 | 0,02 | -5,07* | -1,85 | -0,07 | -0,75 | 0,01 | 0,04 | -1,00 | 0,06 | | | |
| E P S | coefic. | 3,90 | -1,06 | 0,36 | -0,85 | 0,15 | 1,64 | 0,19 | -0,15 | 0,07 | -0,19 | -0,18 | 74,5 | 6,14 | 0,69 |
| | t | 27,18* | -4,51* | 1,43 | -4,92* | 0,90 | 2,25* | 0,74 | -0,59 | 0,89 | -2,28* | -0,52 | | | |

* Nível de significância ≤ 5 %

Latitude de referência : 30,22°

Longitude de referência : 54,00°

Estações : Bagé, Uruguaiana, Santa Maria e Porto Alegre

TABELA 5.3.3.2.b - Resultados das regressões - subdivisão regional 1
Retirados valores espúrios

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------|------|
| T S | coefic. | 15,67 | -0,92 | -1,47 | -2,54 | -2,10 | -3,81 | 0,44 | 1,40 | 0,32 | -0,11 | -0,19 | 87,2 | 13,70 | 1,36 |
| | t | 52,25* | -1,88 | -2,87* | -7,38* | -5,96* | -2,52* | 0,86 | 2,71* | 1,97 | -0,69 | -0,27 | | | |
| E P S | coefic. | 14,93 | 0,00 | -1,76 | -1,12 | -1,36 | -5,22 | -0,70 | 1,14 | 0,05 | 0,08 | -0,74 | 82,7 | 8,59 | 1,02 |
| | t | 57,98* | 0,01 | -4,11* | -4,28* | -4,74* | -4,08* | -1,83 | 2,81* | 0,40 | 0,67 | -1,36 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | | | | | | | | | | | | | | |
| | t | | | | | | | | | | | | | | |
| E P S | coefic. | | | | | | | | | | | | | | |
| | t | | | | | | | | | | | | | | |

* Nível de significância ≤ 5 %

Latitude de referência : 30,22°

Longitude de referência : 54,00°

Estações : Bagé, Uruguiana, Santa Maria e Porto Alegre

Observação : Retirados valores médios referentes aos octantes 1,4 e 8 (EPS) e valor médio referente ao octante 4 (TS) da estação Santa Maria

TABELA 5.3.3.3.a - Resultados das regressões - subdivisão regional 2
Amostra completa

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------|------|
| T S | coefic. | 15,24 | 0,85 | -0,25 | -2,32 | -1,67 | 0,07 | -0,50 | -0,41 | 0,43 | 0,07 | 0,25 | 77,7 | 10,11 | 1,78 |
| | t | 50,55* | 5,89* | -2,23* | -5,81* | -4,18* | 1,45 | -2,50* | -2,06* | 2,76* | 0,42 | 0,31 | | | |
| E P S | coefic. | 14,77 | 1,00 | -0,15 | -0,89 | 0,19 | 0,09 | -0,23 | -0,19 | 0,37 | -0,03 | -0,22 | 54,4 | 3,46 | 2,39 |
| | t | 36,73* | 5,19* | -1,03 | -1,68 | 0,36 | 1,37 | -0,88 | -0,70 | 1,77 | -0,14 | -0,20 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 5,07 | 0,10 | 0,06 | -0,73 | -0,06 | -0,01 | -0,14 | -0,25 | 0,03 | 0,11 | -0,25 | 42,8 | 2,17 | 1,01 |
| | t | 29,78* | 1,25 | 0,96 | -3,26* | -0,28 | -0,22 | -1,26 | -2,18* | 0,34 | 1,25 | -0,55 | | | |
| E P S | coefic. | 3,66 | 0,25 | -0,04 | -0,71 | 0,21 | -0,07 | -0,18 | 0,02 | 0,13 | -0,06 | 0,14 | 63,9 | 5,13 | 0,80 |
| | t | 26,95* | 3,89* | -0,76 | -3,94* | 1,18 | -2,80* | -1,97 | 0,22 | 1,87 | -0,87 | 0,38 | | | |

* Nível de significância ≤ 5 %

Latitude de referência : 28,11°

Longitude de referência : 53,14°

Estações : Uruguaiana, Santa Maria, Porto Alegre, Foz do Iguaçu e Curitiba

TABELA 5.3.3.3.b - Resultados das regressões - subdivisão regional 2
Retirados valores espúrios

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------|------|
| T S | coefic. | 15,38 | 0,90 | -0,25 | -2,21 | -1,92 | 0,07 | -0,46 | -0,51 | 0,43 | 0,07 | -0,14 | 83,8 | 14,46 | 1,54 |
| | t | 58,51* | 7,20* | -2,63* | -2,63* | -5,46* | 1,65 | -2,67* | -2,91* | 3,18* | 0,54 | -0,20 | | | |
| E P S | coefic. | 14,55 | 0,92 | -0,15 | -0,75 | -0,70 | 0,10 | -0,18 | -0,52 | 0,37 | -0,01 | -0,48 | 74,8 | 7,73 | 1,57 |
| | t | 52,61* | 7,08* | -1,50 | -2,12* | -1,85 | 2,12* | -1,03 | -2,81* | 2,65* | -0,05 | -0,66 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | | | | | | | | | | | | | | |
| | t | | | | | | | | | | | | | | |
| E P S | coefic. | | | | | | | | | | | | | | |
| | t | | | | | | | | | | | | | | |

* Nível de significância $\leq 5\%$

Latitude de referência : 28,11°

Longitude de referência : 53,14°

Estações : Uruguaiana, Santa Maria, Porto Alegre, Foz do Iguaçu e Curitiba

Observação : Retirados valores médios referentes aos octantes 1,4 e 8 (EPS) e valor médio referente ao octante 4 (TS) da estação Santa Maria

TABELA 5.3.3.4 - Resultados das regressões - subdivisão regional 3

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|------|------|
| T S | coefic. | 13,78 | -0,53 | 1,35 | -2,99 | -1,69 | 0,31 | -0,09 | -0,42 | -0,12 | -0,19 | 0,68 | 82,1 | 9,67 | 1,81 |
| | t | 31,32* | -1,71 | 3,31* | -6,60* | -3,73* | 3,66* | -0,22 | -1,00 | -0,21 | -0,34 | 0,75 | | | |
| E P S | coefic. | 14,60 | 0,39 | -0,55 | -2,10 | -0,55 | 0,27 | 0,48 | -1,08 | -0,04 | 0,67 | 0,29 | 68,5 | 4,56 | 1,99 |
| | t | 30,18* | 1,14 | -1,22 | -4,22* | -1,10 | 2,90* | 1,02 | -2,30* | -0,07 | 1,08 | 0,29 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 4,10 | -0,32 | 0,24 | -1,00 | -0,20 | 0,19 | -0,35 | 0,03 | 0,43 | -0,27 | -0,32 | 61,3 | 3,33 | 1,11 |
| | t | 15,21* | -1,65 | 0,97 | -3,62* | -0,71 | 3,70* | -1,36 | 0,12 | 1,25 | -0,78 | -0,59 | | | |
| E P S | coefic. | 2,98 | 0,24 | -0,34 | -0,97 | 0,04 | 0,16 | 0,15 | -0,02 | -0,07 | 0,11 | 0,13 | 78,5 | 7,55 | 0,67 |
| | t | 18,42* | 2,07* | -2,27* | -5,81* | 0,22 | 4,98 | 0,98 | -0,13 | -0,34 | 0,55 | 0,38 | | | |

* Nível de significância $\leq 5\%$

Latitude de referência : 26,78°

Longitude de referência : 48,80°

Estações : Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba e Santos

TABELA 5.3.3.5 - Resultados das regressões - subdivisão regional 4

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------|------|
| T S | coefic. | 16,60 | -1,77 | -0,68 | -2,45 | -0,88 | 0,13 | 0,51 | 0,10 | 0,79 | 0,50 | 0,57 | 84,0 | 11,08 | 1,99 |
| | t | 38,36* | -6,34* | -3,17* | -4,92* | -1,78 | 1,15 | 1,89 | 0,37 | 3,32* | 2,09* | 0,57 | | | |
| E P S | coefic. | 14,35 | -1,03 | -0,34 | -1,19 | 0,27 | -0,03 | 0,34 | 0,06 | 0,88 | 0,11 | 0,37 | 77,4 | 7,21 | 1,72 |
| | t | 38,40* | -4,28* | -1,80 | -2,77* | 0,63 | -0,35 | 1,46 | 0,27 | 4,30* | 0,55 | 0,43 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 5,67 | -0,51 | -0,30 | -0,37 | -0,01 | 0,21 | 0,00 | 0,40 | 0,06 | 0,33 | -0,22 | 58,2 | 2,92 | 1,00 |
| | t | 26,14* | -3,63* | -2,79* | -1,50 | -0,03 | 3,61* | 0,02 | 2,96* | 0,52 | 2,76* | -0,44 | | | |
| E P S | coefic. | 3,69 | -0,44 | -0,11 | -0,74 | -0,16 | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 0,31 | 0,15 | 0,59 | 71,2 | 5,21 | 0,78 |
| | t | 21,69* | -3,98* | -1,30 | -3,79* | -0,80 | 2,94* | 1,64 | 1,72 | 3,26* | 1,57 | 1,51 | | | |

* Nível de significância ≤ 5 %

Latitude de referência : 23,71°

Longitude de referência : 52,39°

Estações : Foz do Iguaçu, Curitiba, Campo Grande e Londrina

TABELA 5.3.3.6 - Resultados das regressões - subdivisão regional 5

| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
|-------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|------|------|
| T S | coefic. | 15,52 | -1,18 | 0,81 | -2,80 | -1,28 | 0,23 | 0,13 | 0,10 | -0,73 | -0,46 | 0,20 | 81,5 | 9,30 | 1,73 |
| | t | 50,23* | -1,15 | 1,80 | -6,49* | -2,97* | 0,25 | 0,26 | 0,20 | -3,33* | -2,11 | 0,22 | | | |
| E P S | coefic. | 14,98 | 3,42 | -1,82 | -2,51 | 0,70 | -3,65 | -0,08 | 0,31 | -0,31 | -0,51 | -0,94 | 67,5 | 4,37 | 2,10 |
| | t | 39,98* | 2,75* | -3,34* | -4,79* | 1,34 | -3,36* | -0,13 | 0,50 | -1,17 | -1,91 | -0,89 | | | |
| | | b ₀ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | R ² (%) | F | SE |
| T S | coefic. | 5,64 | -0,62 | -0,05 | -0,60 | -0,26 | -0,17 | -0,01 | -0,09 | 0,05 | -0,06 | -0,09 | 41,6 | 1,49 | 1,22 |
| | t | 25,81* | -0,85 | -0,17 | -1,96 | -0,86 | -0,27 | -0,03 | -0,25 | 0,31 | -0,41 | -0,15 | | | |
| E P S | coefic. | 3,79 | -0,60 | -0,23 | -1,30 | 0,08 | -0,21 | 0,24 | 0,06 | -0,10 | -0,29 | -0,10 | 67,1 | 4,29 | 1,10 |
| | t | 19,22* | -0,92 | -0,80 | -4,72* | 0,30 | -0,37 | 0,75 | 0,18 | -0,74 | -2,09* | -0,19 | | | |

* Nível de significância $\leq 5\%$

Latitude de referência : $24,10^{\circ}$

Longitude de referência : $48,31^{\circ}$

Estações : Curitiba, Londrina, São Paulo e Santos

5.3.3.7 - Comportamento dos resíduos

Inicialmente, foi examinada a hipótese adotada para as séries truncadas (ITEM 5.3.1). Os resíduos padronizados apresentados nesses pontos não foram excessivos, indicando a inexistência de problemas significativos no processo de regressão.

A análise gráfica da normalidade dos resíduos, via papel de probabilidade, foi efetuada em todas as regressões, concluindo-se pela não-normalidade em praticamente todos os casos. Finalmente, os gráficos resíduos x valores ajustados não revelaram tendências aparentes no comportamento dos resíduos, que se mantém aproximadamente constantes e se alternam igualmente em torno do plano de regressão.

5.3.3.8 - Comportamento dos coeficientes das regressões

A fim de possibilitar uma análise do comportamento dos coeficientes nas regressões efetuadas foi confeccionada a TABELA 5.3.3.7, que contém os sinais dos coeficientes que apresentaram nível de significância $\alpha \leq 5\%$. O coeficiente associado ao $\sin \theta$ é altamente significativo em praticamente todas as regressões, apresentando sempre sinal negativo. O coeficiente associado ao $\cos \theta$ é significativo para os valores médios e também apresenta sinal negativo. Já os coeficientes ligados à latitude e longitude, significativos em alguns casos, apresentam o mesmo sinal apenas em um mesmo elemento, indicando diferentes variações da velocidade do vento com as coordenadas geográficas em elementos distintos.

5.3.4 - Testes e verificações dos resultados

Inicialmente, foi realizada uma comparação gráfica entre os valores observados da média e do desvio padrão em cada estação e as curvas ajustadas via regressão linear múltipla. Esses gráficos, apresentados no APÊNDICE B, mostram que o ajuste é, qualitativamente, bastante bom. Naquelas estações pertencentes a mais de uma subdivisão regional, não existem

TABELA 5.3.3.7 - Sinais dos coeficientes com $\alpha \leq 5 \%$

| Elemento | | | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 |
|----------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Geral | mv | EPS | | | - | | | | | | | |
| | | TS | - | + | - | - | | | | | | |
| | Sv | EPS | | | - | | | | | | | |
| | | TS | - | | - | | + | - | | | | |
| 1 | mv | EPS | | - | - | - | - | | + | | | |
| | | TS | | - | - | - | - | | + | | | |
| | Sv | EPS | - | | - | | + | | | | - | |
| | | TS | | | - | | | | | | | |
| 2 | mv | EPS | + | - | - | - | | - | - | + | | |
| | | TS | + | - | - | - | | - | - | + | | |
| | Sv | EPS | + | | - | | - | | | | | |
| | | TS | | | - | | | | | - | | |
| 3 | mv | EPS | | | - | | + | | - | | | |
| | | TS | | + | - | - | + | | | | | |
| | Sv | EPS | | + | - | - | | | | | | |
| | | TS | | | - | | + | | | | | |
| 4 | mv | EPS | - | | - | | | | | + | | |
| | | TS | - | - | - | | | | | + | + | |
| | Sv | EPS | - | | - | | + | | | + | | |
| | | TS | - | - | | | + | | + | | + | |
| 5 | mv | EPS | | + | - | - | | - | | | | |
| | | TS | | | - | - | | | | - | | |
| | Sv | EPS | | | - | | | | | | - | |
| | | TS | | | | | | | | | | - |

diferenças significativas entre as curvas referentes às subdivisões utilizadas. Além disso, as diferenças entre os valores médios ajustados e os observados, comparados com o auxílio de cartas topográficas, indicam ser importante a influência das condições locais de exposição, conclusão semelhante a de outros autores.^{25, 34} Como exemplos, podem-se citar as estações Florianópolis e Santa Maria. Na primeira, (FIGURA B-4), situada no lado oeste da Ilha de Santa Catarina e protegida a leste e oeste por morros de até 900 m de altura, observa-se uma orientação norte-sul dos ventos. Já em Santa Maria (FIGURA B-8), situada no sopé da Serra de São Martinho, aparecem ventos locais de alta intensidade no quadrante norte, de origem diretamente topográfica (Föhn). Uma avaliação quantitativa da influência das condições de exposição, especialmente em zonas de topografia acidentada é possível através do uso de modelos reduzidos ensaiados em túnel de vento.

A seguir, visando a investigação da aplicabilidade

das equações determinadas através do modelo de regressão linear múltipla para o cálculo dos parâmetros da distribuição de Gumbel e posterior predição das velocidades extremas do vento foi confeccionado um programa computacional para cálculo das equações apresentadas no ITEM 5.2.3. Os resultados foram comparados com as predições apresentadas por Viegas¹⁷ e pela NBR-6123.³³ e referem-se a velocidades com período de retorno médio de 50 anos (V50), estando dispostos no APÊNDICE C e na TABELA 5.3.4.5.

As tabelas do APÊNDICE C referem-se às predições associadas aos octantes isolados, contendo, para cada estação, os resultados obtidos por Viegas¹⁷ e as correspondentes predições naqueles elementos que contém a estação. Os valores de Viegas, apesar de também afetados pelos erros decorrentes de qualquer ajuste estatístico, serão considerados como as melhores predições disponíveis, pois incorporam as influências exclusivamente locais, atenuadas no processo de regressão. A fim de avaliar a magnitude das diferenças entre os dois processos, o seguinte procedimento foi adotado:

a - tomou-se como valor da predição em cada octante (V50med) a média entre os valores ajustados pelas subdivisões envolvidas.

b - calculou-se o valor da diferença :

$$V50^{17} - V50med \quad (5.3.4.1)$$

e do quociente :

$$V50^{17} / V50med \quad (5.3.4.2)$$

O exame dos resultados da EQUAÇÃO 5.3.4.1 mostra que, conforme era esperado, a influência das condições de exposição é determinante, com comportamento similar ao dos valores médios. A análise estatística básica é sumarizada na TABELA 5.3.4.1. As amostras examinadas referem-se aos ventos EPS, TS e ao conjunto dos dados.

5.3.4.1 - Análise estatística básica (amostras completas)

| V50 ¹⁷ - V50med | EPS | TS | EPS e TS |
|----------------------------|------|-------|----------|
| n | 88 | 88 | 176 |
| média | 0,06 | -0,05 | 0,01 |
| s | 3,33 | 3,30 | 3,31 |
| g1 | 0,07 | -0,09 | -0,01 |
| g2 | 4,46 | -0,23 | 2,06 |

O elevado coeficiente de curtose (g2) para ventos EPS indica uma distribuição com caudas longas. Esse valor, porém, é condicionado pelos resíduos no oitavo octante da estação Santa Maria (13,34 m/s) e no sexto octante da estação São Paulo (-13,00 m/s), que podem ser considerados espúrios. Para ventos TS, são elevados os valores associados ao quarto octante em Santa Maria (-9,20 m/s) e ao oitavo octante em Santos (7,98 m/s). A retirada desses pontos resultou nos valores da TABELA 5.3.4.2, que também apresenta os resultados da aplicação do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov às amostras. Os coeficientes de curtose não são significativos e as amostras podem ser consideradas como normalmente distribuídas. A hipótese de valor médio igual a zero também foi testada e satisfeita pelas três amostras.

TABELA 5.3.4.2 - Análise estatística básica

Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

| V50 ¹⁷ - V50med | EPS | TS | EPS e TS |
|----------------------------|------|-------|----------|
| n | 86 | 86 | 172 |
| média | 0,06 | -0,03 | 0,01 |
| s | 2,70 | 3,06 | 2,88 |
| g1 | 0,07 | -0,03 | 0,01 |
| g2 | 0,57 | -0,75 | -0,37 |
| DN | 0,06 | 0,07 | 0,03 |
| P | 0,99 | 0,99 | 0,99 |

Como uma última avaliação da real dependência das diferenças observadas com condições locais de exposição, as estações, através de cartas topográficas, foram divididas em dois grupos. O primeiro, formado pelas estações Bagé, Uruguaiana, Porto Alegre, Londrina, Curitiba e Campo Grande

contém os locais com condições mais uniformes de exposição. No segundo, constituído pelas estações Santa Maria, Florianópolis, Santos, São Paulo e Foz do Iguaçu, foram colocadas as estações sujeitas a grandes variações da exposição com a direção. Os resultados das análises estatísticas são apresentados na TABELA 5.3.4.3. Conforme pode ser observado, os desvios padrões são bastante superiores no grupo 2. As diferenças entre as variâncias (teste F, nível de probabilidade 5%) são significativas tanto para ventos EPS quanto TS. Já as médias podem ser consideradas iguais a zero em todas as amostras.

TABELA 5.3.4.3 - ($V50^{17} - V50_{med}$): Estações classificadas segundo condições locais de exposição

| | Grupo 1 | | | Grupo 2 | | |
|--------|---------|------|----------|---------|-------|----------|
| | EPS | TS | EPS e TS | EPS | TS | EPS e TS |
| n | 48 | 48 | 96 | 40 | 40 | 80 |
| médias | -0,04 | 0,05 | 0,005 | 0,18 | -0,17 | 0,005 |
| s | 1,95 | 2,66 | 2,32 | 4,48 | 3,96 | 4,21 |

Quanto aos resultados do quociente (EQUAÇÃO 5.3.4.2) entre as predições, estão sumarizados na TABELA 5.3.4.4, que mostra que, na grande maioria dos octantes, a diferença relativa entre as predições é inferior a 15 % .

TABELA 5.3.4.4. - Quociente entre predições

| $V50^{17} / V50_{med}$ | EPS (%) | TS (%) | EPS e TS (%) |
|------------------------|---------|--------|--------------|
| ≤ 10 % | 65,9 | 59,0 | 62,5 |
| ≤ 15 % | 79,6 | 81,9 | 80,7 |
| ≤ 20 % | 92,1 | 89,7 | 90,9 |

Uma última comparação foi efetuada sobre os valores constantes da TABELA 5.3.4.5, que contém predições das velocidades com período de retorno médio de 50 anos independentes de direção e/ou de direção e fenômeno meteorológico. As predições constantes na NBR-6123 foram obtidas com o uso da distribuição de Frechet, enquanto nas

demais foi usada a distribuição de Gumbel. Também os períodos de dados analisados são diferentes, uma vez que os valores normalizados foram baseados em coletas realizadas nos anos 70, por Vieira Filho.⁹ Conforme pode ser observado, as predições da NBR-6123 são geralmente superiores às demais, devido à cauda superior mais longa da distribuição de Frechet. As diferenças entre as predições de Viegas e as baseadas no modelo de Riera & Nanni são pequenas na maioria das estações. Porém, deve ser destacado o grande aumento dos valores das predições na estação Porto Alegre, que confrontadas com a diminuição das predições em Uruguaiana contrariam não só os valores do trabalho de Viegas, como o maior número de acidentes devidos ao vento na região oeste do Rio Grande do Sul. Deve ser observado, ainda, que os resultados são semelhantes nos três elementos (1,2 e 3) que contém a estação Porto Alegre e nos dois (1 e 2) que contém a estação Uruguaiana. Seria recomendável, neste caso, a formação de uma subdivisão regional na região oeste do Rio Grande do Sul, com estações mais próximas a Uruguaiana. Além disso, o acréscimo de pelo menos uma estação na região oeste de Santa Catarina é necessário, visando a diminuição dos vazios atualmente existentes. Como, entretanto, a maioria dos resultados é satisfatória e há grande dificuldade de obtenção de outras séries de dados confiáveis e de duração suficiente, o método e as divisões regionais propostos podem ser considerados adequados para a caracterização do clima de ventos extremos no centro-sul do Brasil.

TABELA 5.3.4.5 - Comparação entre predições (V50) independentes de direção

| | REF. 17 | | Elemento 1 | | | Elemento 2 | | | Elemento 3 | | | Elemento 4 | | | Elemento 5 | | | NBR-6123 |
|---------------|---------|----|------------|----|----|------------|----|----|------------|----|----|------------|----|----|------------|----|----|----------|
| | EPS | TS | EPS | TS | | EPS | TS | | EPS | TS | | EPS | TS | | EPS | TS | | |
| BAGÉ | 27 | 38 | 38 | 26 | 34 | 34 | | | | | | | | | | | | 43 |
| CAMPO GRANDE | 28 | 40 | 39 | | | | | | | | | 33 | 41 | 43 | | | | 43 |
| CURITIBA | 27 | 34 | 34 | | | 26 | 33 | 33 | 28 | 33 | 34 | 28 | 36 | 37 | 27 | 34 | 35 | 41 |
| FLORIANÓPOLIS | 30 | 30 | 33 | | | | | | 30 | 33 | 34 | | | | | | | 43 |
| FOZ DO IGUAÇU | 24 | 36 | 34 | | | 24 | 32 | 32 | | | | 26 | 33 | 34 | | | | 50 |
| LONDRINA | 38 | 44 | 46 | | | | | | | | | 34 | 45 | 46 | 37 | 46 | 47 | 42 |
| PORTO ALEGRE | 32 | 34 | 35 | 34 | 42 | 43 | 37 | 42 | 44 | 33 | 43 | 44 | | | | | | 45 |
| SANTA MARIA | 39 | 43 | 43 | 33 | 40 | 41 | 32 | 40 | 41 | | | | | | | | | 43 |
| SANTOS | 39 | 37 | 39 | | | | | | 38 | 38 | 42 | | | | 38 | 38 | 41 | 37 |
| SÃO PAULO | 37 | 38 | 41 | | | | | | | | | | | | 34 | 38 | 41 | 38 |
| URUGUAIANA | 37 | 46 | 46 | 32 | 42 | 42 | 30 | 40 | 40 | | | | | | | | | 47 |

6 - CONCLUSÕES

Os estudos efetuados no presente trabalho permitem uma série de conclusões que serão a seguir sumarizadas:

- existem diferenças significativas entre as distribuições de probabilidade das temperaturas do ar associadas à ventos extremos classificados segundo o tipo de tormenta (EPS ou TS);

- verificou-se que a temperatura pode ser considerada como uma variável independente da velocidade do vento, tanto durante tormentas EPS quanto TS. Essa independência tem importância na fixação de critérios de projeto, bem como em estudos de confiabilidade;

- os resultados de modelos de regressão, tendo como variáveis independentes as coordenadas geográficas e a altitude, permitem a determinação dos parâmetros das distribuições de probabilidade das temperaturas durante ventos EPS (Weibull) e TS (Normal) em qualquer ponto situado no interior do polígono formado pelas estações meteorológicas pesquisadas;

- o modelo proposto para a predição regional das velocidades extremas do vento durante tormentas EPS e TS apresentou resultados excelentes, possibilitando a caracterização do clima de ventos extremos classificados segundo a direção e fenômeno meteorológico em vastas áreas desprovidas de estações meteorológicas, tanto para fins da predição das velocidades extremas do vento como para estudos de confiabilidade;

- as comparações efetuadas entre predições fornecidas por análises usuais de valores extremos e aquelas obtidas pelo modelo estudado mostraram que é fundamental o conhecimento das condições locais de exposição (topografia e rugosidade superficial) para a correta definição do clima de ventos extremos. Essa conclusão é especialmente válida quando se considera a orientação do vento.

Como sugestões para futuros desenvolvimentos destacam-se:

- a divisão das estações em grupos, com o objetivo de investigar a existência ou não de correlação entre velocidade do vento e temperatura nessas condições;

- uma análise mais detalhada da variação da média das temperaturas do ar com a direção de origem dos ventos (ANOVA para comparação de médias e método de Duncan⁸⁴ para determinar as médias que diferem significativamente de outras médias);

- a necessidade do estudo da influência das condições locais de exposição, através de modelos reduzidos, visando uma melhor compreensão e quantificação dos efeitos nos ventos extremos devidos à variação das mesmas com a direção;

- a inclusão de novas estações, especialmente na região oeste do país, diminuindo os vazios atualmente existentes;

- o estabelecimento de critérios adequados para a compatibilização das predições nas "fronteiras" entre as diferentes subdivisões regionais;

- o estudo detalhado dos erros dos modelos de regressão múltipla adotados.

APÊNDICE A

A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DE WEIBULL

A distribuição de probabilidade de Weibull apresenta um bom ajuste a diversos fenômenos físicos de interesse para a Engenharia. Esta distribuição de probabilidade não possui uma forma única, constituindo uma família de diferentes curvas da qual fazem parte, por exemplo, as distribuições exponencial e de Rayleigh. A última é de grande interesse para o estudo dos ventos, pois existem modelos teóricos,^{2,6} comprovados no exame de amostras,⁶ que indicam o seu uso na descrição da população de origem da velocidade do vento. A distribuição das temperaturas do ar durante ventos fortes do tipo EPS, também pode ser modelada pela distribuição de Weibull, conforme descrito no capítulo 4 do presente trabalho.

As principais equações referentes à distribuição de Weibull são:

1) função densidade de probabilidade :

$$f(x) = \beta \alpha^{-\beta} x^{\beta-1} \exp \left(-(x/\alpha)^\beta \right) \quad x > 0 \quad (\text{A.1})$$

2) função distribuição de probabilidade

$$F(x) = 1 - \exp \left(-(x/\alpha)^\beta \right) \quad (\text{A.2})$$

3) média

$$E(X) = \alpha \left(\Gamma(1 + 1/\beta) \right) \quad (\text{A.3})$$

4) desvio padrão

$$\sigma(X) = \alpha \left(\Gamma(1 + 2/\beta) - \Gamma^2(1 + 1/\beta) \right)^{1/2} \quad (\text{A.4})$$

onde :

x - variável

α - parâmetro de escala

β - parâmetro de forma

Γ - função gama

A família de curvas da distribuição é obtida pela variação do parâmetro de forma (β), que pode assumir qualquer valor positivo. Para $\beta=1$, tem-se a distribuição exponencial, para $\beta=2$, a distribuição de Rayleigh, etc. Nas FIGURAS A.1-2 são indicadas as curvas das funções densidade de probabilidade (FIGURA A.1) e distribuição de probabilidade (FIGURA A.2), para os primeiros cinco valores inteiros do parâmetro de forma, com parâmetro de escala $\alpha = 1$. Percebe-se nos gráficos que, a medida que o parâmetro de forma aumenta, o valor médio tende ao valor do parâmetro de escala e o desvio padrão tende a zero, significando uma menor dispersão dos dados. Na figura A.2, $F(x \leq \alpha) = 0,632$, comum a todas as curvas com mesmo parâmetro de escala. Todas as distribuições de Weibull são limitadas a valores positivos da variável, mas têm a propriedade de convergirem em direção a uma assíntota exponencial para valores grandes da variável, não tendo limites nesta direção.

A avaliação dos valores esperados dos j ordens estatísticos da distribuição, para uma população de n elementos, pode ser feita⁸ através da equação :

$$E[X_{(j)}] = \alpha \Gamma(1+1/\beta) \sum_{i=0}^{j-1} \frac{(-1)^i n!}{(j-1)!(n-j)!} \binom{j-1}{i} \left(\frac{1}{n-j+i+1} \right)^{1+1/\beta} \quad (A.5)$$

Substituindo a eq. A.3, obtém-se :

$$\frac{E[X_{(j)}]}{E[X]} = \sum_{i=0}^{j-1} \frac{(-1)^i n!}{(j-1)!(n-j)!} \binom{j-1}{i} \left(\frac{1}{n-j+i+1} \right)^{1+1/\beta} \quad (A.6)$$

que foi utilizada para a elaboração das TABELAS (A.1-8), apresentadas a seguir, tomando $\alpha = 1$ e variando β de 1 a 8. O

limite de 20 valores dos ordens estatísticos é devido à instabilidade numérica da equação A.6 para $n \geq 23$, mesmo com o uso de precisão dupla nos cálculos realizados.

Finalmente, para o caso particular da distribuição de Rayleigh, foram confeccionadas as curvas da FIGURA A.3, que permitem a obtenção dos valores esperados de diversos ordens estatísticos, inclusive mínimo e máximo, para amostras de até 50 elementos.

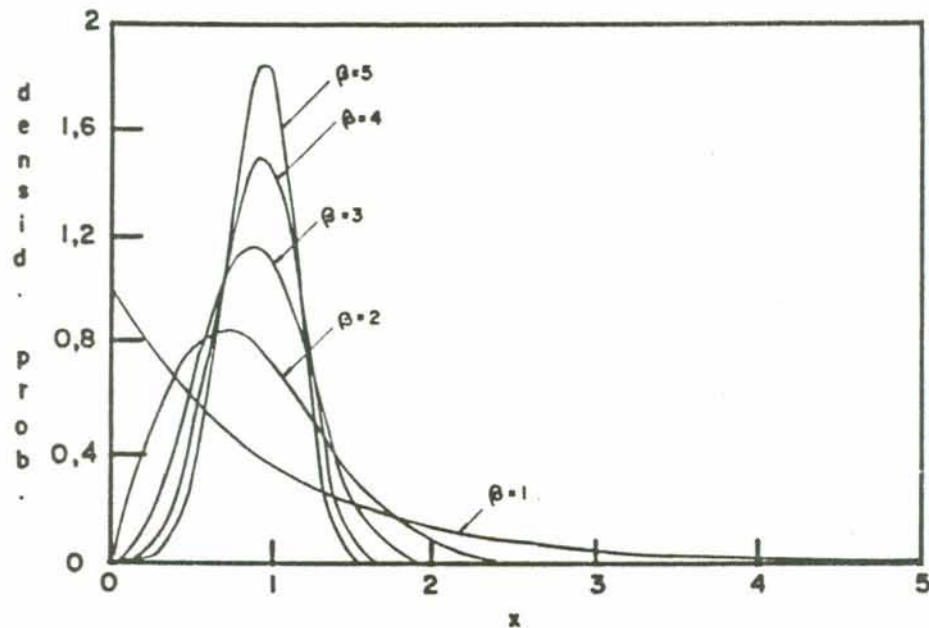


FIGURA A.1 - Família de curvas de densidade de probabilidade de Weibull (parâmetro de escala $\alpha = 1$)

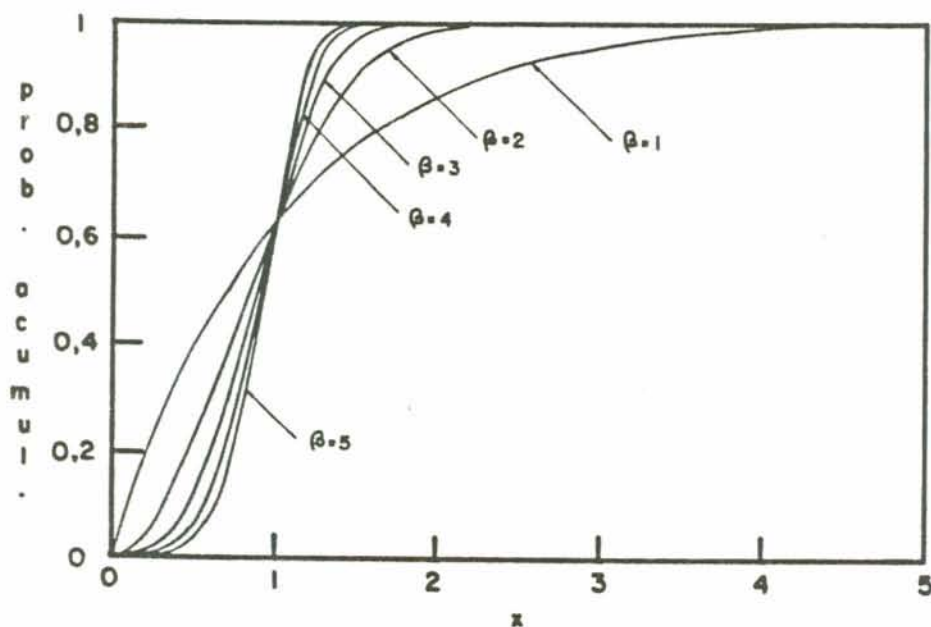


FIGURA A.2 - Família de curvas da distribuição de probabilidade de Weibull (parâmetro de escala $\alpha = 1$)

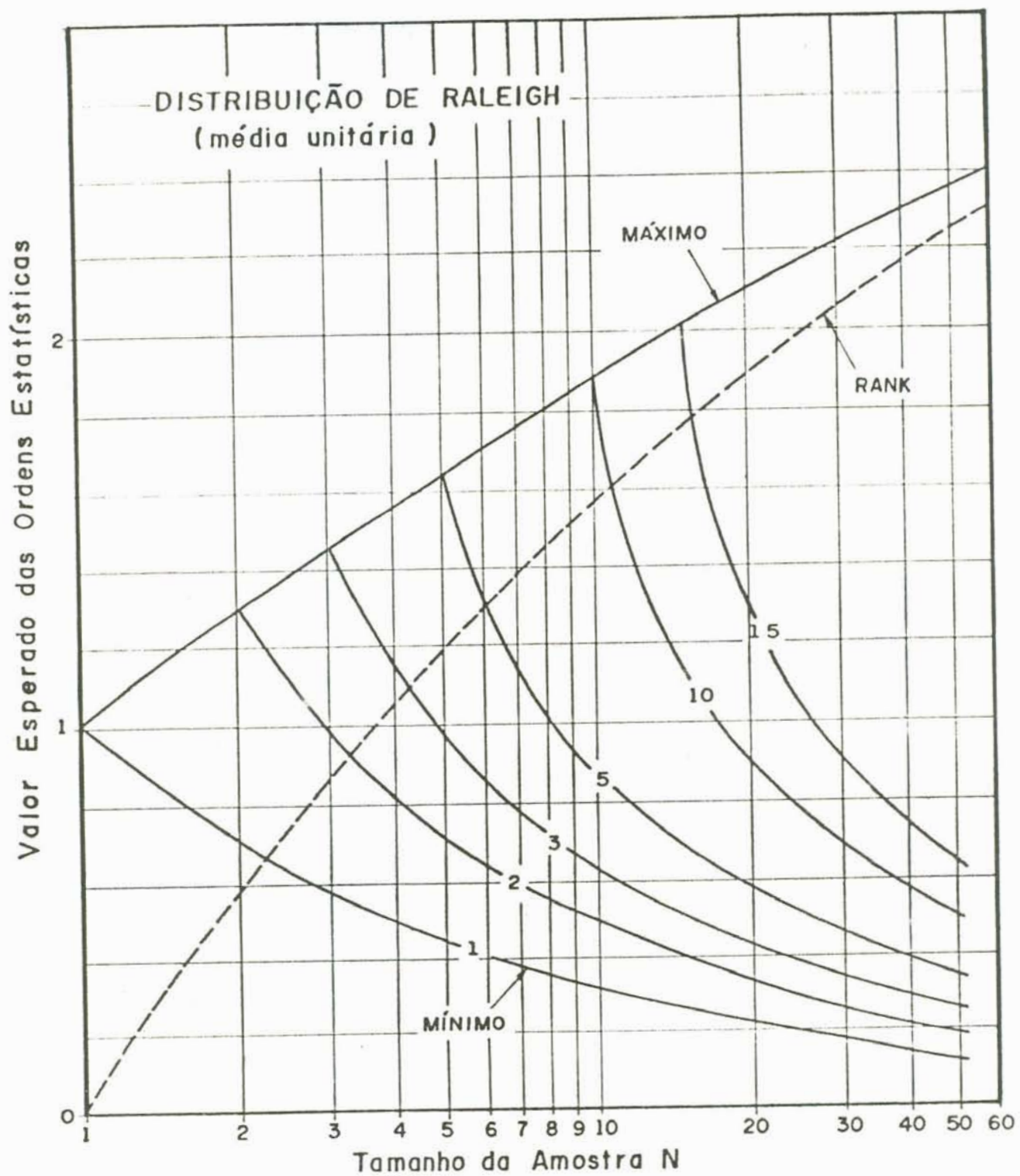


FIGURA A.3 - Valor esperado das ordens estatísticas para a distribuição de Rayleigh

TABELA A. 1

ALFA= 1
BETA= 1

FUNCAO GAMMA(1+1/BETA)=1.000

```

*****
I N I  X1I  X2I  X3I  X4I  X5I  X6I  X7I  X8I  X9I  X10I  X11I  X12I  X13I  X14I  X15I  X16I  X17I  X18I  X19I  X20I
*****
1  1.00I
2  10.50I1.50I
3  10.33I0.83I1.83I
4  10.25I0.58I1.08I2.08I
5  10.20I0.45I0.78I1.28I2.28I
6  10.17I0.37I0.62I0.95I1.45I2.45I
7  10.14I0.31I0.51I0.76I1.09I1.59I2.59I
8  10.13I0.27I0.43I0.63I0.88I1.22I1.72I2.72I
9  10.11I0.24I0.38I0.55I0.75I1.00I1.33I1.83I2.83I
10 10.10I0.21I0.34I0.48I0.65I0.85I1.10I1.43I1.93I2.93I
11 10.09I0.19I0.30I0.43I0.57I0.74I0.94I1.19I1.52I2.02I3.02I
12 10.08I0.17I0.27I0.39I0.51I0.65I0.82I1.02I1.27I1.60I2.10I3.10I
13 10.08I0.16I0.25I0.35I0.46I0.59I0.73I0.90I1.10I1.35I1.68I2.18I3.18I
14 10.07I0.15I0.23I0.32I0.42I0.53I0.66I0.80I0.97I1.17I1.42I1.75I2.25I3.25I
15 10.07I0.14I0.22I0.30I0.39I0.49I0.60I0.73I0.87I1.03I1.23I1.48I1.82I2.32I3.32I
16 10.06I0.13I0.20I0.28I0.36I0.45I0.55I0.66I0.79I0.93I1.10I1.30I1.55I1.88I2.38I3.38I
17 10.06I0.12I0.19I0.26I0.34I0.42I0.51I0.61I0.72I0.85I0.99I1.16I1.36I1.61I1.94I2.44I3.44I
18 10.06I0.11I0.18I0.24I0.31I0.39I0.48I0.57I0.67I0.78I0.90I1.05I1.21I1.41I1.66I2.00I2.49I3.50I
19 10.05I0.11I0.17I0.23I0.30I0.37I0.44I0.53I0.62I0.72I0.83I0.95I1.10I1.26I1.46I1.71I2.05I2.55I3.55I
20 10.05I0.10I0.16I0.22I0.28I0.35I0.42I0.49I0.58I0.67I0.77I0.88I1.00I1.15I1.31I1.51I1.75I2.11I2.60I3.60I
*****

```

TABELA A. 2

ALFA= 1

BETA= 2

FUNCAO GAMMA(1+1/BETA)=0.886

```

*****
I N I  X1I  X2I  X3I  X4I  X5I  X6I  X7I  X8I  X9I  X10I  X11I  X12I  X13I  X14I  X15I  X16I  X17I  X18I  X19I  X20I
*****
1  1.00I
2  10.71I1.29I
3  10.58I0.97I1.46I
4  10.50I0.81I1.12I1.57I
5  10.45I0.71I0.96I1.24I1.65I
6  10.41I0.64I0.85I1.06I1.32I1.72I
7  10.38I0.59I0.77I0.95I1.15I1.39I1.77I
8  10.35I0.55I0.71I0.87I1.03I1.22I1.45I1.82I
9  10.33I0.52I0.67I0.81I0.95I1.10I1.27I1.50I1.86I
10 10.32I0.49I0.63I0.76I0.88I1.02I1.16I1.32I1.54I1.89I
11 10.30I0.46I0.59I0.71I0.83I0.95I1.07I1.21I1.37I1.58I1.92I
12 10.29I0.44I0.57I0.68I0.79I0.89I1.00I1.12I1.25I1.41I1.61I1.95I
13 10.28I0.42I0.54I0.65I0.75I0.85I0.95I1.05I1.16I1.29I1.44I1.64I1.98I
14 10.27I0.41I0.52I0.62I0.72I0.81I0.90I0.99I1.09I1.20I1.33I1.47I1.67I2.00I
15 10.26I0.39I0.50I0.60I0.69I0.77I0.86I0.95I1.04I1.13I1.24I1.36I1.50I1.70I2.02I
16 10.25I0.38I0.48I0.58I0.66I0.74I0.82I0.90I0.99I1.07I1.17I1.27I1.39I1.53I1.72I2.04I
17 10.24I0.37I0.47I0.56I0.64I0.72I0.79I0.87I0.94I1.02I1.11I1.20I1.30I1.41I1.55I1.74I2.06I
18 10.24I0.36I0.46I0.54I0.62I0.69I0.76I0.84I0.91I0.98I1.06I1.14I1.23I1.33I1.44I1.58I1.76I2.08I
19 10.23I0.35I0.44I0.52I0.60I0.67I0.74I0.81I0.88I0.94I1.02I1.09I1.17I1.26I1.35I1.46I1.59I1.78I2.09I
20 10.22I0.34I0.43I0.51I0.58I0.65I0.72I0.78I0.85I0.91I0.98I1.05I1.12I1.20I1.28I1.37I1.45I1.64I1.80I2.11I
*****

```

TABELA A. 3

ALFA= 1

BETA= 3

FUNCAD GAMA(1+1/BETA)=0.893

66

```

*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.79!1.21!
3 !0.69!0.99!1.31!
4 !0.63!0.88!1.11!1.38!
5 !0.58!0.81!0.99!1.18!1.43!
6 !0.55!0.76!0.92!1.07!1.24!1.47!
7 !0.52!0.72!0.86!0.99!1.13!1.28!1.50!
8 !0.50!0.68!0.82!0.93!1.05!1.17!1.32!1.53!
9 !0.48!0.65!0.78!0.89!0.99!1.10!1.21!1.35!1.55!
10 !0.46!0.63!0.75!0.85!0.95!1.04!1.13!1.24!1.37!1.57!
11 !0.45!0.61!0.72!0.82!0.91!0.99!1.08!1.17!1.27!1.39!1.59!
12 !0.44!0.59!0.70!0.79!0.87!0.95!1.03!1.11!1.20!1.29!1.42!1.61!
13 !0.43!0.57!0.68!0.77!0.85!0.92!0.99!1.06!1.14!1.22!1.31!1.43!1.62!
14 !0.41!0.56!0.66!0.75!0.82!0.89!0.96!1.03!1.09!1.16!1.24!1.33!1.45!1.63!
15 !0.41!0.55!0.65!0.73!0.80!0.87!0.93!0.99!1.05!1.12!1.19!1.26!1.35!1.46!1.65!
16 !0.40!0.53!0.63!0.71!0.78!0.84!0.90!0.96!1.02!1.08!1.14!1.21!1.28!1.37!1.48!1.66!
17 !0.39!0.52!0.62!0.69!0.76!0.82!0.88!0.94!0.99!1.05!1.10!1.16!1.23!1.30!1.38!1.49!1.67!
18 !0.38!0.51!0.61!0.68!0.74!0.80!0.86!0.91!0.97!1.02!1.07!1.13!1.18!1.24!1.31!1.40!1.50!1.68!
19 !0.37!0.50!0.59!0.67!0.73!0.79!0.84!0.89!0.94!0.99!1.04!1.09!1.14!1.20!1.26!1.33!1.40!1.52!1.69!
20 !0.37!0.50!0.58!0.65!0.72!0.77!0.82!0.87!0.92!0.97!1.02!1.06!1.11!1.16!1.22!1.27!1.29!1.44!1.53!1.69!
*****

```

TABELA A. 4

ALFA= 1

BETA= 4

FUNCAD GAMA(1+1/BETA)=0.906

```

*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.84!1.16!
3 !0.76!1.00!1.24!
4 !0.71!0.92!1.09!1.29!
5 !0.67!0.86!1.00!1.14!1.32!
6 !0.64!0.82!0.95!1.06!1.18!1.35!
7 !0.61!0.78!0.90!1.00!1.11!1.22!1.37!
8 !0.59!0.76!0.87!0.96!1.05!1.14!1.24!1.39!
9 !0.58!0.73!0.84!0.93!1.01!1.08!1.17!1.26!1.41!
10 !0.56!0.71!0.81!0.90!0.97!1.04!1.11!1.19!1.28!1.42!
11 !0.55!0.69!0.79!0.87!0.94!1.01!1.07!1.14!1.21!1.30!1.43!
12 !0.54!0.68!0.77!0.85!0.91!0.98!1.04!1.09!1.16!1.23!1.31!1.44!
13 !0.53!0.67!0.76!0.83!0.89!0.95!1.01!1.06!1.12!1.18!1.24!1.33!1.45!
14 !0.52!0.65!0.74!0.81!0.87!0.93!0.98!1.03!1.08!1.14!1.19!1.26!1.34!1.46!
15 !0.51!0.64!0.73!0.80!0.85!0.91!0.96!1.01!1.05!1.10!1.15!1.21!1.27!1.35!1.47!
16 !0.50!0.63!0.72!0.78!0.84!0.89!0.94!0.98!1.03!1.07!1.12!1.17!1.22!1.28!1.36!1.48!
17 !0.49!0.62!0.70!0.77!0.82!0.87!0.92!0.96!1.01!1.05!1.09!1.13!1.18!1.23!1.29!1.37!1.48!
18 !0.49!0.61!0.69!0.76!0.81!0.86!0.90!0.95!0.99!1.03!1.07!1.11!1.15!1.19!1.24!1.30!1.37!1.49!
19 !0.48!0.60!0.68!0.75!0.80!0.85!0.89!0.93!0.97!1.01!1.04!1.08!1.12!1.16!1.20!1.25!1.30!1.39!1.50!
20 !0.47!0.59!0.67!0.74!0.79!0.83!0.87!0.91!0.95!0.99!1.02!1.06!1.10!1.13!1.17!1.21!1.20!1.34!1.39!1.50!
*****

```

TABELA A. 5

ALFA= 1

BETA= 5

FUNCAO GAMA(1+1/BETA)=0.918

```

*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.87!1.13!
3 !0.80!1.01!1.19!
4 !0.76!0.94!1.07!1.23!
5 !0.72!0.89!1.01!1.12!1.26!
6 !0.70!0.85!0.96!1.06!1.15!1.28!
7 !0.68!0.83!0.93!1.01!1.09!1.18!1.30!
8 !0.66!0.80!0.90!0.97!1.04!1.12!1.20!1.31!
9 !0.64!0.78!0.87!0.94!1.01!1.07!1.14!1.21!1.32!
10 !0.63!0.77!0.85!0.92!0.98!1.04!1.10!1.16!1.23!1.33!
11 !0.62!0.75!0.83!0.90!0.96!1.01!1.06!1.11!1.17!1.24!1.34!
12 !0.61!0.74!0.82!0.88!0.94!0.99!1.03!1.08!1.13!1.19!1.25!1.35!
13 !0.60!0.72!0.80!0.87!0.92!0.97!1.01!1.05!1.10!1.15!1.20!1.26!1.36!
14 !0.59!0.71!0.79!0.85!0.90!0.95!0.99!1.03!1.07!1.11!1.16!1.21!1.27!1.36!
15 !0.58!0.70!0.78!0.84!0.89!0.93!0.97!1.01!1.05!1.09!1.13!1.17!1.22!1.28!1.37!
16 !0.57!0.69!0.77!0.83!0.87!0.92!0.96!0.99!1.03!1.06!1.10!1.14!1.18!1.23!1.29!1.38!
17 !0.57!0.69!0.76!0.81!0.86!0.90!0.94!0.98!1.01!1.04!1.08!1.11!1.15!1.19!1.23!1.29!1.38!
18 !0.56!0.68!0.75!0.80!0.85!0.89!0.93!0.96!0.99!1.03!1.06!1.09!1.12!1.16!1.20!1.24!1.30!1.39!
19 !0.55!0.67!0.74!0.79!0.84!0.88!0.92!0.95!0.98!1.01!1.04!1.07!1.10!1.13!1.17!1.20!1.24!1.31!1.39!
20 !0.55!0.66!0.73!0.79!0.83!0.87!0.90!0.94!0.97!1.00!1.03!1.05!1.08!1.11!1.14!1.17!1.15!1.28!1.31!1.39!
*****

```

TABELA A. 6

ALFA= 1

BETA= 6

FUNCAO GAMA(1+1/BETA)=0.928

```

*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.89!1.11!
3 !0.83!1.01!1.16!
4 !0.79!0.95!1.07!1.19!
5 !0.76!0.91!1.01!1.10!1.21!
6 !0.74!0.88!0.97!1.05!1.13!1.23!
7 !0.72!0.85!0.94!1.01!1.08!1.15!1.24!
8 !0.71!0.83!0.92!0.98!1.04!1.10!1.17!1.26!
9 !0.69!0.82!0.90!0.96!1.01!1.06!1.12!1.18!1.27!
10 !0.68!0.80!0.88!0.94!0.99!1.04!1.08!1.13!1.19!1.27!
11 !0.67!0.79!0.86!0.92!0.97!1.01!1.05!1.10!1.15!1.20!1.28!
12 !0.66!0.78!0.85!0.90!0.95!0.99!1.03!1.07!1.11!1.16!1.21!1.29!
13 !0.65!0.77!0.84!0.89!0.93!0.97!1.01!1.05!1.09!1.12!1.17!1.22!1.29!
14 !0.64!0.76!0.82!0.88!0.92!0.96!1.00!1.03!1.06!1.10!1.13!1.17!1.22!1.30!
15 !0.64!0.75!0.81!0.87!0.91!0.95!0.98!1.01!1.04!1.08!1.11!1.14!1.18!1.23!1.30!
16 !0.63!0.74!0.81!0.86!0.90!0.93!0.97!1.00!1.03!1.06!1.09!1.12!1.15!1.19!1.24!1.31!
17 !0.62!0.73!0.80!0.85!0.89!0.92!0.95!0.98!1.01!1.04!1.07!1.10!1.13!1.16!1.20!1.24!1.31!
18 !0.62!0.72!0.79!0.84!0.88!0.91!0.94!0.97!1.00!1.03!1.05!1.08!1.11!1.14!1.17!1.20!1.25!1.32!
19 !0.61!0.72!0.78!0.83!0.87!0.90!0.93!0.96!0.99!1.01!1.04!1.06!1.09!1.11!1.14!1.17!1.20!1.26!1.32!
20 !0.61!0.71!0.77!0.82!0.86!0.89!0.92!0.95!0.98!1.00!1.02!1.05!1.07!1.10!1.12!1.15!1.11!1.24!1.26!1.32!
*****

```


TABELA A. 7

ALFA= 1

BETA= 7

FUNCAO GAMA(1+1/BETA)=0.935

```

*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.91!1.09!
3 !0.85!1.01!1.14!
4 !0.82!0.96!1.06!1.16!
5 !0.79!0.92!1.01!1.09!1.18!
6 !0.77!0.90!0.98!1.04!1.11!1.20!
7 !0.76!0.88!0.95!1.01!1.07!1.13!1.21!
8 !0.74!0.86!0.93!0.99!1.04!1.09!1.14!1.22!
9 !0.73!0.84!0.91!0.96!1.01!1.06!1.10!1.15!1.23!
10 !0.72!0.83!0.90!0.95!0.99!1.03!1.07!1.11!1.16!1.23!
11 !0.71!0.82!0.88!0.93!0.97!1.01!1.05!1.09!1.13!1.17!1.24!
12 !0.70!0.81!0.87!0.92!0.96!1.00!1.03!1.06!1.10!1.14!1.18!1.25!
13 !0.69!0.80!0.86!0.91!0.95!0.98!1.01!1.04!1.08!1.11!1.14!1.19!1.25!
14 !0.69!0.79!0.85!0.90!0.93!0.97!1.00!1.03!1.06!1.09!1.12!1.15!1.19!1.25!
15 !0.68!0.78!0.84!0.89!0.92!0.96!0.98!1.01!1.04!1.07!1.09!1.12!1.16!1.20!1.26!
16 !0.67!0.77!0.83!0.88!0.91!0.94!0.97!1.00!1.03!1.05!1.08!1.10!1.13!1.16!1.20!1.26!
17 !0.67!0.77!0.82!0.87!0.90!0.93!0.96!0.99!1.01!1.04!1.06!1.09!1.11!1.14!1.17!1.21!1.27!
18 !0.66!0.76!0.82!0.86!0.90!0.93!0.95!0.98!1.00!1.02!1.05!1.07!1.09!1.12!1.14!1.17!1.21!1.27!
19 !0.66!0.75!0.81!0.85!0.89!0.92!0.94!0.97!0.99!1.01!1.03!1.06!1.08!1.10!1.12!1.15!1.17!1.22!1.27!
20 !0.65!0.75!0.80!0.85!0.88!0.91!0.94!0.96!0.98!1.00!1.02!1.04!1.06!1.08!1.11!1.13!1.08!1.21!1.22!1.27!
*****

```

TABELA A. 8

ALFA= 1

BETA= 8

FUNCAO GAMA(1+1/BETA)=0.942

```

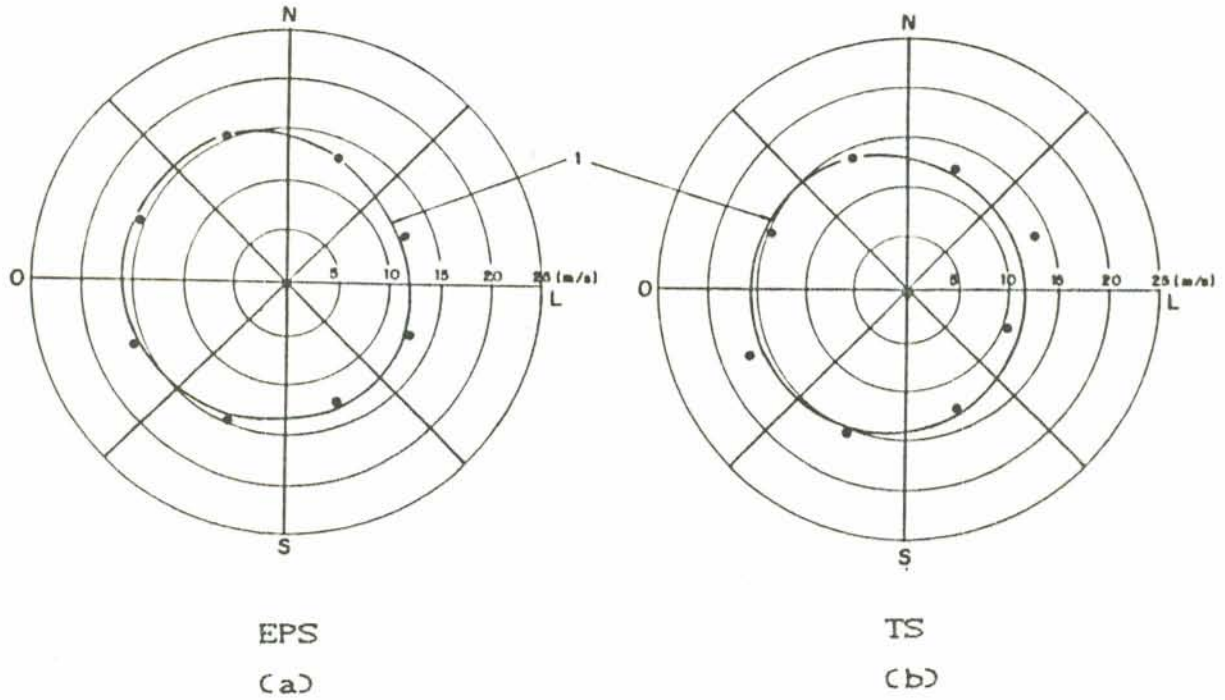
*****
! N ! X1! X2! X3! X4! X5! X6! X7! X8! X9! X10! X11! X12! X13! X14! X15! X16! X17! X18! X19! X20!
*****
1 !1.00!
2 !0.92!1.08!
3 !0.87!1.01!1.12!
4 !0.84!0.96!1.05!1.14!
5 !0.82!0.93!1.01!1.08!1.16!
6 !0.80!0.91!0.98!1.04!1.10!1.17!
7 !0.78!0.89!0.96!1.01!1.06!1.11!1.18!
8 !0.77!0.87!0.94!0.99!1.03!1.08!1.13!1.19!
9 !0.76!0.86!0.92!0.97!1.01!1.05!1.09!1.14!1.20!
10 !0.75!0.85!0.91!0.95!0.99!1.03!1.06!1.10!1.14!1.20!
11 !0.74!0.84!0.90!0.94!0.98!1.01!1.04!1.08!1.11!1.15!1.21!
12 !0.73!0.83!0.89!0.93!0.97!1.00!1.03!1.06!1.09!1.12!1.16!1.21!
13 !0.73!0.82!0.88!0.92!0.95!0.98!1.01!1.04!1.07!1.10!1.13!1.16!1.22!
14 !0.72!0.81!0.87!0.91!0.94!0.97!1.00!1.03!1.05!1.08!1.10!1.13!1.17!1.22!
15 !0.71!0.81!0.86!0.90!0.93!0.96!0.99!1.01!1.04!1.06!1.08!1.11!1.14!1.17!1.22!
16 !0.71!0.80!0.85!0.89!0.92!0.95!0.98!1.00!1.02!1.05!1.07!1.09!1.12!1.14!1.18!1.23!
17 !0.70!0.79!0.85!0.88!0.92!0.94!0.97!0.99!1.01!1.03!1.05!1.08!1.10!1.12!1.15!1.18!1.23!
18 !0.70!0.79!0.84!0.88!0.91!0.94!0.96!0.98!1.00!1.02!1.04!1.06!1.08!1.10!1.13!1.15!1.18!1.23!
19 !0.69!0.78!0.83!0.87!0.90!0.93!0.95!0.97!0.99!1.01!1.03!1.05!1.07!1.09!1.11!1.13!1.14!1.19!1.24!
20 !0.69!0.78!0.83!0.86!0.90!0.92!0.94!0.97!0.99!1.00!1.02!1.04!1.06!1.08!1.10!1.11!1.06!1.19!1.19!1.23!
*****

```

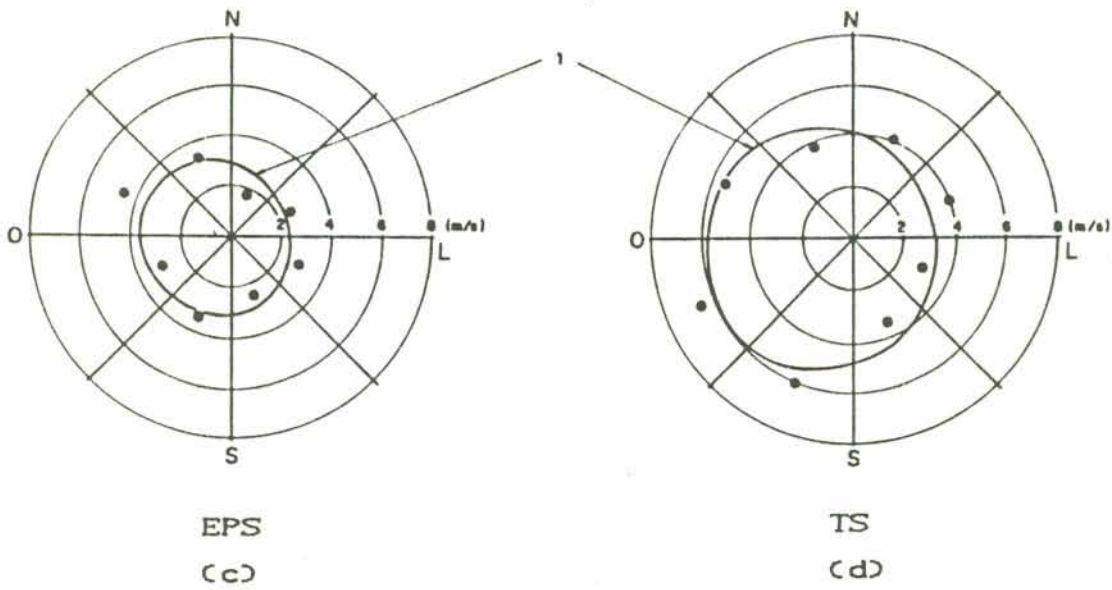
APÊNDICE B

VALOR MÉDIO E DESVIO PADRÃO DAS SÉRIES
DE VELOCIDADES MÁXIMAS DO VENTO

VALORES OBSERVADOS E CURVAS AJUSTADAS



VALOR MÉDIO



DESVIO PADRÃO

FIGURA B. 1 (a - d) - Bagé

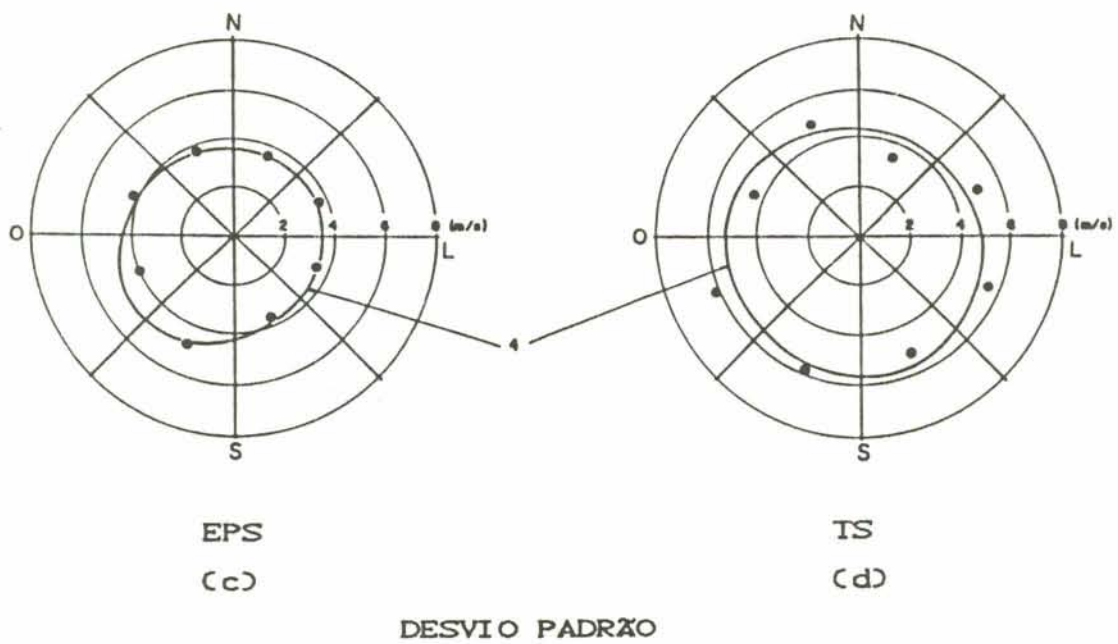
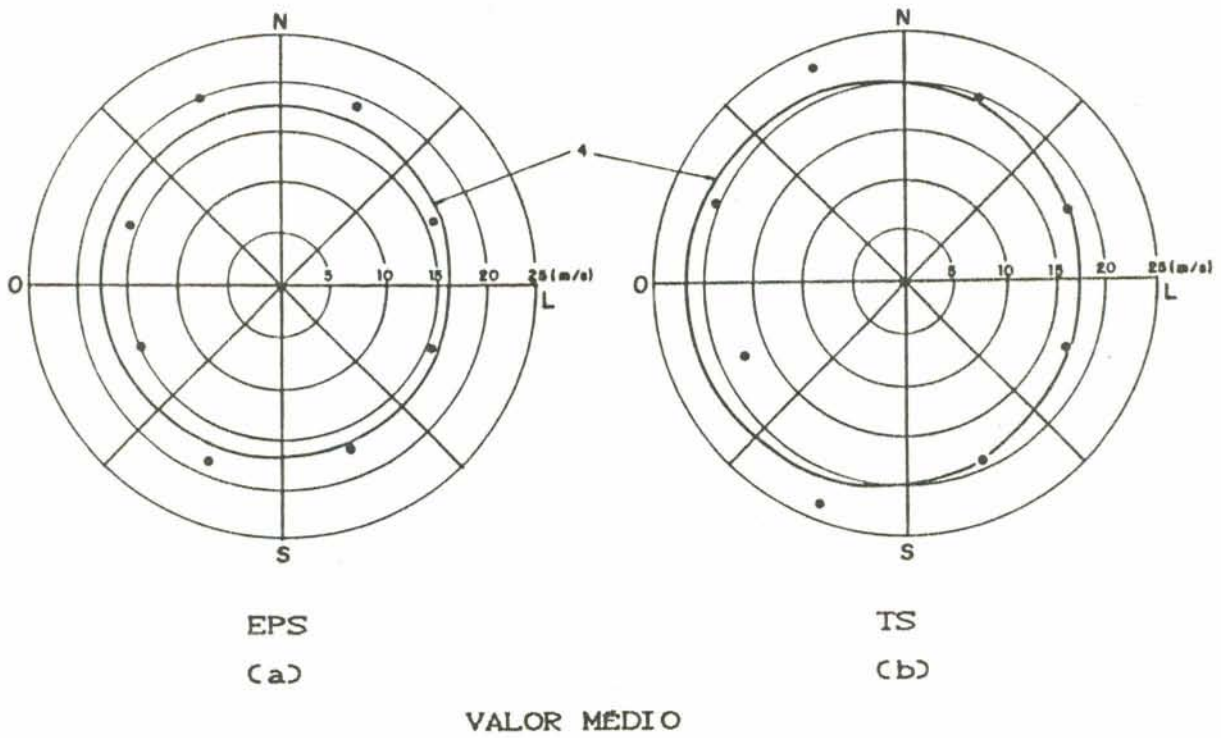


FIGURA B. 2 (a - d) - Campo Grande

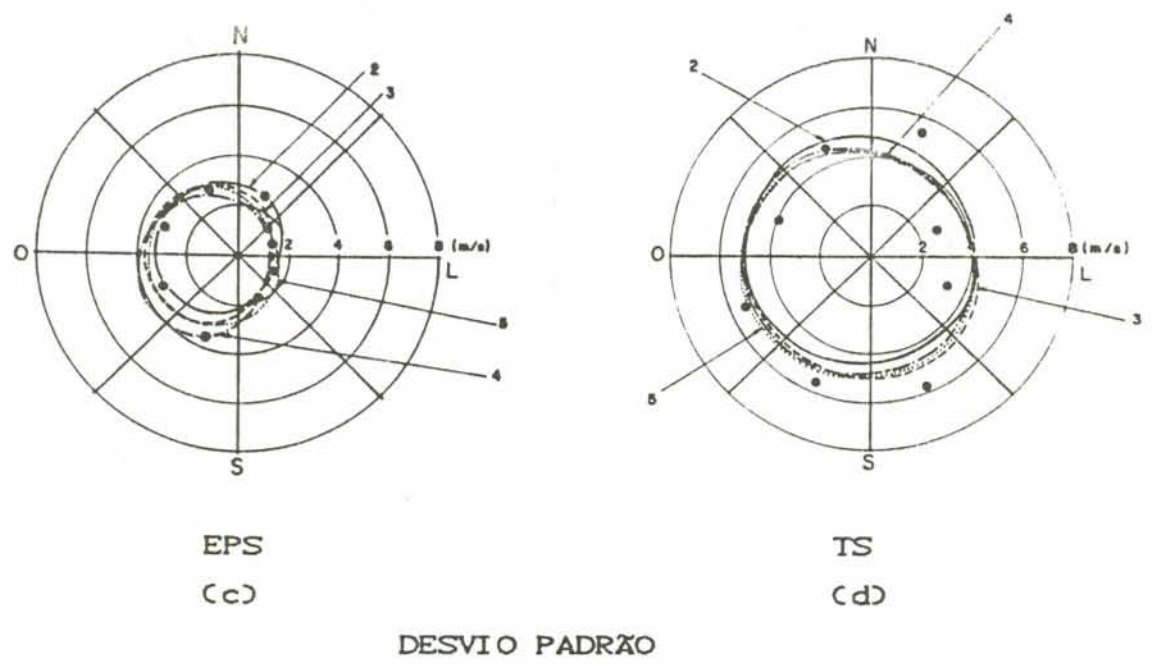
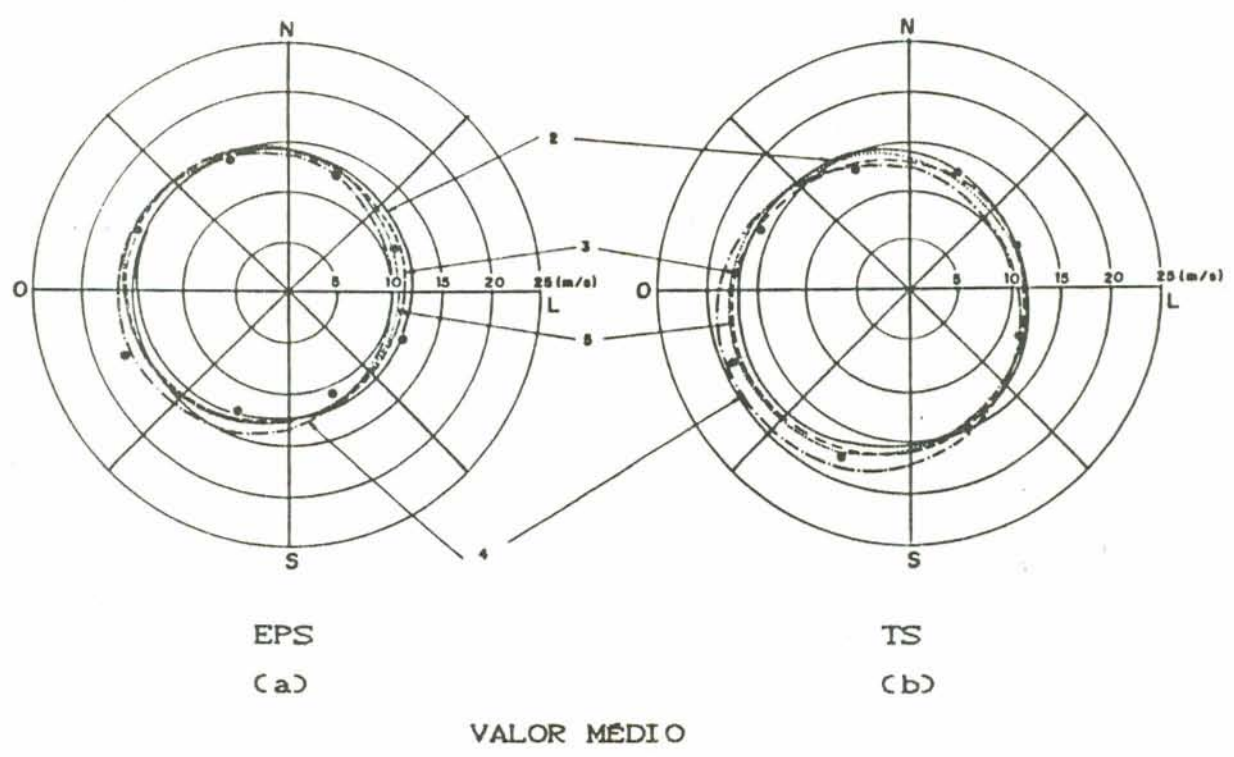


FIGURA B. 3 Ca - d) - Curitiba

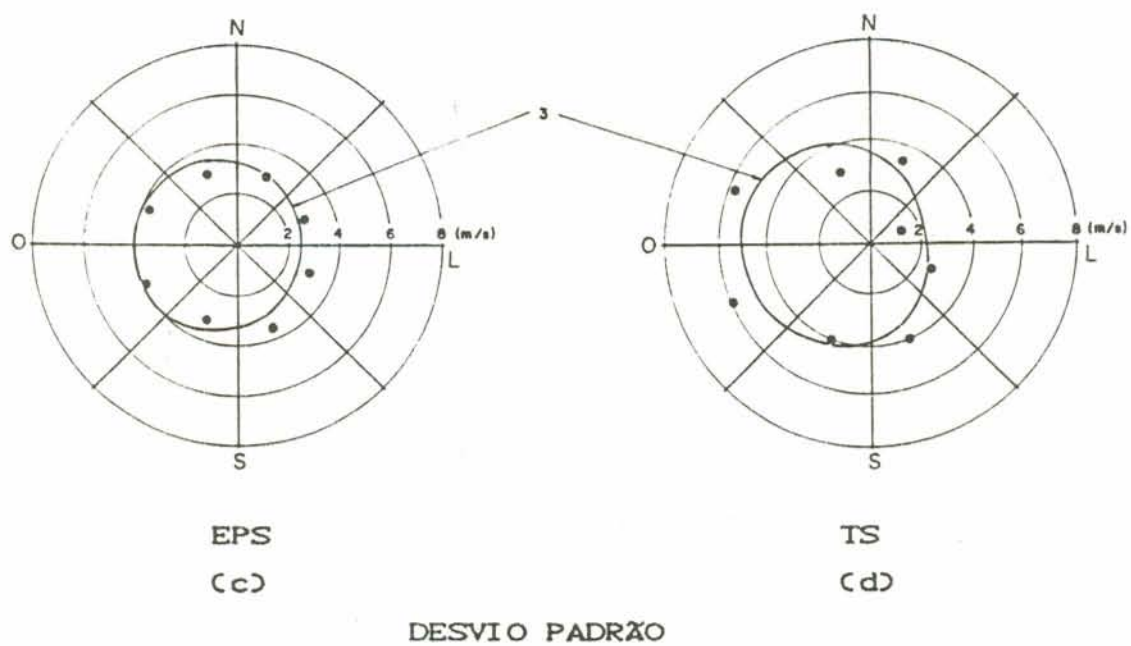
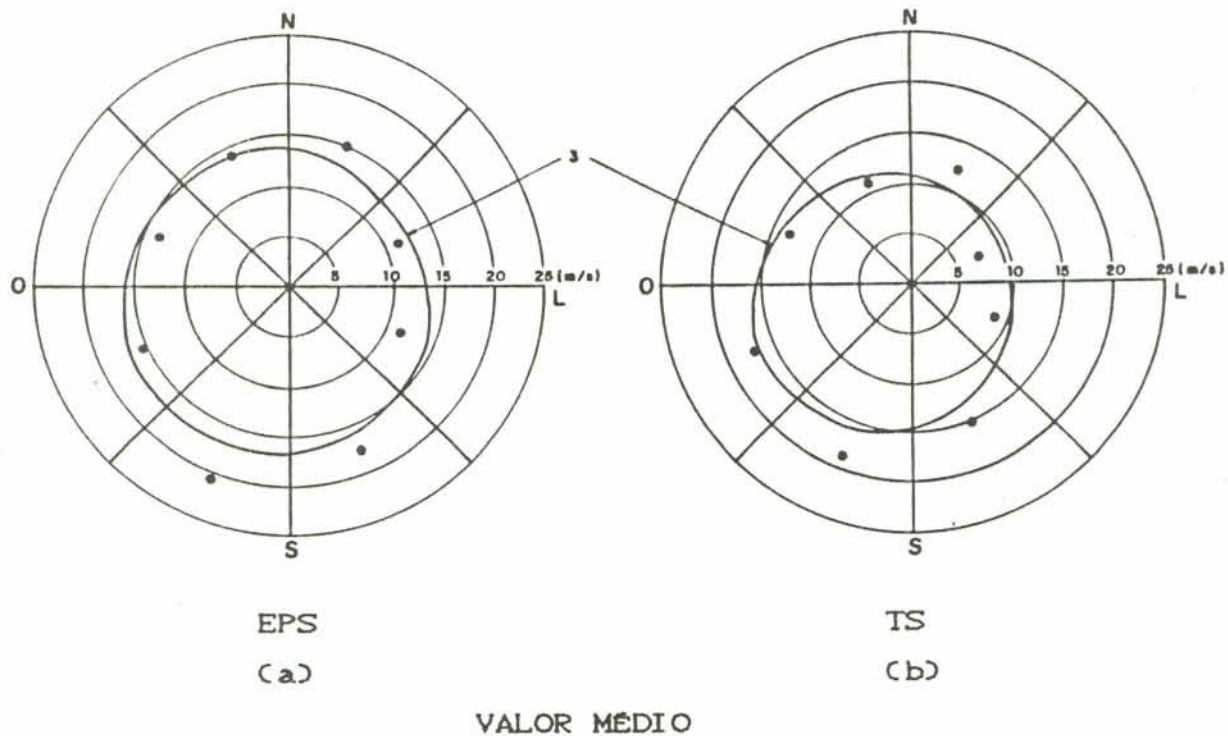
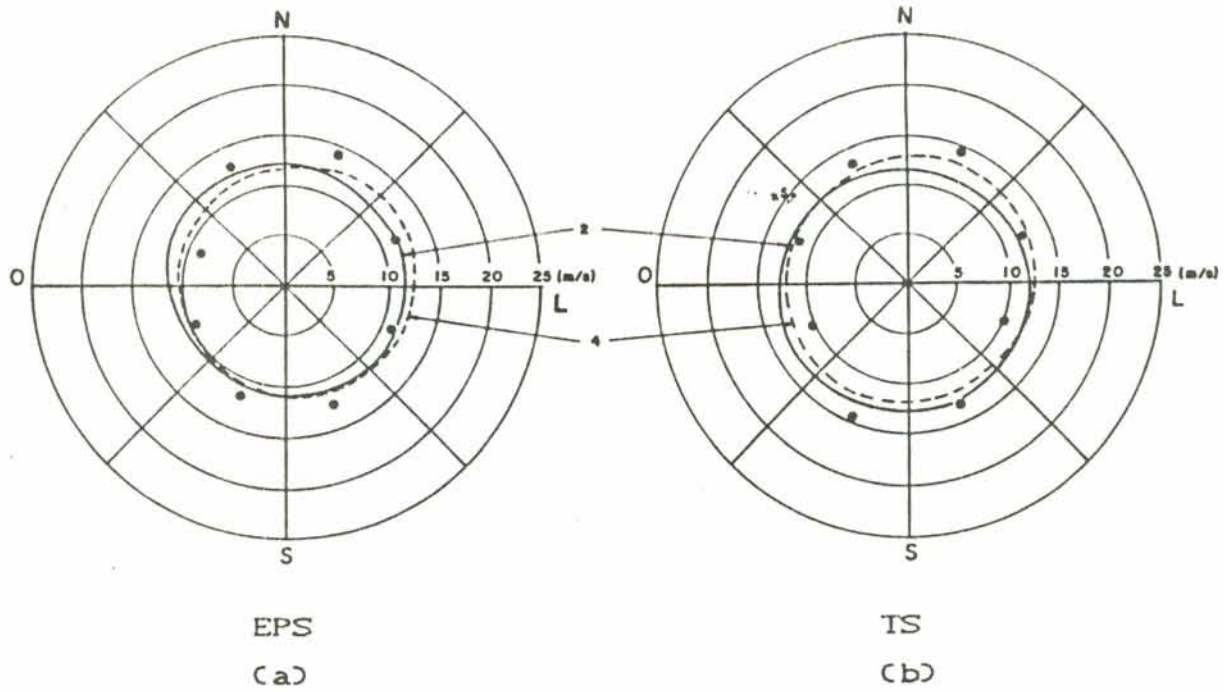
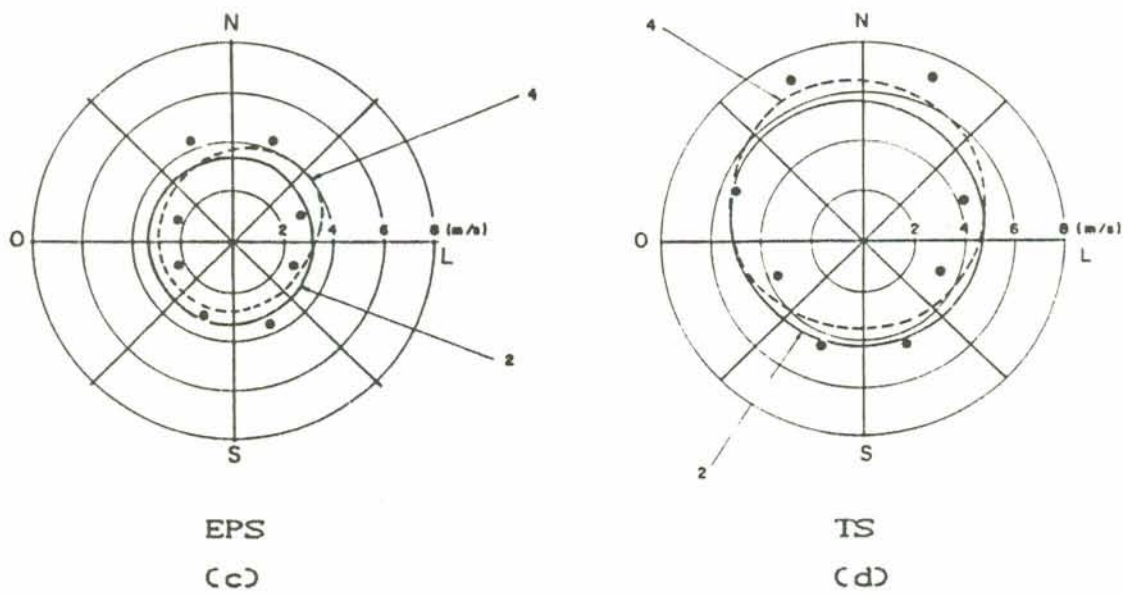


FIGURA B. 4 (a - d) - Florianópolis



VALOR MÉDIO



DESVIO PADRÃO

FIGURA B. 5 (a - d) - Foz do Iguaçu

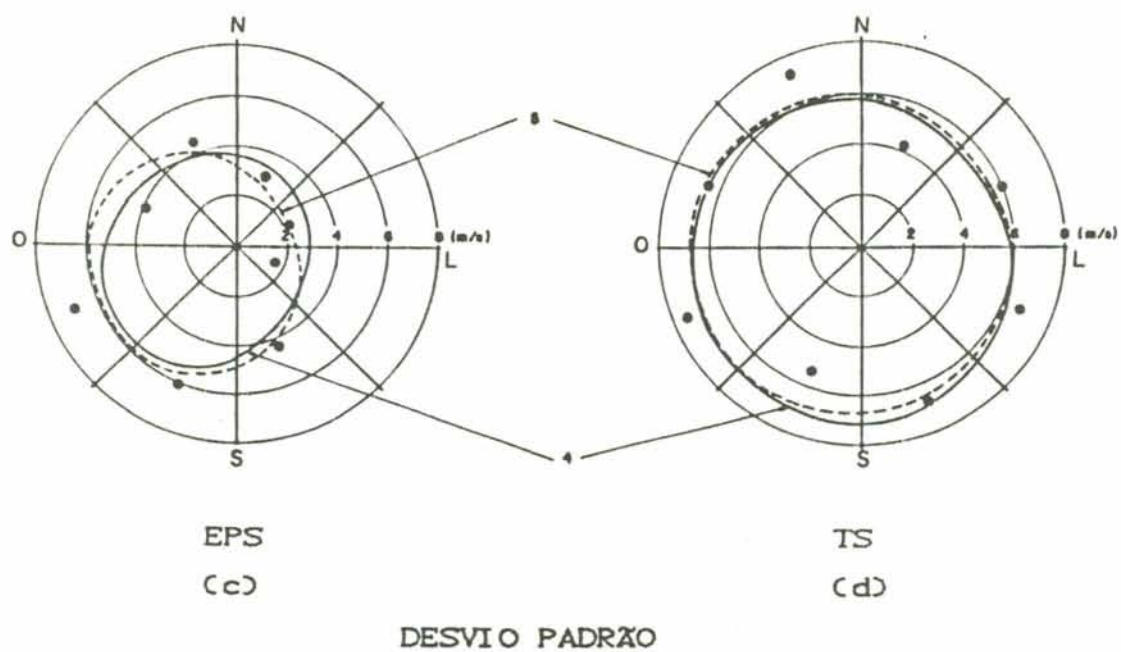
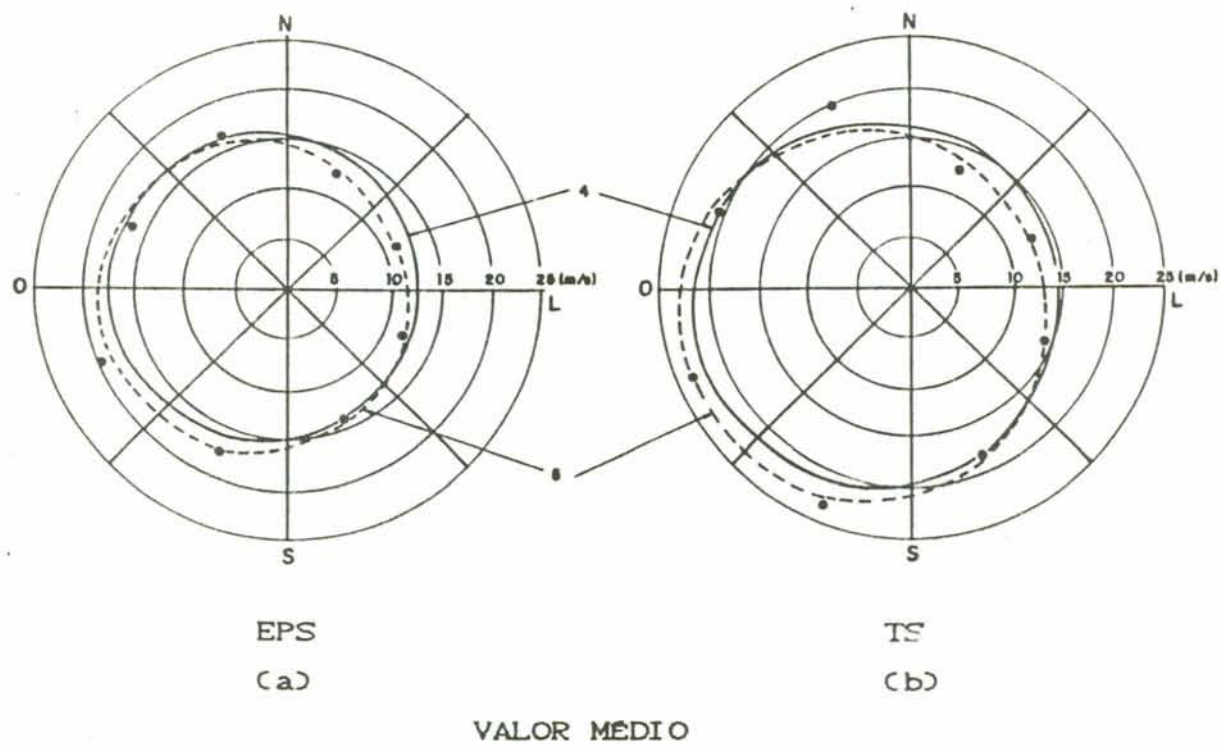
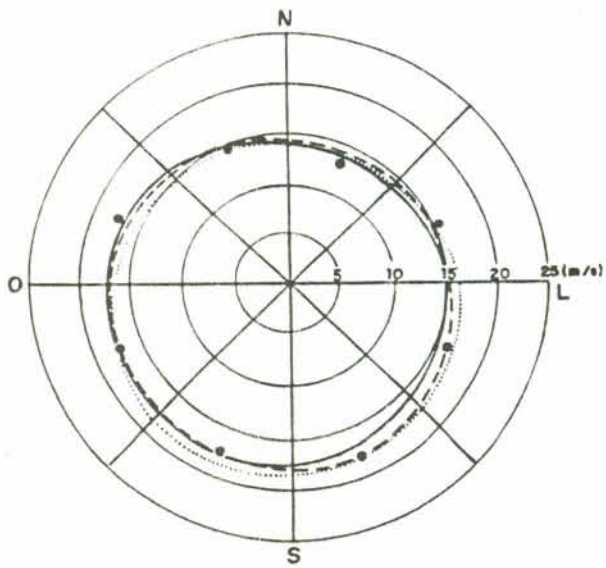
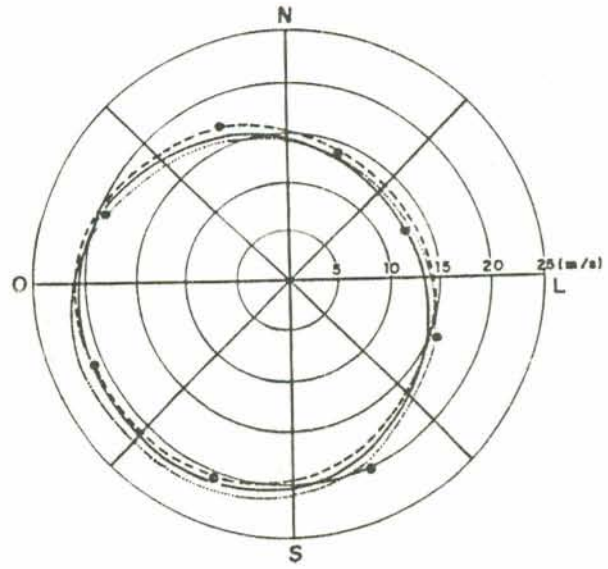


FIGURA B. 6 Ca - d) - Londrina

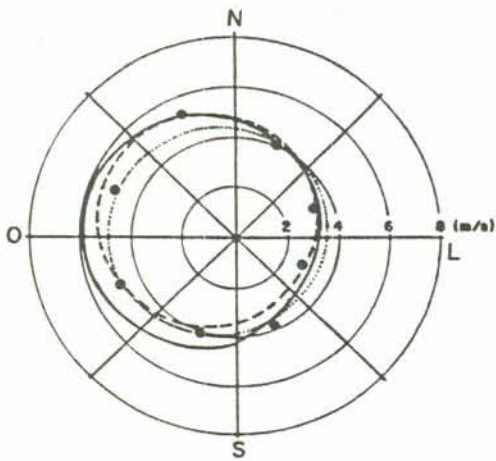


EPS
(a)

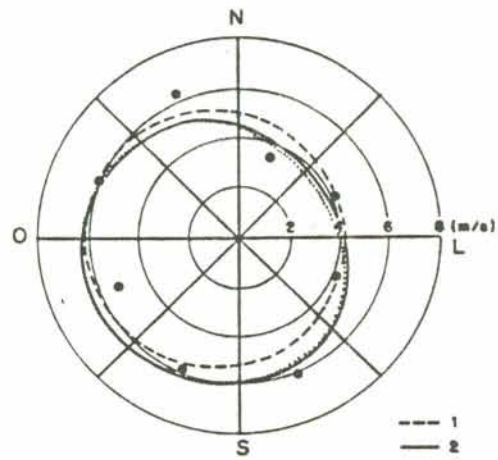


TS
(b)

VALOR MÉDIO



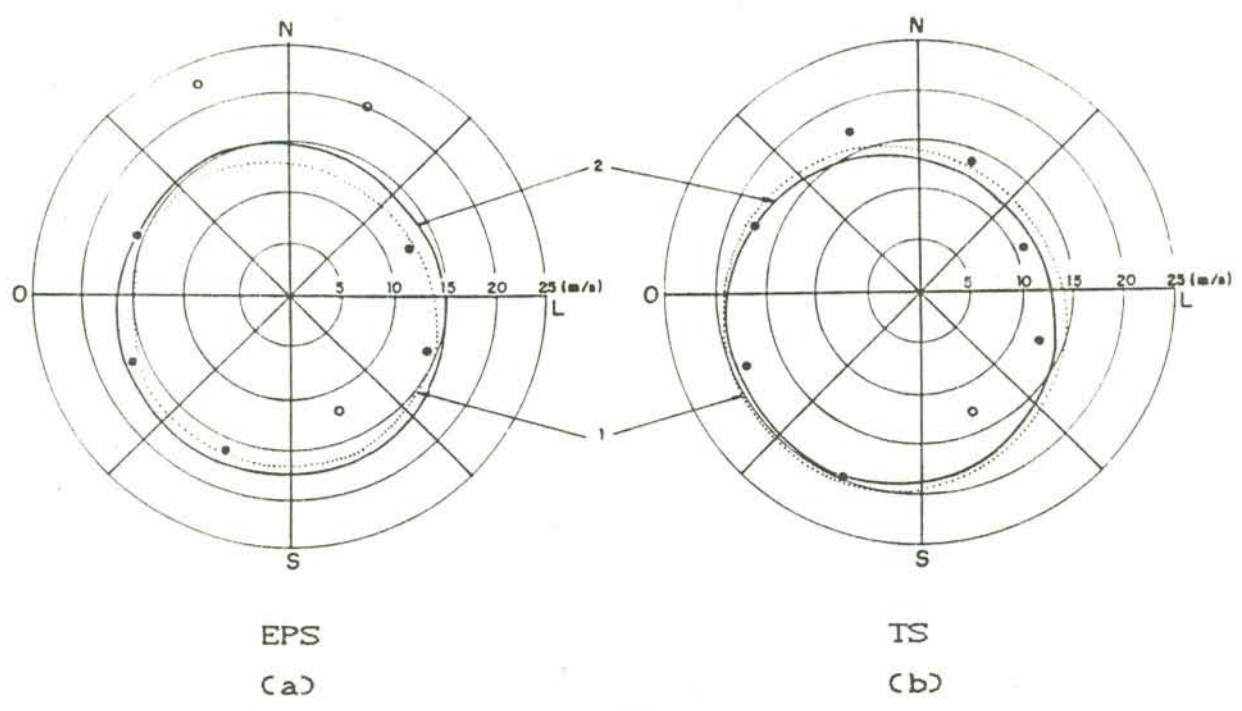
EPS
(c)



TS
(d)

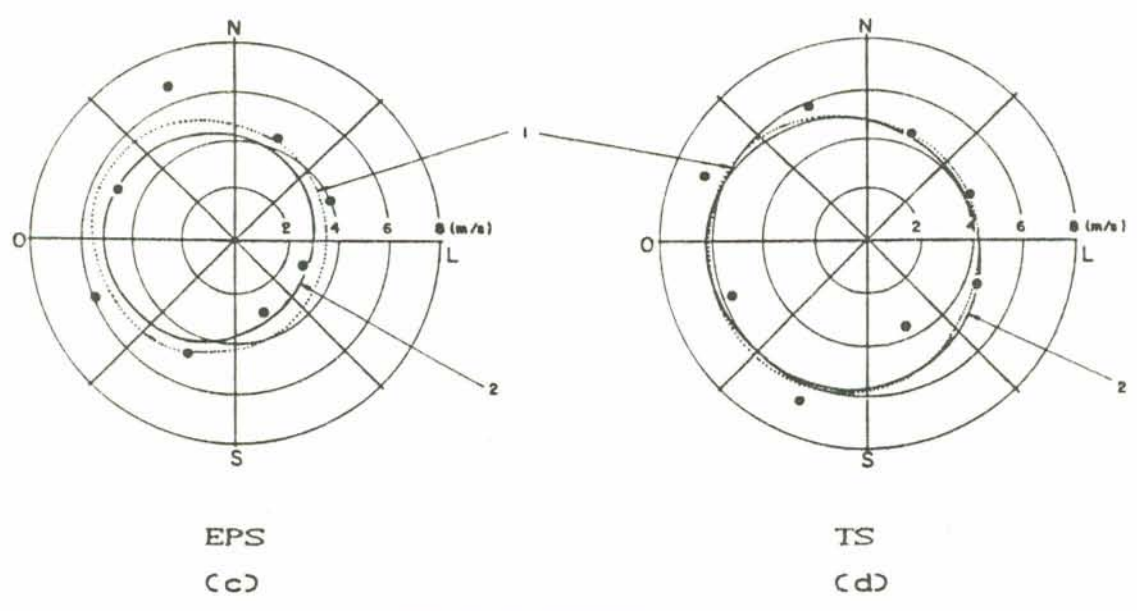
DESVIO PADRÃO

FIGURA B. 7 (a - d) - Porto Alegre



VALOR MÉDIO

o - valores eliminados no cálculo final da regressão



DESVIO PADRÃO

FIGURA B. 8 (a - d) - Santa Maria

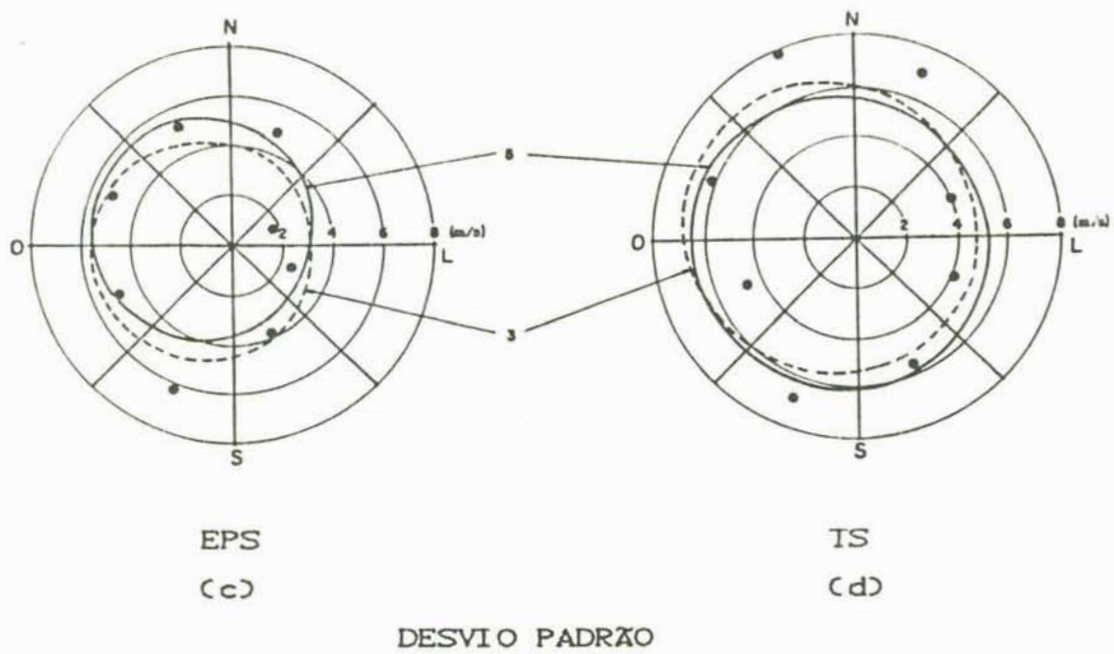
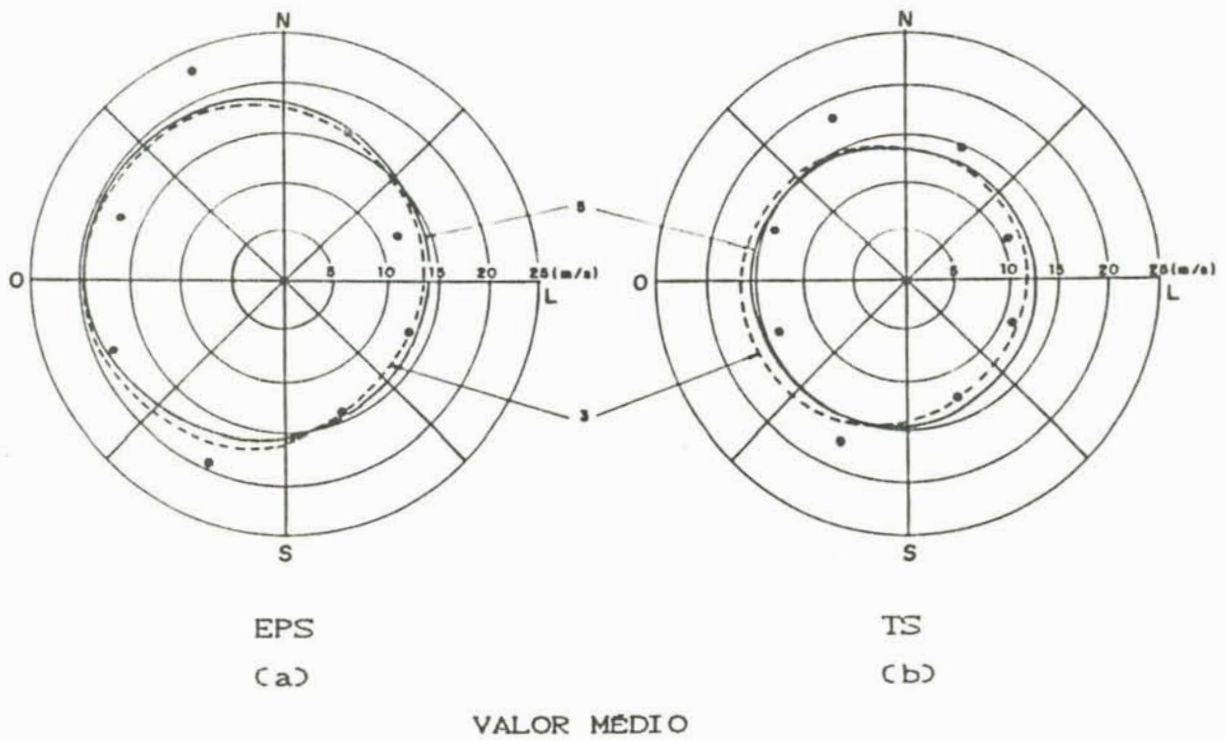


FIGURA B. 9 (a - d) - Santos

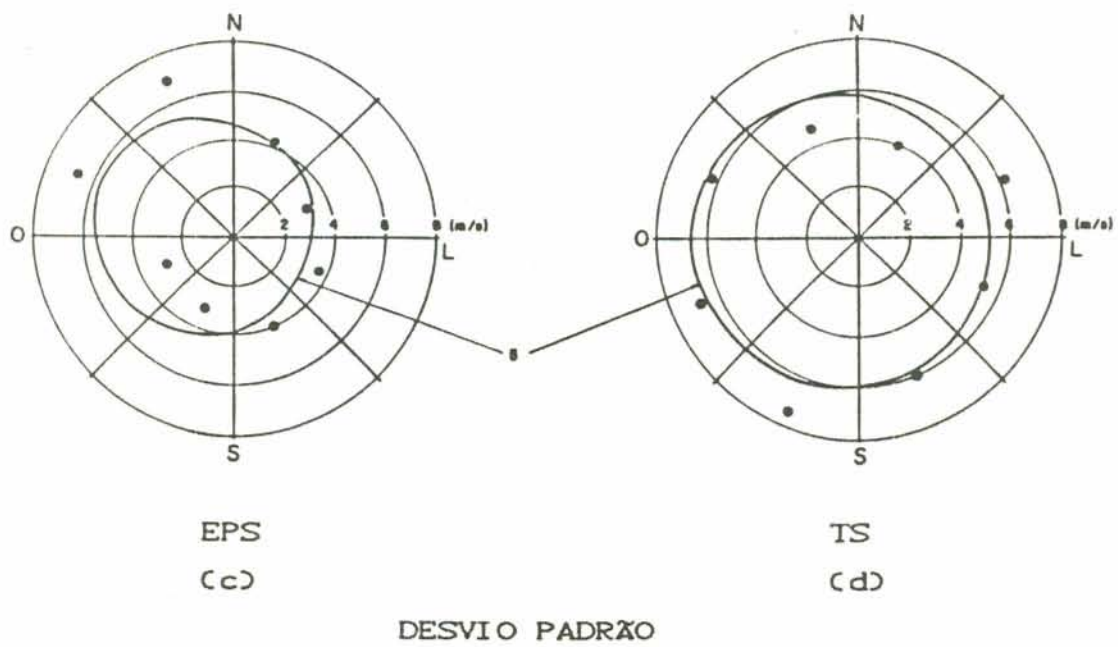
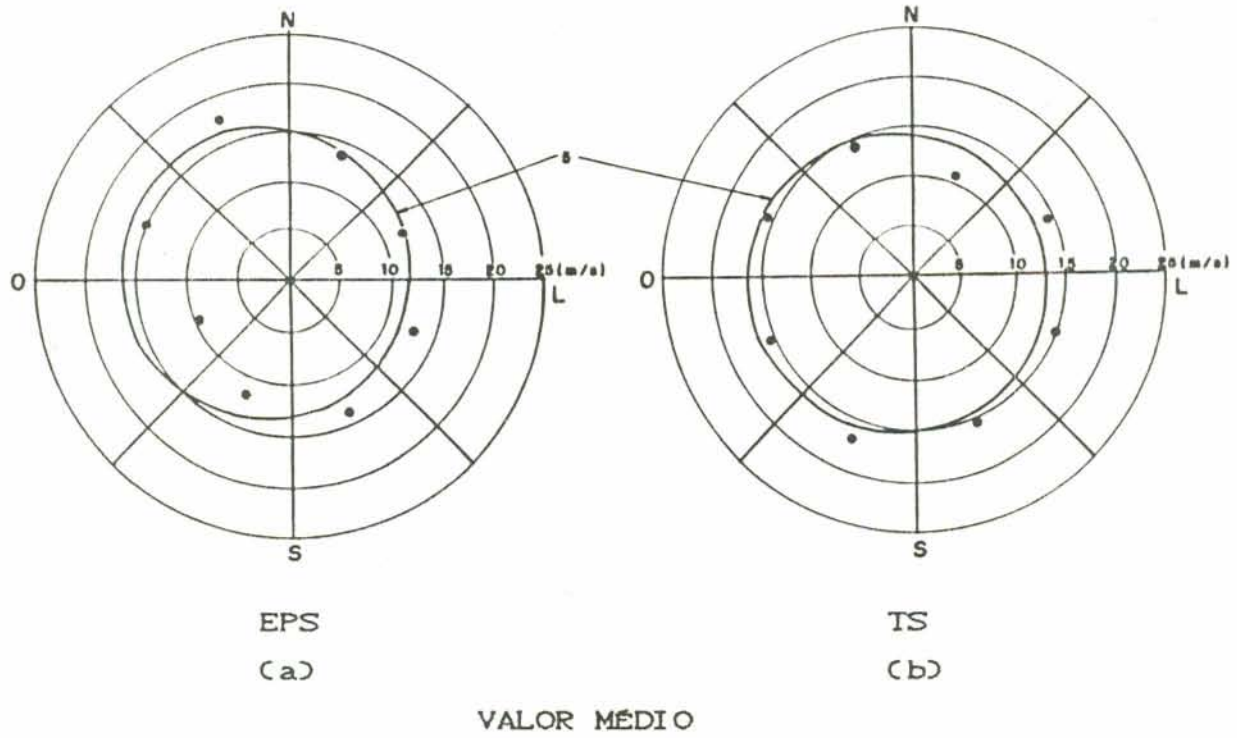
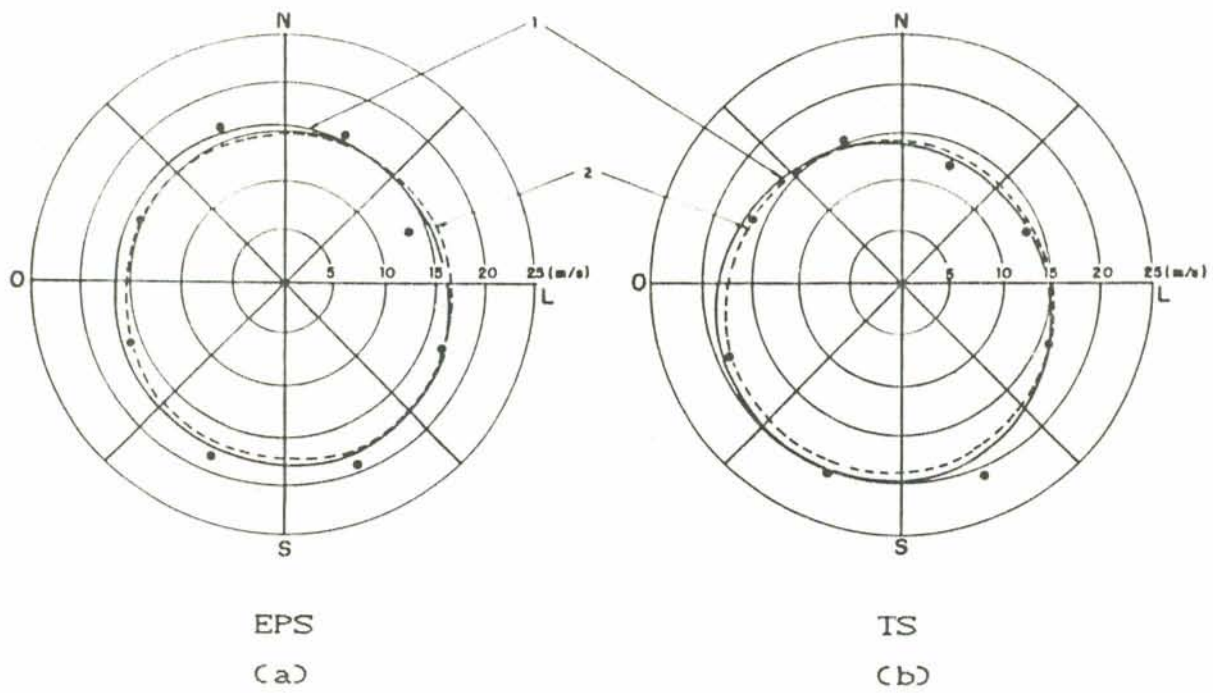
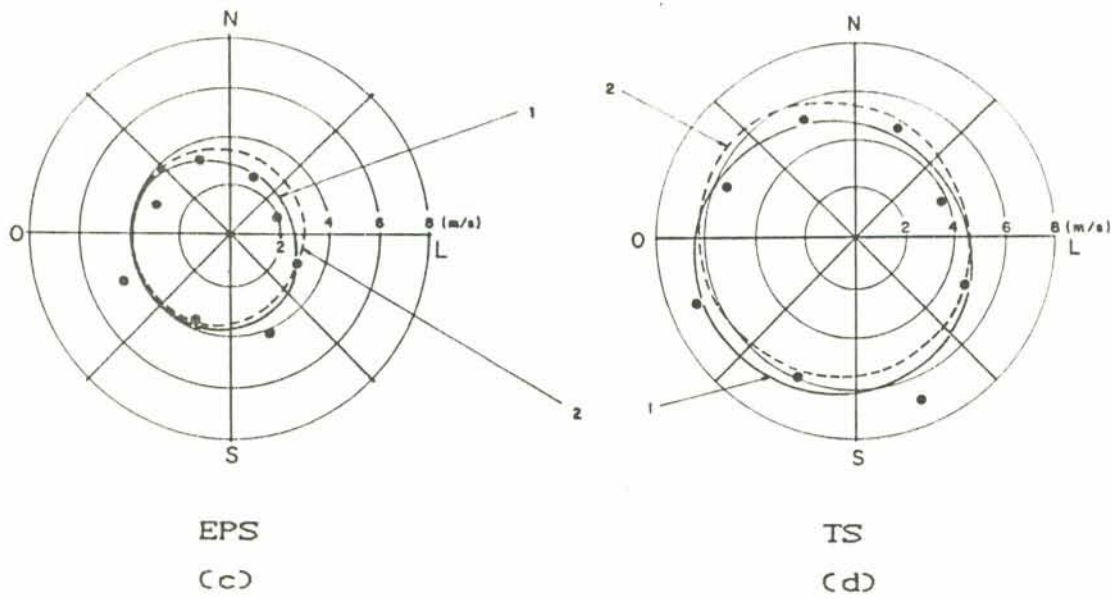


FIGURA B. 10 (a - d) - São Paulo



VALOR MÉDIO



DESVIO PADRÃO

FIGURA B. 11 (a - d) - Uruguaiana

APÊNDICE C

COMPARAÇÃO ENTRE PREDIÇÕES (V50) EM CADA OCTANTE

| VENTOS EPS | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
| 17.57 | 19.72 | | | | |
| 19.11 | 17.89 | | | | |
| 20.36 | 18.85 | | | | |
| 18.35 | 20.85 | | | | |
| 23.63 | 22.71 | | | | |
| 23.48 | 24.55 | | | | |
| 27.3 | 25.29 | | | | |
| 23.62 | 23.29 | | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 17.57 | 19.72 | -2.16 | .89 |
| 19.11 | 17.89 | 1.22 | 1.07 |
| 20.36 | 18.85 | 1.51 | 1.08 |
| 18.35 | 20.85 | -2.5 | .88 |
| 23.63 | 22.71 | .92 | 1.04 |
| 23.48 | 24.55 | -1.07 | .96 |
| 27.3 | 25.29 | 2.02 | 1.08 |
| 23.62 | 23.29 | .33 | 1.01 |

| VENTOS TS | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
| 23.34 | 22.23 | | | | |
| 24.56 | 20.11 | | | | |
| 18.37 | 21.36 | | | | |
| 22.01 | 25.14 | | | | |
| 31.19 | 29.22 | | | | |
| 33.99 | 31.34 | | | | |
| 29.17 | 30.25 | | | | |
| 23.87 | 26.48 | | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 23.34 | 22.23 | 1.11 | 1.05 |
| 24.56 | 20.11 | 4.45 | 1.22 |
| 18.37 | 21.36 | -3 | .86 |
| 22.01 | 25.14 | -3.13 | .88 |
| 31.19 | 29.22 | 1.96 | 1.07 |
| 33.99 | 31.34 | 2.65 | 1.08 |
| 29.17 | 30.25 | -1.08 | .96 |
| 23.87 | 26.48 | -2.61 | .9 |

TABELA C. 1 - Bagé

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 28.36 | | | | 26.61 | |
| 26.12 | | | | 26.02 | |
| 24.88 | | | | 25.22 | |
| 26.79 | | | | 26.59 | |
| 30.97 | | | | 29.32 | |
| 24.95 | | | | 29.91 | |
| 26.55 | | | | 28.01 | |
| 29.48 | | | | 26.65 | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 28.36 | 26.61 | 1.75 | 1.07 |
| 26.12 | 26.02 | .1 | 1 |
| 24.88 | 25.22 | -.34 | .99 |
| 26.79 | 26.59 | .2 | 1.01 |
| 30.97 | 29.32 | 1.65 | 1.06 |
| 24.95 | 29.91 | -4.96 | .83 |
| 26.55 | 28.01 | -1.46 | .95 |
| 29.48 | 26.65 | 2.83 | 1.11 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 28.87 | | | | 30.55 | |
| 30.84 | | | | 29.8 | |
| 31.13 | | | | 30.95 | |
| 32.24 | | | | 33.34 | |
| 38.92 | | | | 35.56 | |
| 33.7 | | | | 36.32 | |
| 32.16 | | | | 35.17 | |
| 36.69 | | | | 32.78 | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 28.87 | 30.55 | -1.69 | .94 |
| 30.84 | 29.8 | 1.04 | 1.03 |
| 31.13 | 30.95 | .18 | 1.01 |
| 32.24 | 33.34 | -1.09 | .97 |
| 38.92 | 35.56 | 3.36 | 1.09 |
| 33.7 | 36.32 | -2.62 | .93 |
| 32.16 | 35.17 | -3.01 | .91 |
| 36.69 | 32.78 | 3.9 | 1.12 |

TABELA C. 2 - Campo Grande

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.17 | | 20.39 | 19.44 | 17.45 | 18.39 |
| 15.2 | | 17.43 | 15.57 | 14.03 | 15.12 |
| 15.8 | | 16.18 | 14.1 | 13.29 | 15.13 |
| 15.82 | | 17.27 | 16.51 | 17.57 | 17.83 |
| 22.32 | | 20.05 | 21.4 | 24.36 | 21.62 |
| 25.82 | | 23.02 | 25.27 | 27.78 | 24.89 |
| 24.44 | | 24.43 | 25.85 | 25.83 | 25.72 |
| 22.19 | | 23.35 | 23.44 | 21.55 | 23.03 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 20.17 | 18.92 | 1.25 | 1.07 |
| 15.2 | 15.54 | -.33 | .98 |
| 15.8 | 14.68 | 1.13 | 1.08 |
| 15.82 | 17.29 | -1.47 | .91 |
| 22.32 | 21.86 | .47 | 1.02 |
| 25.82 | 25.24 | .58 | 1.02 |
| 24.44 | 25.46 | -1.01 | .96 |
| 22.19 | 22.84 | -.65 | .97 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 26.6 | | 24.2 | 23.01 | 21.43 | 22.26 |
| 19.11 | | 22.32 | 22.01 | 20.17 | 21.14 |
| 20.47 | | 23.26 | 23.74 | 22.62 | 23.22 |
| 29.82 | | 25.69 | 27.03 | 27.35 | 27.23 |
| 32.14 | | 28.19 | 29.94 | 31.58 | 30.83 |
| 32.85 | | 30.07 | 30.94 | 32.83 | 31.94 |
| 26.35 | | 30.23 | 29.42 | 30.39 | 29.91 |
| 24.92 | | 27.8 | 26.14 | 25.66 | 25.9 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 26.6 | 22.72 | 3.88 | 1.17 |
| 19.11 | 21.41 | -2.3 | .89 |
| 20.47 | 23.21 | -2.74 | .88 |
| 29.82 | 26.83 | 3 | 1.11 |
| 32.14 | 30.13 | 2 | 1.07 |
| 32.85 | 31.44 | 1.4 | 1.04 |
| 26.35 | 29.99 | -3.64 | .88 |
| 24.92 | 26.37 | -1.46 | .94 |

TABELA C. 3 - Curitiba

 VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22.54 | | | 20.67 | | |
| 18.87 | | | 19.53 | | |
| 19.4 | | | 20.37 | | |
| 27.12 | | | 23.34 | | |
| 28.91 | | | 26.69 | | |
| 25.52 | | | 27.83 | | |
| 23.61 | | | 26.1 | | |
| 21.92 | | | 23.13 | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 22.54 | 20.67 | 1.87 | 1.09 |
| 18.87 | 19.53 | -.66 | .97 |
| 19.4 | 20.37 | -.97 | .95 |
| 27.12 | 23.34 | 3.78 | 1.16 |
| 28.91 | 26.69 | 2.22 | 1.08 |
| 25.52 | 27.83 | -2.31 | .92 |
| 23.61 | 26.1 | -2.48 | .9 |
| 21.92 | 23.13 | -1.2 | .95 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.96 | | | 17.82 | | |
| 10.42 | | | 15.42 | | |
| 15.19 | | | 17.28 | | |
| 25.87 | | | 22.16 | | |
| 29.14 | | | 27.21 | | |
| 32.7 | | | 29.61 | | |
| 27.95 | | | 27.96 | | |
| 18.31 | | | 23.08 | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 20.96 | 17.82 | 3.14 | 1.18 |
| 10.42 | 15.42 | -5 | .68 |
| 15.19 | 17.28 | -2.09 | .88 |
| 25.87 | 22.16 | 3.7 | 1.17 |
| 29.14 | 27.21 | 1.93 | 1.07 |
| 32.7 | 29.61 | 3.09 | 1.1 |
| 27.95 | 27.96 | -.01 | 1 |
| 18.31 | 23.08 | -4.77 | .79 |

TABELA C. 4 - Florianópolis

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 25.36 | | 20.66 | | 23.06 | |
| 19.18 | | 20.27 | | 23.11 | |
| 17.76 | | 19.73 | | 20.3 | |
| 22.07 | | 19.23 | | 18.19 | |
| 20.24 | | 19.06 | | 18.01 | |
| 15.65 | | 19.45 | | 17.97 | |
| 14.9 | | 20.16 | | 18.08 | |
| 24.13 | | 20.66 | | 20.19 | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 25.36 | 21.86 | 3.5 | 1.16 |
| 19.18 | 21.69 | -2.51 | .88 |
| 17.76 | 20.02 | -2.26 | .89 |
| 22.07 | 18.71 | 3.35 | 1.18 |
| 20.24 | 18.54 | 1.7 | 1.09 |
| 15.65 | 18.71 | -3.05 | .84 |
| 14.9 | 19.12 | -4.22 | .78 |
| 24.13 | 20.42 | 3.7 | 1.18 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 32.8 | | 25.79 | | 28.89 | |
| 23.34 | | 24.35 | | 26.42 | |
| 18.94 | | 23.81 | | 23.26 | |
| 24.59 | | 23.7 | | 21.25 | |
| 26 | | 24.09 | | 21.57 | |
| 19.51 | | 25.53 | | 24.03 | |
| 25.02 | | 27.18 | | 27.2 | |
| 31.47 | | 27.29 | | 29.21 | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 32.8 | 27.34 | 5.46 | 1.2 |
| 23.34 | 25.39 | -2.04 | .92 |
| 18.94 | 23.54 | -4.6 | .8 |
| 24.59 | 22.48 | 2.11 | 1.09 |
| 26 | 22.83 | 3.17 | 1.14 |
| 19.51 | 24.78 | -5.27 | .79 |
| 25.02 | 27.19 | -2.17 | .82 |
| 31.47 | 28.25 | 3.23 | 1.11 |

TABELA C. 5 - Foz do Iguaçu

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.35 | | | | 23.36 | 19.6 |
| 17.66 | | | | 20.9 | 16.89 |
| 16.7 | | | | 20.3 | 19.66 |
| 25.59 | | | | 23.82 | 25.67 |
| 33.15 | | | | 29.41 | 31.41 |
| 37.75 | | | | 31.88 | 34.11 |
| 26.53 | | | | 29.78 | 32.19 |
| 28.07 | | | | 26.26 | 26.18 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 20.35 | 21.48 | -1.13 | .95 |
| 17.66 | 18.9 | -1.23 | .93 |
| 16.7 | 19.98 | -3.28 | .84 |
| 25.59 | 24.75 | .85 | 1.03 |
| 33.15 | 30.41 | 2.74 | 1.09 |
| 37.75 | 32.99 | 4.75 | 1.14 |
| 26.53 | 30.99 | -4.46 | .86 |
| 28.07 | 26.22 | 1.85 | 1.07 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24.26 | | | | 30.04 | 29.04 |
| 28.49 | | | | 29.09 | 27.67 |
| 31.77 | | | | 31.43 | 30.44 |
| 35.79 | | | | 35.67 | 35.7 |
| 37.42 | | | | 39.35 | 40.37 |
| 43.21 | | | | 40.29 | 41.74 |
| 37.46 | | | | 37.96 | 39.02 |
| 39.23 | | | | 33.71 | 33.76 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 24.26 | 29.54 | -5.28 | .82 |
| 28.49 | 28.38 | .11 | 1 |
| 31.77 | 30.93 | .84 | 1.03 |
| 35.79 | 35.69 | .1 | 1 |
| 37.42 | 39.86 | -2.43 | .84 |
| 43.21 | 41.02 | 2.19 | 1.05 |
| 37.46 | 38.49 | -1.03 | .97 |
| 39.23 | 33.74 | 5.5 | 1.16 |

TABELA C. 6 - Londrina

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24.04 | 25.52 | 25.14 | 25.09 | | |
| 24.8 | 23.36 | 22.69 | 24.81 | | |
| 24.18 | 24.19 | 23.31 | 25.76 | | |
| 28.57 | 26.3 | 26.51 | 28.02 | | |
| 28.59 | 28.47 | 30.42 | 30.26 | | |
| 30.24 | 30.62 | 32.87 | 30.55 | | |
| 30.68 | 31.5 | 32.42 | 28.71 | | |
| 28.64 | 29.39 | 29.22 | 26.45 | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 24.04 | 25.25 | -1.21 | .95 |
| 24.8 | 23.62 | 1.18 | 1.05 |
| 24.18 | 24.42 | -.24 | .99 |
| 28.57 | 26.95 | 1.62 | 1.06 |
| 28.59 | 29.72 | -1.13 | .96 |
| 30.24 | 31.34 | -1.1 | .96 |
| 30.68 | 30.88 | -.19 | .99 |
| 28.64 | 28.35 | .29 | 1.01 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22.99 | 26.43 | 23.33 | 23.35 | | |
| 23.42 | 24.37 | 22.4 | 22.79 | | |
| 26.79 | 26.27 | 26.76 | 27.06 | | |
| 35.92 | 30.89 | 33.07 | 33.48 | | |
| 35.98 | 35.54 | 37.65 | 38.31 | | |
| 34.26 | 37.59 | 38.58 | 38.86 | | |
| 35.23 | 35.85 | 35.32 | 34.81 | | |
| 33.71 | 31.23 | 29.01 | 28.39 | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 22.99 | 24.37 | -1.38 | .94 |
| 23.42 | 23.19 | .24 | 1.01 |
| 26.79 | 26.69 | .1 | 1 |
| 35.92 | 32.48 | 3.44 | 1.11 |
| 35.98 | 37.16 | -1.18 | .97 |
| 34.26 | 38.34 | -4.08 | .89 |
| 35.23 | 35.33 | -.1 | 1 |
| 33.71 | 29.54 | 4.17 | 1.14 |

TABELA C. 7 - Porto Alegre

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 31.93 | 23.74 | 24.22 | | | |
| 23.21 | 22.62 | 23.01 | | | |
| 21.91 | 24.41 | 23.86 | | | |
| 19.64 | 26.85 | 26.15 | | | |
| 28.3 | 28.52 | 28.54 | | | |
| 31.69 | 29.65 | 29.75 | | | |
| 28.49 | 29.57 | 29.07 | | | |
| 40.29 | 27.12 | 26.78 | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 31.93 | 23.98 | 7.95 | 1.33 |
| 23.21 | 22.81 | .39 | 1.02 |
| 21.91 | 24.13 | -2.22 | .91 |
| 19.64 | 26.5 | -6.86 | .74 |
| 28.3 | 28.53 | -.23 | .99 |
| 31.69 | 29.7 | 2 | 1.07 |
| 28.49 | 29.32 | -.83 | .97 |
| 40.29 | 26.95 | 13.34 | 1.5 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 25.92 | 24.34 | 24.73 | | | |
| 22.7 | 23.47 | 23.96 | | | |
| 24.6 | 26.38 | 27.37 | | | |
| 22.52 | 31.26 | 32.2 | | | |
| 37.38 | 35.25 | 35.61 | | | |
| 33.31 | 36.12 | 36.38 | | | |
| 35.19 | 33.37 | 34.07 | | | |
| 32.28 | 28.49 | 29.25 | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 25.92 | 24.54 | 1.38 | 1.06 |
| 22.7 | 23.71 | -1.01 | .96 |
| 24.6 | 26.88 | -2.28 | .92 |
| 22.52 | 31.73 | -9.21 | .71 |
| 37.38 | 35.43 | 1.95 | 1.06 |
| 33.31 | 36.25 | -2.94 | .92 |
| 35.19 | 33.72 | 1.47 | 1.04 |
| 32.28 | 28.87 | 3.41 | 1.12 |

TABELA C. 8 - Santa Maria

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 30.02 | | | 26.01 | | 28.44 |
| 16.69 | | | 22.26 | | 23.76 |
| 19.94 | | | 21.51 | | 21.84 |
| 24.02 | | | 24.85 | | 23.21 |
| 35.38 | | | 30.3 | | 27.07 |
| 30.91 | | | 34.06 | | 31.75 |
| 30.49 | | | 33.91 | | 34.51 |
| 36.25 | | | 30.58 | | 33.14 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 30.02 | 27.23 | 2.79 | 1.1 |
| 16.69 | 23.01 | -6.32 | .73 |
| 19.94 | 21.68 | -1.73 | .92 |
| 24.02 | 24.03 | -.01 | 1 |
| 35.38 | 28.69 | 6.69 | 1.23 |
| 30.91 | 32.9 | -2 | .94 |
| 30.49 | 34.21 | -3.73 | .89 |
| 36.25 | 31.86 | 4.38 | 1.14 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 33.24 | | | 27.98 | | 27.36 |
| 21.7 | | | 24.61 | | 26.02 |
| 21.78 | | | 23.96 | | 26.57 |
| 27.24 | | | 26.26 | | 28.66 |
| 35.03 | | | 30.15 | | 31.06 |
| 26.03 | | | 33.53 | | 32.41 |
| 29.97 | | | 34.4 | | 31.9 |
| 38.94 | | | 32.1 | | 29.81 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 33.24 | 27.67 | 5.56 | 1.2 |
| 21.7 | 25.32 | -3.62 | .86 |
| 21.78 | 25.27 | -3.49 | .86 |
| 27.24 | 27.46 | -.22 | .99 |
| 35.03 | 30.61 | 4.42 | 1.14 |
| 26.03 | 32.97 | -6.94 | .79 |
| 29.97 | 33.15 | -3.18 | .9 |
| 38.94 | 30.96 | 7.98 | 1.26 |

TABELA C. 9 - Santos

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24.47 | | | | | 25.24 |
| 20.2 | | | | | 20.68 |
| 22.22 | | | | | 19.22 |
| 23.93 | | | | | 21.12 |
| 20.26 | | | | | 25.27 |
| 16.85 | | | | | 29.84 |
| 33.75 | | | | | 32.15 |
| 35.24 | | | | | 30.24 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 24.47 | 25.24 | -.77 | .97 |
| 20.2 | 20.68 | -.48 | .98 |
| 22.22 | 19.22 | 3.01 | 1.16 |
| 23.93 | 21.12 | 2.8 | 1.13 |
| 20.26 | 25.27 | -5.01 | .8 |
| 16.85 | 29.84 | -13 | .56 |
| 33.75 | 32.15 | 1.6 | 1.05 |
| 35.24 | 30.24 | 5 | 1.17 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21.63 | | | | | 28.11 |
| 31 | | | | | 26.74 |
| 29.02 | | | | | 27.42 |
| 30.99 | | | | | 29.74 |
| 36.45 | | | | | 32.33 |
| 33.47 | | | | | 33.7 |
| 32.24 | | | | | 33.06 |
| 27.06 | | | | | 30.75 |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 21.63 | 28.11 | -6.48 | .77 |
| 31 | 26.74 | 4.26 | 1.16 |
| 29.02 | 27.42 | 1.6 | 1.06 |
| 30.99 | 29.74 | 1.26 | 1.04 |
| 36.45 | 32.33 | 4.12 | 1.13 |
| 33.47 | 33.7 | -.23 | .99 |
| 32.24 | 33.06 | -.82 | .98 |
| 27.06 | 30.75 | -3.69 | .88 |

TABELA C. 10 - São Paulo

VENTOS EPS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22.77 | 21.31 | 23.43 | | | |
| 18.78 | 21.32 | 23.81 | | | |
| 24.58 | 24.13 | 25.12 | | | |
| 29.87 | 26.88 | 26.46 | | | |
| 27.43 | 27.97 | 27.06 | | | |
| 28.44 | 27.96 | 26.69 | | | |
| 23.27 | 26.86 | 25.55 | | | |
| 24.89 | 24.1 | 24.2 | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 22.77 | 22.37 | .4 | 1.02 |
| 18.78 | 22.56 | -3.79 | .83 |
| 24.58 | 24.62 | -.05 | 1 |
| 29.87 | 26.67 | 3.2 | 1.12 |
| 27.43 | 27.52 | -.08 | 1 |
| 28.44 | 27.32 | 1.11 | 1.04 |
| 23.27 | 26.2 | -2.94 | .89 |
| 24.89 | 24.15 | .74 | 1.03 |

VENTOS TS

| V50 [17] | ELEM 1 | ELEM 2 | ELEM 3 | ELEM 4 | ELEM 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24.69 | 24.63 | 26.46 | | | |
| 23.3 | 24.95 | 25.97 | | | |
| 28.2 | 28.74 | 28.52 | | | |
| 38.82 | 33.67 | 31.85 | | | |
| 35.64 | 36.85 | 34 | | | |
| 36.4 | 36.53 | 34.49 | | | |
| 30.58 | 32.9 | 33.04 | | | |
| 28.41 | 27.97 | 29.71 | | | |

| V50 [17] | V50med | (V50 [17] - V50med) | (V50 [17] / V50med) |
|----------|--------|---------------------|---------------------|
| 24.69 | 25.55 | -.85 | .97 |
| 23.3 | 25.46 | -2.16 | .92 |
| 28.2 | 28.63 | -.43 | .98 |
| 38.82 | 32.76 | 6.06 | 1.18 |
| 35.64 | 35.43 | .21 | 1.01 |
| 36.4 | 35.51 | .88 | 1.02 |
| 30.58 | 32.97 | -2.39 | .93 |
| 28.41 | 28.84 | -.43 | .99 |

TABELA C. 11 - Uruguaiana

BIBLIOGRAFIA

1. RIERA, J.D., VIOLLAZ, A.J. & REIMUNDIN, J.C. Some recent results on probabilistic models of extreme wind speeds. Journal of Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 2 :271-87. 1977.
2. GOMES, L. & VICKERY, B.J. Extreme wind speeds in mixed climates. Journal of Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 2 :331-44. 1978.
3. VIEIRA FILHO, J.M.S. Velocidades máximas do vento no Brasil. Porto Alegre, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975. 62p.
4. PADARATZ, I.J. Velocidade básica do vento no Brasil. Porto Alegre, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 88p.
5. MENEZES Jr., A.A. & SILVA FILHO, J.I. Mapeamento de isóta-cas do Brasil. Relatório Técnico n. 851/82, CEPEL, 1982.
6. MAYNE, J.R. The estimation of extreme winds. Journal of Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 5(2):109-37, Oct. 1979.
7. SIMIÚ, E. Modern developments in wind engineering :Part I. Journal of Engineering Structures, IPC Business Press, 3(4):223-48, Oct. 1981.
8. NANNI, L.F. & RIERA, J.D. Sobre as distribuições de valores extremos. Caderno Técnico CT-83, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 22p.

9. NANNI, L.F. & RIERA, J.D. Estimativa de parâmetros, testes de aderência das distribuições de velocidades extremas do vento e temperaturas associadas e modelos de previsão. Caderno Técnico CT.V-56, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983. 83p.
10. RIERA, J.D. & NANNI, L.F. Pilot study of extreme wind velocities in a mixed climate considering wind orientation. International Conference on Wind Engineering, Aachen, 1987.
11. SIMIÚ, E., HENDRICKSON, E.M., NOLAN, W.A. & SPIEGELMAN, C.H. Multivariate distributions of directional wind speeds. Journal of Structural Engineering, ASCE, 111(6):939-43, 1984.
12. COOK, N.J. Towards better estimation of extreme winds. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 9(3):295-323, 1982.
13. WEN, Y.K. Wind direction and structural reliability : II. Journal of Structural Engineering, ASCE, 110(6):1253-64, 1984.
14. SIMIÚ, E., LEIGH, S.D. & NOLAN W.A. Environmental load direction and reliability bounds. Journal of Structural Engineering, ASCE, 112(5):1199-203, 1986.
15. BLESSMANN, J. O vento na Engenharia Estrutural - Primeira Parte. Caderno de Engenharia CE-10, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 72p.
16. SANTOS, M.L.W. & VIEGAS, F.B. Metodologia para o levantamento e organização de arquivos de dados de ventos extremos e temperaturas no centro-sul do Brasil. Caderno Técnico CT-93, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988, 55p.

17. VIEGAS, F.B. Distribuição de probabilidade de velocidades e pressões dinâmicas extremas do vento, considerando orientação e tipo de tormenta, no centro-sul do Brasil. Porto Alegre, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.
18. ARAUJO, L.C. Memoria sobre o clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, Typhografia do Serviço de Informações do Ministério da Agricultura, 1930. 101p.
19. MACHADO, F.P. Contribuição ao estudo do clima no Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950.
20. DYER, R.C. Rastros de Tornados no Sudoeste do Brasil, Leste do Paraguai e nordeste da Argentina. Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 1986, pp.589-603.
21. GOFF, R.C. "Some observations of thunderstorm-induced low-level wind variations", Journal of Aircraft, 14(5):423 - 427, 1977.
22. ZHU, S. & ETKIN B. Model of the wind field in a downburst. Journal of Aircraft, 22(7):595-601, 1985.
23. SERRA, A. Condições meteorológicas brasileiras. Rio de Janeiro, Universidade do Brasil, RJ, 1951.
24. COOK, N.J. The designer's guide to wind load of building structures, London, Butterwords, 1985. 371p.
25. RIJKOORT, P.J. & WIERINGA, J. Extreme wind speeds by compound Weibull analysis of exposure-corrected data. Journal of Wind Engineering and Ind. Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 13(1-3):93-104, 1983

26. DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Univ. of Toronto Press, 1:19-82, 1968.
27. FUGINO, Y. & ITO M. Statistical estimation of direction-dependent design wind speed. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 13:115-25, 1983.
28. COOK, N.J. Note on directional and seasonal assessment of extreme winds for design, J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 12(3), 1983.
29. DAVENPORT, A.G. The interaction of wind and structures. In: PLATE, E.J., ed. Engineering meteorology. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1982. Cap. 12, p.527-72.
30. INTERNATIONAL ELETROTHECNICAL COMISSION Overhead line tower loadings. Technical Comitte 11: Recommendations for Overhead Lines.
31. NANNI, L.F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Caderno Técnico CT-30/81, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981, revisado 1986.
32. CHANDRA, M. 'et al' Kolmogorov statistics for tests of fit for extreme value and weibull distributions. Journal of the American Statistical Association, 76(375),1981.
33. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Forças devidas ao vento em edificações, Norma NBR-6123, Rio de Janeiro, 1987.
34. COOK, N.J. & PRIOR, M.J. Extreme wind climate of the United Kingdom. International Conference on Wind Engineering, Aachen, 1987.

35. JENSEN, M. & FRANCK, N. Maximum wind velocities in Denmark. International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Univ. of Toronto Press, 1:279-95, 1968.
36. SINCLAIR, R.W. 'et al' Variation of low-level winds during the passing of a thunderstorm gust front. NASA Contractor Report No. CR-2289, 1973.