

VELOCIDADE BSICA DO VENTO NO BRASIL.

Ivo Jos Padaratz

IVO JOSÉ PADARATZ

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO NO BRASIL.

Tese 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 CIÊNCIAS".

Porto Alegre
Estado do Rio Grande do Sul - Brasil

Maio 1977

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

.....
Prof. Jorge D.Riera
Orientador

.....
Prof. José S. Gomes Franco
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Dedicat6ria

a meus pais
a meus irm6os
a minha noiva,

pelo incentivo e apoio dados em todas
as ocasi6es dedico este trabalho.

Agradecimentos

À CAPES pela concessão de uma bolsa de estudos.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, na pessoa do seu coordenador Prof. José S. Gomes Franco.

Ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, pelos ensinamentos ministrados em suas disciplinas.

Ao Serviço Regional de Proteção ao Vão, na pessoa do Capitão Zygmundo Kusiak.

Ao Professor Dr. Jorge Daniel Riera pela orientação geral do trabalho.

Ao Professor Dr. Joaquim Blessmann pelo auxílio na orientação do trabalho.

Aos amigos Eng^o José Antônio C. Fedalto, Eng^o Perci Odebrecht e Eng^o Rubens Odebrecht pela colaboração e incentivo dados.

Aos demais colegas e funcionários do Curso de Pós-Graduação, que direta ou indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho.

SINOPSE

O presente trabalho dá continuidade às pesquisas iniciadas em 1973, pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, para a determinação da velocidade básica do vento no Brasil.

Baseia-se em séries artificiais de velocidades do vento, obtidas através de uma triagem conveniente das séries de velocidades máximas anuais, registradas em 49 estações meteorológicas da Força Aérea Brasileira (FAB).

Admite-se a função de distribuição de probabilidades de Fisher-Tippet II (ou de Frechet), ajustada pelo método da máxima verossimilhança.

Apresentam-se estudos relativos a problemas associados às séries de velocidades, tais como: qualidade dos registros, variabilidade dos estimadores dos parâmetros da distribuição de probabilidades, influência da origem dos ventos, efeito da heterogeneidade da rugosidade superficial e influência do intervalo de tempo empregado no registro das velocidades.

Além disso, estuda-se a influência dos ventos originados em trovoadas, utilizando-se registros disponíveis na estação da FAB de Porto Alegre.

Finalmente, apresenta-se um mapa do território Nacional contendo as isopletas de rajadas correspondentes às velocidades básicas do vento para o período de recorrência de 50 anos.

Os resultados constantes no trabalho serviram de base para a elaboração das recomendações do Projeto da Norma NB-5, relativas às cargas acidentais devidas ao vento nas estruturas.

SYNOPSIS

This thesis gives continuity to a Research Project began in 1973 at the Laboratorio de Aerodinâmica das Construções, Univ. Federal do Rio Grande do Sul, aimed at the determination of basic wind speeds in Brazil.

A Fisher-Tippet II probability distribution function is adjusted by the method of maximum likelihood to wind series recorded at 49 meteorological stations belonging to the Brazilian Air Force (FAB). Several pertinent factors are studied, such as the variability of the estimators, and the influences of storm type, surface roughness, and wind averaging interval. Special attention is focused on the influence of thunderstorm winds, in relation to limited data pertaining to the FAB Porto Alegre Station.

Finally, a map of wind speeds for a 50 years mean recurrence period is developed for the entire Brazilian territory. These results served as a basis for the design wind speeds recommended in the proposed 1977 Brazilian Code for Wind Loading on buildings and structures, NB-5.

Simbologia e Terminologia

- a_m = inverso da dispersão
 C_2 = rugosidade superficial
 C_K = coeficiente de variação
 $f(V)$ = função densidade de probabilidade
 $F_V(V)$ = probabilidade de que a velocidade máxima anual V seja inferior do que um valor fixado
 $K_A^I(\theta)$ = função que leva em conta a rugosidade do terreno próximo a uma estação
 n = número de séries de registros
 \bar{n}_m = frequência média mensal de trovoadas
 \bar{n}_s = frequência média anual de trovoadas
 P_m = probabilidade de que uma velocidade não seja excedida em m anos
 R = período de recorrência
 U = valor modal (ou fator de escala) das velocidades máximas anuais da distribuição de Fisher-Tippet I
 V_G = velocidade gradiente
 V_i = elementos de uma série de velocidades
 V_m = máxima velocidade de rajada durante uma trovoadas
 V_R = velocidade para um período de recorrência R
 Z_0 = altura de referência

-
- β, γ = parâmetros da distribuição de Frechet
 $\hat{\beta}, \hat{\gamma}$ = estimadores dos parâmetros β e γ
 $\hat{\beta}_s, \hat{\beta}_h$ = velocidades características de uma série de rajadas e velocidades horárias respectivamente
 σ_K = desvio padrão da função $K_A^I(\theta)$

ψ = coefic. de correção do parâmetro $\hat{\gamma}$ para levar em conta o efeito da rugosidade superficial

FF = frente fria

FPA = frente polar atlântica

FPP = frente polar pacífica

FQ = frente quente

IT = instabilidades tropicais

mEa = massa equatorial atlântica

mEc = massa equatorial continental

mTa = massa tropical atlântica

mTc = massa tropical continental

ZIC = zona intertropical de convergência

Anticiclone: sistema de ventos que circula ao redor de um centro de alta pressão.

Ciclone : sistema de ventos que circula ao redor de um centro de baixa pressão

Frente : superfície de descontinuidade térmica e barométrica que se forma na linha de choque entre duas massas de ar de temperaturas diferentes.

SUMÁRIO

| | Pág. |
|---|------|
| <u>1. Introdução</u> | 1 |
| <u>2. Descrição do clima do vento</u> | 2 |
| 2.1 Circulação geral da atmosfera | 2 |
| 2.2 Circulação atmosférica no Brasil | 3 |
| 2.3 Principais fontes de ventos superficiais | 9 |
| 2.4 Características de uma trovoadas | 10 |
| <u>3. Descrição dos dados</u> | 12 |
| 3.1 Dados disponíveis | 12 |
| 3.2 Valores utilizados na determinação do clima de ventos extremos | 15 |
| <u>4. Ajuste da distribuição de probabilidades às séries máximas anuais</u> | 22 |
| 4.1 Seleção do modelo | 22 |
| 4.2 Estimação dos parâmetros | 23 |
| <u>5. Problemas associados às séries de velocidades máximas anuais</u> | 26 |
| 5.1 Qualidade dos registros | 26 |
| 5.2 Variabilidade dos estimadores | 46 |
| 5.3 Influência da origem dos ventos | 49 |
| 5.4 Efeito da heterogeneidade da rugosidade superficial | 54 |
| 5.5 Influência do intervalo de tempo utilizado na medição das velocidades | 61 |
| <u>6. Critérios adotados</u> | 65 |
| 6.1 Cálculo do fator de forma único | 65 |
| 6.2 Velocidades básicas de referência | 66 |
| <u>7. Ventos originados em trovoadas</u> | 70 |
| 7.1 Modelo para distribuição das velocidades máximas anuais | 70 |
| 7.2 Avaliação do modelo | 71 |
| 7.3 Comentários | 76 |
| <u>8. Comentários finais</u> | 78 |

| | |
|--|----|
| Apêndice A: Outras fontes de dados | 79 |
| Apêndice B: Estações meteorológicas do Instituto Agrônômico de Campinas | 81 |

| | |
|--------------|----|
| Bibliografia | 86 |
|--------------|----|

TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1.1: Localização e altitude das estações | 13 |
| Tabela 3.1.2: Velocidades máximas anuais (média sobre 30s) | 14 |
| Tabela 3.1.3: Velocidades máximas anuais de rajadas(3s) | 16 |
| Tabela 3.2.1: Séries artificiais: velocidades máximas anuais sobre 3s | 20 |
| Tabela 4.2.1: Estimadores dos parâmetros da distribuição de Frechet (Método da máxima verossimilhança) | 25 |
| Tabela 5.1.1: Estimadores dos parâmetros da distribuição de Frechet (Método dos mínimos quadrados) | 45 |
| Tabela 5.4.1: Efeito da rugosidade superficial (K_A^1) | 55 |
| Tabela 5.4.2: Séries de velocidades máximas anuais para o estudo do efeito da rugosidade superficial | 59 |
| Tabela 5.4.3: Séries artificiais para Belo Horizonte(C_2) | 59 |
| Tabela 5.4.4: Estimadores do parâmetro de forma ($\hat{\gamma}$) para as séries artificiais relativas as estações da Tabela 5.4.2 | 60 |
| Tabela 5.5.1: Estações europeias | 64 |
| Tabela 6.2.1: Coeficiente de correção para calcular velocidades a distintos níveis de probabilidade | 67 |
| Tabela 7.2.1: Ocorrência de trovoadas em Porto Alegre nos meses de janeiro durante o periodo 1966-75 | 72 |
| Tabela 7.2.2: Valores de \bar{n}_m , \bar{V}_m e V_{abs} | 73 |
| Tabela B1 : Séries de velocidades máximas anuais de rajadas de estações do Inst.Agrônômico de Campinas | 82 |
| Tabela B2 : Estações do Instituto Agrônômico de Campinas | 83 |
| Tabela B3 : Valores de $\hat{\gamma}$, $\hat{\beta}$ e V_{50} das séries da Tabela B1 | 83 |

FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 2.2.1 | : Circulação geral no Brasil | 8 |
| Figuras 5.1.1-49 | : Gráficos frequências-rajadas | 28 |
| Figuras 5.2.1-2 | : Gráficos $\bar{\gamma}_0$ -n e $\hat{\gamma}_0$ -frequência | 48 |
| Figuras 5.3.1-2 | : Gráficos $\bar{\gamma}/\hat{\gamma}_A$ - α e $\hat{\beta}/\hat{\beta}_A$ - α | 51 |
| Figura 5.3.3 | : Gráfico V-R | 52 |
| Figura 5.4.1 | : Esquema de uma estação para o estudo do efeito da rugosidade superficial | 56 |
| Figura 5.4.2 | : Curva de uma função $K'_A(\theta)$ para rugosidade superficial variável | 57 |
| Figura 5.4.3 | : Esquema representativo da região próxima a uma estação (aeroportos em geral) | 58 |
| Figura 5.4.4 | : Gráfico $\psi-C_K$ | 61 |
| Figura 6.2.1 | : Velocidade básica do vento V_{50} no Brasil | 69 |
| Figura 7.2.1 | : Gráfico \bar{n}_m -meses do ano | 74 |
| Figura 7.2.2 | : Gráfico \bar{V}_m, V_{abs} -meses do ano | 74 |
| Figura B1 | : Velocidade básica do vento V_{50} para o estado de São Paulo | 84 |
| Figura B2 | : Mapa de velocidade básica do vento V_{50} adotado no projeto de revisão da norma NB-5 | 85 |

1. Introdução

Observando-se o desenvolvimento atual na tecnologia das construções, nota-se um acentuado avanço dos projetos arquitetônicos, como estruturas cada vez mais esbeltas, e o emprego de novos materiais de construção.

A tendência na utilização de aços de alta resistência, do alumínio, do plástico, para elementos estruturais, por exemplo, nos leva à implantação de estruturas com menor peso e maior flexibilidade, conseqüentemente mais sensíveis à ação do vento. Conclui-se daí, a importância do efeito do vento como carga acidental, tanto o efeito estático, em estruturas rígidas, como o dinâmico, em estruturas flexíveis.

Para podermos avaliar o efeito do vento nas construções, bem como elaborar critérios de projeto, torna-se necessário o conhecimento da climatologia do vento, com particular importância das características referentes à sua intensidade, frequência, probabilidade de ocorrência e distribuição de velocidades segundo sua orientação.

Recentemente, muitos estudos relativos à distribuição de velocidades extremas do vento foram realizados, ressaltando-se o trabalho em desenvolvimento no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, iniciado em 1973, com pesquisas realizadas por Vieira Filho!

Propõe-se, neste sentido, determinar com maior grau de confiança possível, quais as velocidades máximas prováveis do vento a que poderão ficar submetidas as estruturas numa determinada região. Isto acarreta uma avaliação mais racional das cargas de projeto devido à ação do vento, elemento importante na engenharia estrutural.

2. Descrição do clima do vento

2.1 Circulação geral da atmosfera

A energia solar incidente na superfície terrestre varia com a latitude, sendo máxima nas regiões tropicais e mínima nos polos. Este aquecimento diferencial ocasiona uma circulação geral da atmosfera, em grande escala. Existem movimen-tos verticais que desempenham papel essencial na atmosfera: quando uma parcela de ar se eleva ou baixa, se expande ou se comprime respectivamente, devido a variação do seu volume, e se esfria ou se aquece pelo processo adiabático.

Entretanto, os movimentos atmosféricos de grande escala são quase todos horizontais.

As observações² mostram que há regiões na Terra nas quais os ventos sopram, predominantemente, de uma direção durante todo o ano; regiões outras em que os ventos predominantes variam com as estações do ano, e outras, ainda, onde os ventos variam dia a dia, não permitindo a um observador definir uma direção predominante dos mesmos. Relacionando com a variabilidade do vento em direção, devemos considerar o fato de que as pressões atmosféricas são também sujeitas a variações. Conseqüentemente, é de supor não haver um plano simples e permanente de distribuição de pressões e ventos. Se, entretanto, tomamos a média mensal de pressões e ventos predominantes, em todo o globo terrestre, podemos verificar que as pressões e ventos se acham intimamente relacionados, e sua distribuição pode ser generalizada em um sistema que divide a terra em umas poucas zonas ou faixas de grandes dimensões.

Distinguem-se três grandes cinturões de vento: 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 Este em altas latitudes, junto aos círculos polares.

Entre os alísios de ambos hemisférios se encontra uma região de calma ou zona intertropical de convergência. Também se localiza outra zona com regiões de calmarias e ventos variáveis entre os alísios e os ventos predominantes de Oeste, próximo às latitudes de 30°.

A frente polar separa os ventos predominantes do Oeste e os ventos polares do Este. Os ciclones tropicais, furacões, nascem próximos da zona intertropical de convergência, e os ciclones ou tempestades extratropicais se formam ao longo de uma frente polar.

2.2 Circulação atmosférica no Brasil

O Brasil, por sua dimensão continental compartilha direta ou indiretamente de todas as massas de ar responsáveis pelas condições climáticas na América do Sul?

As massas de ar originam-se de fenômenos dinâmicos como os centros de pressão, as frentes, os ciclones, os anticiclones móveis e outros. Destas, as de maior importância na circulação atmosférica no Brasil são as seguintes:

1 - Massa Equatorial Atlântica (mEa) - É constituída pelos alísios de NE e E oriundos de alta pressão da região quente e úmida do Atlântico. Apesar de possuir calor e muita umidade nos seus níveis inferiores, a existência nos níveis superiores de uma inversão de temperatura provocada pela subsidência, não permite, em condições normais, instabilidades provocadoras de chuvas.

2 - Massa Tropical Atlântica (mTa) - É formada pelos alísios oriundos do centro de alta pressão do Atlântico Sul; como a anterior, a subsidência superior empresta-lhe caráter estável.

3 - Massa Tropical Continental (mTc) - Esta massa adquire importância principalmente durante o verão, oriunda da dissolução na Frente Polar Pacífica, cujos ciclones se movem para sudeste desaparecendo depois de transpor os Andes, onde sofrem aquecimento e ressecamento pela perda de altitude. Esse fato, conjugado à forte radiação do solstício de verão, deve

contribuir para a elevada temperatura e baixa umidade dessa massa, cuja região de origem é a depressão térmica do Chaco onde é responsável por tempo quente e seco.

4 - Massa Equatorial Continental (mEc) - É originada dos alísios do centro de alta pressão dos Açores os quais fluem de NE e E para o centro de baixa pressão do continente, vindo a constituir em terra sobre a Amazônia, uma massa onde dominam as calmas e acentuada ascensão que, dada a ausência de subsidência, empresta-lhe um caráter de instabilidade. Por se tratar de massa formada de ventos oceânicos e sujeita à freqüente condensação e instabilidade, produz precipitações abundantes.

5 - Massas Polares - Sua fonte é a região polar de superfície gelada, constituída pelo continente antártico e seu limite é a isoterma de 0°C na superfície do mar. De sua superfície anticiclônica divergem ventos que se dirigem para a zona de baixa pressão subpolar. Daí partem os anticiclones subpolares que periodicamente invadem o continente sul-americano com ventos do quadrante sul. Esses anticiclones quase não possuem subsidência, o que permite a distribuição em altitude, do calor e da umidade colhidos na superfície quente do mar, aumentados à proporção que a massa caminha para trópico. Em decorrência de sua temperatura baixa, chuvas mais ou menos abundantes assinalam sua passagem.

Todo esse sistema de pressões e de massas de ar se fortalece ou enfraquece e desloca-se segundo os paralelos e meridianos terrestres acompanhando o movimento aparente do Sol no decorrer do ano.

No verão (janeiro) em virtude do maior aquecimento do continente em relação ao mar, acham-se enfraquecidos os centros de alta pressão do Atlântico e da Antártica. Conseqüentemente a zona de baixa pressão em torno do polo, de onde partem as Frentes Polares, está ao Sul de 60° Lat. Sul, e as massas Equatorial Atlântica (Ea) e Tropical Atlântica (Ta), principalmente esta, tangenciam o litoral. A depressão térmica continental (Baixa do Chaco) apresenta pressões muito baixas. O centro de pressão dos Açores, fortalecido pelas temperaturas bai-

xas do inverno boreal, emite fluxo mais intenso de alísios de NE que são aspirados para o interior do continente sul-americano, o que fortalece a mEc, a qual se estende por quase todo o território brasileiro sem, contudo, alcançar a região Nordeste, que permanece sob o domínio dos alísios da mEa.

No inverno (julho) a inexistência do centro de baixa pressão do Chaco permite ao anticiclone do Atlântico (nesta época, com pressão máxima) avançar sobre o continente. O fluxo de alísios de NE diminui de intensidade em virtude do enfraquecimento do centro de pressão dos Açores; conseqüentemente a mEc recua para NW, ficando limitada à Amazônia ocidental. O anticiclone frio da Antártica tem suas pressões aumentadas, enquanto a zona de baixa pressão em torno do polo alcança sua posição média a 50°Lat.Sul.

Com exceção da zona equatorial a circulação na primavera (setembro-outubro) e no outono (março-abril) é muito semelhante, e apresenta um aspecto intermediário entre as de verão (janeiro) e inverno (julho).

Na zona equatorial, em setembro-outubro, além de se encontrar atenuado o fluxo de alísios de NE do hemisfério norte, a faixa de calmas equatoriais alcança sua posição mais setentrional sobre o hemisfério norte, enquanto que em março-abril os alísios de NE são intensificados e a faixa de calmas se encontra na posição mais meridional sobre o hemisfério sul. Daí se conclui que nas latitudes mais elevadas as maiores diferenciações da circulação atmosférica se dão nos solstícios, enquanto na zona equatorial aquelas ocorrem nos equinócios.

O conhecimento destes aspectos, embora seja fundamental para a compreensão do estado do tempo, não é o bastante. Periodicamente a circulação geral é perturbada pelo aparecimento de frentes, ciclones, anticiclones móveis e outros fenômenos que são, aliás, necessários à manutenção da mesma.

Na linha de choque entre duas massas de ar de temperaturas diferentes forma-se uma superfície de descontinuidade térmica e barométrica denominada Frente. Uma frente ao longo

da qual o ar frio substitui o ar quente chama-se Frente Fria (FF); e aquela ao longo da qual o ar frio é substituído por ar quente chama-se Frente Quente (FQ). Quando o contraste das massas acarreta uma intensificação das frentes, diz-se que estão em Frontogênese (FG); quando ao contrário elas se encontram em dissolução, chama-se Frontólise (FL).

As frentes frias do hemisfério sul geralmente se estendem na direção NW-SE. Ao longo delas formam-se ciclones que se deslocam segundo a mesma direção, no seio dos quais existem acentuada mudança do vento, nuvens baixas e escuras, chuva forte, visibilidade reduzida, forte turbulência e possibilidade de formação de granizo e trovoadas. São seguidas por chuvas finas e contínuas, para finalmente, sob o domínio do anticiclone polar, o céu se tornar limpo com declínio acentuado da temperatura.

Os anticiclones móveis que deixam o continente antártico penetram no oceano onde se aquecem e umedecem rapidamente, tornando-se instáveis. Com esta estrutura invadem o continente sul-americano entre dois centros de alta pressão, o do Pacífico e o do Atlântico, segundo duas trajetórias diferentes condicionadas pela orografia: a primeira, a oeste dos Andes, e a segunda, sob a forma de grandes anticiclones, a leste dessa cordilheira.

No verão, é muito comum a primeira trajetória, pois com o enfraquecimento do anticiclone do Pacífico o ar polar encontra menor resistência em sua marcha para o norte e a Frente Polar Pacífica (FPP) não tem, geralmente, energia suficiente para transpor a cordilheira. Já no inverno, com o anticiclone do Pacífico avançado para o litoral e a Frente Polar Pacífica (FPP) mais ativa, ela percorre de preferência as zonas a leste da cordilheira, depois de transpô-la em sua extremidade meridional.

Nesta trajetória a descontinuidade oriunda do encontro entre os ventos frios da massa polar e os ventos quentes das massas tropicais constitui a Frente Polar Atlântica (FPA) que nos interessa diretamente. Condicionada pela orografia,

essa frente pode-se dividir em dois ramos que seguem caminhos distintos: o da depressão do Chaco, a oeste do Maciço Brasileiro, e o do oceano Atlântico, a leste desse maciço.

Pelo litoral, no inverno, em virtude do forte gradiente térmico entre o polo e o equador é da maior pressão das massas polares, a Frente Polar Atlântica (FPA) atinge mais facilmente a latitude de 10° Sul, podendo, por vezes alcançar mais baixas (Recife). No verão, em virtude do forte aquecimento do continente, a frente toma, comumente, uma orientação NE-SW ao longo do litoral, raramente ultrapassando o trópico.

Pelo interior, durante o inverno, quando as condições de frontogênese são mais ativas, os avanços tornam-se mais vigorosos, atingindo comumente o norte de Mato Grosso, atingindo não raro, o Alto Tapajós, provocando, a chamada "frijagem". Esta consiste numa invasão, durante o inverno, de vigoroso anticiclone frio de origem polar cuja trajetória ultrapassa, algumas vezes, o equador. O fenômeno, conforme diz A. Serra, apresenta-se notável, menos pela raridade do que pela extraordinária queda de temperatura que acarreta, muito sentida pelos moradores habituados ao calor da região.

Necessário se torna dizer que durante o verão a trajetória continental da Frente Polar Atlântica (FPA) é pouco freqüente. Isto porque a intensa radiação nesta época aprofunda a Baixa do Chaco e esta por sua vez impede ou dificulta o suprimento de ar polar no interior do Brasil tropical, onde a frente fria (FF) recua como frente quente (FQ) ou entra em dissolução, enquanto o ramo marítimo da Frente Polar Atlântica (FPA) prossegue no seu percurso para nordeste até o paralelo de 22° aproximadamente. Aí estaciona em média um a dois dias, para em seguida se dissolver ou recuar como frente quente, provocando chuvas persistentes no sudeste do Brasil, até desaparecer no oceano. Enquanto isso, o anticiclone do Atlântico volta a dominar a costa e caminha para oeste à medida que a Baixa do Chaco se restabelece, retornando toda circulação ao quadro normal.

Antes contudo da circulação se ter normalizado, o ar

CIRCULAÇÃO GERAL

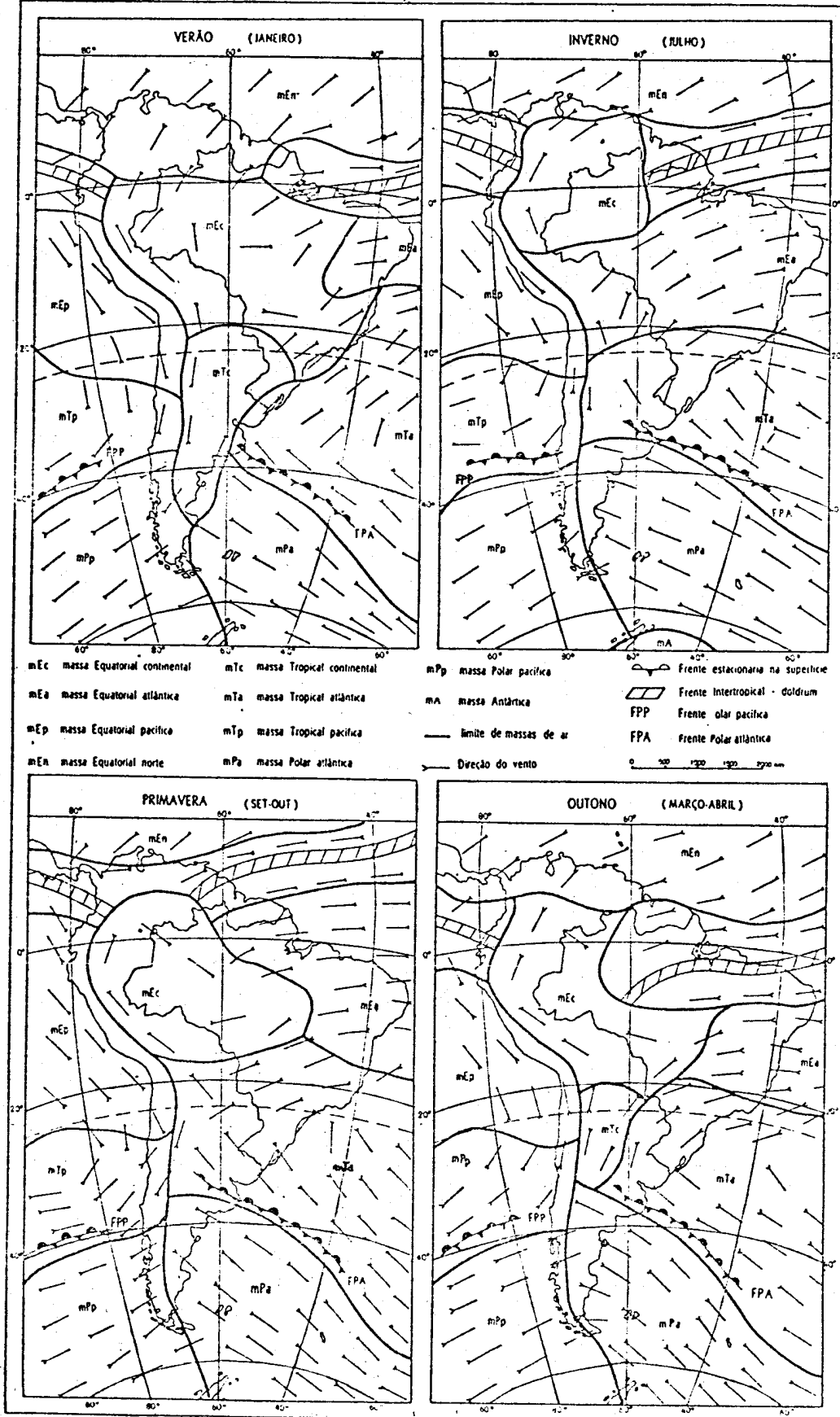


Figura 2.2.1

frio que estivera estacionado no trópico, é injetado no centro de alta pressão do Atlântico reforçando os alísios. Estes, renovados, avançam para a costa do Nordeste sob a forma de perturbações cognominadas ondas de leste (Easterly Waves).

Outra descontinuidade se dá na região de convergência dos alísios formando a zona intertropical de convergência (ZIC). A ascensão conjunta do ar na mesma produz uma área de calmas, aguaceiros e trovoadas.

A posição dessa convergência varia com o movimento geral do Sol na eclíptica. Em virtude da sua grande superfície continental o hemisfério norte é em média mais quente que o do sul. Por esse motivo a ZIC se encontra na maior parte do ano sobre o primeiro. Como a diferenciação térmica entre os dois hemisférios alcança seu maior contraste nas épocas equinociais, a ZIC atinge sua posição mais setentrional em setembro-outubro e mais meridional em março-abril.

Outros fenômenos da circulação atmosférica sobre o Brasil que merecem apreciação são as chamadas Instabilidades Tropicais (IT). Num quadro de isóbaras (linhas que unem pontos de igual pressão atmosférica), a IT se apresenta como um vale de baixa pressão separando dois maciços de alta pressão (dorsais). Nas IT o ar em convergência pode acarretar chuvas. Tais fenômenos são comuns no Brasil, separando dorsais da mTa e da mEc, notadamente no verão e início de outono, tanto mais comum ao longo do litoral do Recôncavo Baiano ao Espírito Santo, entre os anticiclones do Atlântico e a mEc. Sua origem está ligada principalmente ao movimento ondulatorio que se verifica na frontogênese (FG) da Frente Polar Atlântica (FPA), onde a sucção de ar quente do quadrante norte em contacto com o ar frio polar dá origem a ciclones a partir dos quais surgem IT, que se propagam a 1000 quilômetros na frente da FF anunciando com nuvens, e, geralmente, chuvas (pré frontais) a chegada da frente fria.

2.3 Principais fontes de ventos superficiais

Apresentou-se até agora aspectos relacionados com a circulação geral da atmosfera. No presente trabalho porém,

são utilizados dados coletados em estações meteorológicas, as quais registram velocidades de ventos atmosféricos originados em fontes naturais tais como:

- a) Tormentas extra-tropicais: representadas em nosso caso pelas tormentas EPS ("extended mature pressure systems"), caracterizadas pela estabilidade (vertical) da atmosfera. Elas se formam geralmente ao longo de frentes polares decorrentes do encontro de massas polares com outras massas de temperatura bastante diferentes. Como o Brasil compreende a região do equador e o cinturão de altas pressões, registra-se frequentemente a ocorrência de tormentas EPS, principalmente na região sul.
- b) Tormentas tropicais ou ciclones ("tropical storms"): se originam em regiões tropicais dos oceanos, mais precisamente ao norte da zona das calmarias ou de convergência intertropical. São tormentas de movimento rotativo, que recebem a denominação de furacões quando os ventos periféricos excedem os 100 km/h.
De ocorrência rara no Brasil, geralmente se deslocam para o Hemisfério Norte.
- c) Tormentas elétricas ou trovoadas ("thunderstorms"): caracterizadas por uma instabilidade (vertical) da atmosfera (ver item 2.4).
- d) Tornados: são vórtices de 10 a 200m de diâmetro em sua parte inferior, com gradiente de pressão acentuado, e que se estende desde uma nuvem cumulonimbus (Cb) até o solo. No centro dos tornados existe uma importante depressão, que poderia classificá-los como ciclones com características peculiares.
Como no território brasileiro é comum a ocorrência de trovoadas, há possibilidade de haver formações de tornados durante as mesmas. Ainda recentemente registraram-se possíveis tornados no estado do Rio Grande do Sul.
- e) Outros tipos, especialmente ventos originados devido a condições locais ou topografia, como fohen, bora, etc.
No Rio Grande do Sul, o vento "Minuano" é um exemplo característico.

2.4 Características de uma trovoada

De um modo geral, uma trovoada é uma manifestação violenta de elementos meteorológicos associados a uma nuvem cúmulo-nimbus. O trovão ocorre nos ciclones tropicais, nas tormentas ciclônicas em geral e nos tornados, mas uma trovoada típica, distingue-se dos fenômenos anteriores onde o trovão ocorre incidentalmente; é uma tormenta local de curta duração e de origem convectiva (movimento ascendente do ar) que se desenvolve de uma nuvem cúmulo-nimbus, geralmente, acompanhada por forte chuva e/ou granizo. São estas últimas que particularmente interessam ao presente estudo.

O aquecimento do ar próximo à superfície, como o que ocorre sobre áreas continentais, no verão, pode provocar uma grande diferença de temperatura entre o ar das camadas inferiores e superiores. Se o ar for úmido e condicionalmente instável em altitude, a atmosfera apresentará condições de instabilidade e poderá favorecer o desenvolvimento de uma trovoada típica.

No momento em que a água acumulada exceder a quantidade que pode se manter em equilíbrio, a mesma começa a precipitar, transformando por fricção a corrente ascendente do ar em uma corrente descendente. A chegada desta ao solo é geralmente brusca, caracterizada por violentas rajadas.

Durante o processo de congelamento da água, surge uma diferença de potencial elétrico entre a nuvem e o solo ou entre nuvens, o qual resulta em descargas elétricas. O rápido aquecimento e expansão do ar ocasiona o trovão.

3. Descrição de dados

3.1 Dados disponíveis

As principais fontes pesquisadas para a obtenção de registros de velocidades foram as estações da Força Aérea Brasileira (FAB) e do Ministério da Agricultura. As primeiras, localizadas em aeroportos, com vários regimes de funcionamento (14, 18, 24 horas por dia), apresentam registros de máximas velocidades médias medidas sobre 30 segundos e velocidades de rajadas. Encontram-se nelas instaladas anemômetros do tipo "Aerovane", marca Bendix-Friez, onde a velocidade do vento se avalia através da corrente elétrica gerada pela rotação da hélice. As medidas das velocidades são feitas de hora em hora, ou quando se observa uma variação acentuada na leitura dos anemômetros, ou ainda quando da aproximação de uma nuvem cumulo-nimbus(Cb).

As estações do Ministério da Agricultura têm registradas máximas médias mensais, utilizando anemômetros do tipo "4 conchas", marca Robinson.

Para o estudo climatológico dos ventos extremos, utilizaram-se apenas os dados coletados nas estações da FAB. As demais tiveram finalidades complementares, principalmente em regiões do território brasileiro que apresentam baixa densidade de estações (como a Amazônia), carentes portanto, de elementos para as análises estatísticas. A tabela 3.1.1 contém a relação das estações utilizadas no estudo, com suas respectivas coordenadas geográficas.

Vieira Filho¹, realizou o levantamento dos registros relativos às estações citadas, que aqui se encontram reproduzidos nas tabelas 3.1.2-3.

Outras fontes de dados, que futuramente poderão ser empregadas, encontram-se relacionadas no apêndice A.

TABELA 3.1.1
Localização e altitude das Estações

| Nº | ESTAÇÃO | LATITUDE | LONGITUDE | Alt.(m) | Funcion. |
|----|----------------------|----------|-----------|---------|----------|
| 1 | AFONSOS | 22º52'S | 43º22'W | 31 | H14 |
| 2 | ANÁPOLIS | 16º22'S | 48º57'W | 1097 | H14 |
| 3 | AMAPÁ | 02º04'N | 50º32'W | 10 | H14 |
| 4 | BELEM | 01º23'S | 48º29'W | 16 | H24 |
| 5 | B.HORIZONTE | 19º51'S | 43º57'W | 789 | H24 |
| 6 | BRASÍLIA | 15º52'S | 47º55'W | 1061 | H24 |
| 7 | BAGE | 31º23'S | 54º07'W | 180 | H14 |
| 8 | BOA VISTA | 02º50'N | 60º42'W | 140 | H14 |
| 9 | CARAVELAS | 17º38'S | 39º15'W | 4 | H24 |
| 10 | CACHIMBO | 09º22'S | 54º54'W | 432 | H14 |
| 11 | CUIABÁ | 15º39'S | 56º06'W | 182 | H14 |
| 12 | CAMPINAS | 23º00'S | 47º08'W | 648 | H24 |
| 13 | CURITIBA | 25º31'S | 49º11'W | 910 | H24 |
| 14 | C. GRANDE | 20º28'S | 54º40'W | 552 | H24 |
| 15 | CAROLINA | 07º20'S | 47º26'W | 181 | H14 |
| 16 | CUMBICA | 23º26'S | 46º28'W | 763 | H24 |
| 17 | FORTALEZA | 03º47'S | 38º32'W | 25 | H24 |
| 18 | FLORIANÓPOLIS | 27º40'S | 48º33'W | 5 | H24 |
| 19 | F. DO IGUAÇU | 25º31'S | 54º35'W | 180 | H14 |
| 20 | F. DE NORONHA | 03º51'S | 32º25'W | 45 | H24 |
| 21 | GOIANIA | 16º38'S | 49º13'W | 747 | H24 |
| 22 | JACAREACANGA | 06º16'S | 57º44'W | 110 | H14 |
| 23 | LONDRINA | 23º20'S | 51º08'W | 570 | H14 |
| 24 | LAPA | 13º16'S | 43º25'W | 439 | H14 |
| 25 | MANAUS | 03º09'S | 59º59'W | 84 | H24 |
| 26 | MACEIÓ | 09º31'S | 35º47'W | 115 | H24 |
| 27 | NATAL | 05º55'S | 35º15'W | 49 | H24 |
| 28 | PONTA PORÁ | 22º33'S | 55º42'W | 660 | H14 |
| 29 | PARNAÍBA | 02º54'S | 41º45'W | 5 | H24 |
| 30 | PETROLINA | 09º24'S | 40º30'W | 376 | H14 |
| 31 | PIRASSUNUNGA | 21º59'S | 47º21'W | 598 | H18 |
| 32 | PORTO ALEGRE | 30º00'S | 51º10'W | 4 | H24 |
| 33 | PORTO NACIONAL | 10º42'S | 48º25'W | 290 | H14 |
| 34 | PORTO VELHO | 08º46'S | 63º54'W | 125 | H14 |
| 35 | RECIFE | 08º08'S | 34º55'W | 11 | H24 |
| 36 | RIO BRANCO | 09º58'S | 67º47'W | 136 | H14 |
| 37 | RIO DE JANEIRO(S.D.) | 22º54'S | 43º10'W | 5 | H24 |
| 38 | SANTARÉM | 02º26'S | 54º43'W | 12 | H14 |
| 39 | SÃO LUIZ | 02º35'S | 44º14'W | 54 | H24 |
| 40 | SALVADOR | 12º54'S | 38º20'W | 13 | H24 |
| 41 | SANTA CRUZ | 22º56'S | 43º43'W | 4 | H24 |
| 42 | SÃO PAULO (CONG.) | 23º37'S | 46º39'W | 802 | H24 |
| 43 | SANTOS | 23º56'S | 46º18'W | 3 | H18 |
| 44 | SANTA MARIA | 29º43'S | 53º42'W | 85 | H14 |
| 45 | TERESINA | 05º05'S | 42º49'W | 69 | H14 |
| 46 | UBERLÂNDIA | 18º55'S | 48º14'W | 923 | H24 |
| 47 | URUGUAIANA | 29º47'S | 57º02'W | 74 | H14 |
| 48 | VITÓRIA | 20º16'S | 40º17'W | 4 | H24 |
| 49 | VILHENA | 12º44'S | 60º08'W | 652 | H14 |

TABELA 3.1.2

MÁXIMA VELOCIDADE MÉDIA REGISTRADA EM Km/h (média sobre 30 segundos)

| ESTACÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | ANOS DE REGISTRO |
|--------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------------------|
| AFONSOS | 1 | | | | | | | | | | | | 50 | 44 | 50 | 60 | 70 | 60 | 86 | 76 | 50 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 14 |
| ANAPOLIS | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| AMAPA | 3 | 50 | 64 | 54 | 50 | 70 | 56 | 44 | 48 | 54 | 48 | 50 | 48 | 50 | 24 | 60 | 50 | 40 | 40 | 44 | 36 | 36 | 40 | 40 | 50 | 48 | 25 |
| BELEM | 4 | 50 | 90 | 64 | 60 | 60 | 100 | 64 | 56 | 60 | 70 | 50 | 80 | 60 | 50 | 44 | 50 | 50 | 40 | 50 | 48 | 60 | 60 | 60 | 50 | 48 | 25 |
| B. HORIZONTE | 5 | 50 | 44 | 40 | 60 | 44 | 50 | 60 | 44 | 40 | 44 | 60 | 44 | 50 | 50 | 50 | 36 | 40 | 40 | 60 | 36 | 40 | 52 | 60 | 50 | 40 | 25 |
| BRASILIA | 6 | | | | | | | | | | | 60 | 40 | 60 | 60 | 90 | 80 | 36 | 80 | 52 | 52 | 40 | 60 | 70 | 60 | 80 | 15 |
| BAGE | 7 | | | | | | | | | | | | 72 | 80 | 64 | 50 | 44 | 80 | 60 | 60 | 60 | 70 | 50 | 60 | 60 | 60 | 14 |
| BOA VISTA | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | 64 | 56 | 64 | 72 | 70 | 60 | 76 | 52 | 9 |
| CARAVELAS | 9 | 50 | 50 | 42 | 40 | 56 | 44 | 56 | 70 | 88 | 40 | 40 | 46 | 42 | 40 | 40 | 40 | 48 | 42 | 44 | 40 | 40 | 60 | 40 | 50 | 52 | 25 |
| CACHIMBO | 10 | | | | | | | | | 40 | 70 | 70 | 90 | 60 | 80 | 60 | 44 | 34 | 44 | 60 | 80 | 16 | 48 | 44 | 60 | 48 | 17 |
| CUIABA | 11 | | | | | | | | | | | | | 52 | 40 | 50 | 60 | 56 | 44 | 60 | 60 | 60 | 50 | 72 | 80 | 56 | 12 |
| CAMPINAS | 12 | 90 | 70 | 64 | 80 | 70 | 110 | 90 | 76 | 100 | 80 | 90 | 90 | 80 | 90 | 90 | 80 | 70 | 72 | 60 | 96 | 40 | 92 | 76 | 64 | 60 | 25 |
| CURITIBA | 13 | 80 | 104 | 100 | 92 | 84 | 92 | 76 | 60 | 60 | 108 | 60 | 70 | 50 | 60 | 70 | 60 | 60 | 120 | 80 | 50 | 56 | 80 | 60 | 50 | 76 | 25 |
| C.GRANDE | 14 | 60 | 80 | 110 | 100 | 120 | 84 | 60 | 80 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 80 | 50 | 52 | 80 | 68 | 56 | 60 | 120 | 80 | 100 | 110 | 80 | 25 |
| CAROLINA | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 36 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 8 |
| CUMBUCA | 16 | 56 | 70 | 74 | 60 | 100 | 80 | 60 | 76 | 70 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 70 | 46 | 60 | 88 | 100 | 84 | 64 | 64 | 80 | 60 | 72 | 25 |
| FORTALEZA | 17 | 44 | 52 | 44 | 52 | 44 | 40 | 44 | 44 | 48 | 36 | 50 | 36 | 40 | 52 | 50 | 50 | 60 | 60 | 60 | 50 | 50 | 60 | 50 | 52 | 50 | 25 |
| FLORIANOP. | 18 | 92 | 76 | 100 | 90 | 140 | 104 | 80 | 60 | 72 | 64 | 54 | 54 | 60 | 50 | 80 | 62 | 90 | 70 | 70 | 80 | 84 | 100 | 90 | 76 | 80 | 25 |
| F.DO IGUAÇU | 19 | | | | | | | | | | | 60 | 60 | 44 | 60 | 50 | 46 | 60 | 46 | 60 | 40 | 28 | 60 | 50 | 40 | 60 | 22 |
| F.DE NORONHA | 20 | 38 | 40 | 32 | 32 | 40 | 38 | 34 | 40 | 46 | 50 | 38 | 36 | 60 | 40 | 40 | 40 | 40 | 44 | 36 | 40 | 54 | 60 | 56 | 60 | 60 | 25 |
| GOIANIA | 21 | | | | | | | | | | | 40 | 60 | 44 | 50 | 70 | 40 | 60 | 50 | 70 | 60 | 72 | 76 | 80 | 60 | 44 | 23 |
| JACAREACANGA | 22 | | | | | | | | | 24 | 24 | 48 | 30 | 36 | 40 | 44 | 50 | 32 | 36 | 48 | 100 | 12 | 34 | 40 | 40 | 36 | 17 |
| LONDRINA | 23 | | | | | | | | | | | | | 90 | 80 | 60 | 76 | 50 | 60 | 60 | 50 | 52 | 56 | 44 | 48 | 50 | 13 |
| LAPA | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 48 | 50 | 80 | 56 | 40 | 40 | 44 | 8 | |
| MANAUS | 25 | | | | | | | | | 60 | 52 | 44 | 50 | 56 | 44 | 50 | 60 | 60 | 50 | 44 | 60 | 60 | 100 | 100 | 80 | 56 | 17 |
| MACEIO | 26 | 56 | 52 | 50 | 48 | 50 | 50 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 36 | 32 | 44 | 40 | 40 | 36 | 36 | 40 | 46 | 60 | 46 | 40 | 38 | 25 |

TABELA 3.1.2 (continuação)

| ESTACÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | ANOS DE REGISTRO |
|---------------|----|------|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|------------------|
| NATAL | 27 | 48 | 40 | 44 | 40 | 50 | 40 | 36 | 40 | 40 | 40 | 70 | 50 | 44 | 40 | 56 | 40 | 34 | 44 | 44 | 44 | 50 | 40 | 40 | 40 | 44 | 25 |
| PONTA FORA | 28 | | | | | | | 64 | 60 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 60 | 60 | 50 | 46 | 54 | 44 | 56 | 60 | 48 | 64 | 52 | 18 |
| PARNAIBA | 29 | | | | | | | | | | | 70 | 64 | 60 | 70 | 68 | 60 | 60 | 68 | 76 | 60 | 60 | 44 | 40 | 40 | 40 | 14 |
| PEIROLINA | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | 40 | 40 | 40 | 32 | 32 | 32 | 32 | 52 | | 8 |
| PIRASSUNGA | 31 | | | | | | | | | | | 64 | 100 | 50 | 100 | 70 | 64 | 60 | 72 | 50 | 64 | 64 | 56 | 50 | 44 | 60 | 15 |
| PORTO ALEGRE | 32 | 88 | 90 | 92 | 70 | 66 | 64 | 76 | 80 | 64 | 80 | 80 | 60 | 50 | 100 | 70 | 60 | 70 | 44 | 80 | 98 | 68 | 60 | 56 | 80 | 60 | 25 |
| P.NACIONAL | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 40 | 46 | 40 | 40 | 9 |
| PORTO VELHO | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | 50 | 50 | 60 | 40 | 40 | 40 | 6 |
| RECIFE | 35 | 40 | 40 | 46 | 44 | 50 | 44 | 44 | 52 | 120 | 50 | 40 | 44 | 44 | 44 | 40 | 50 | 40 | 40 | 36 | 40 | 40 | 52 | 56 | 60 | 60 | 25 |
| RIO BRANCO | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 40 | 52 | 82 | | 4 |
| R.DE JANEIRO | 37 | 80 | 50 | 38 | 80 | 44 | 50 | 60 | 76 | 50 | 50 | 80 | 60 | 64 | 64 | 60 | 80 | 60 | 60 | 40 | 60 | 44 | 60 | 60 | 40 | 40 | 25 |
| SANTARÉM | 38 | | | | | 50 | 38 | 40 | 40 | 40 | 32 | 36 | 40 | 40 | 60 | 50 | 36 | 40 | 60 | 50 | 44 | 32 | 60 | 40 | 48 | 40 | 21 |
| SAO LUIZ | 39 | 32 | 60 | 52 | 44 | 50 | 36 | 60 | 60 | 32 | 36 | 32 | 50 | 50 | 60 | 44 | 50 | 60 | 50 | 50 | 52 | 44 | 52 | 56 | 60 | 44 | 25 |
| SALVADOR | 40 | 64 | 44 | 56 | 50 | 54 | 60 | 56 | 60 | 48 | 50 | 64 | 50 | 54 | 46 | 60 | 44 | 44 | 44 | 70 | 44 | 50 | 43 | 56 | 50 | 52 | 25 |
| SANTA CRUZ | 41 | | | | | | 80 | 92 | 100 | 64 | 80 | 60 | 80 | 80 | 66 | 80 | 100 | 70 | 80 | 64 | 120 | 120 | 70 | 80 | 70 | 60 | 20 |
| S.PAULO(CONG) | 42 | | | | | | 76 | 70 | 86 | 60 | 60 | 50 | 50 | 60 | 50 | 46 | 50 | 60 | 66 | 60 | 66 | 80 | 60 | 60 | 40 | 48 | 20 |
| SANTOS | 43 | 40 | 64 | 44 | 80 | 50 | 50 | 60 | 72 | 40 | 68 | 40 | 60 | 50 | 60 | 40 | 60 | 30 | 50 | 36 | 50 | 70 | 80 | 60 | 40 | 60 | 25 |
| SANTA MARIA | 44 | | | | 44 | 56 | 74 | 60 | 60 | 60 | 90 | 36 | 54 | 98 | 60 | 92 | 70 | 44 | 44 | 60 | 46 | 70 | 48 | 80 | 70 | 50 | 22 |
| TERESINA | 45 | | | | | | 52 | 50 | 44 | 50 | 60 | 30 | 30 | 32 | 30 | 30 | 40 | 28 | 30 | 46 | 40 | 40 | 40 | 40 | 80 | 36 | 20 |
| UBERLANDIA | 46 | | | | | | | | | | 38 | 54 | 40 | 36 | 30 | 34 | 32 | 36 | 32 | 44 | 40 | 44 | 48 | 60 | 40 | 40 | 16 |
| URUGUAIANA | 47 | 50 | 120 | 60 | 80 | 86 | 68 | 64 | 102 | 108 | 70 | 50 | 42 | 80 | 70 | 60 | 50 | 80 | 44 | 44 | 104 | 50 | 110 | 80 | 60 | 70 | 25 |
| VITORIA | 48 | 70 | 50 | 50 | 54 | 60 | 80 | 54 | 60 | 64 | 60 | 60 | 64 | 60 | 70 | 76 | 70 | 60 | 64 | 50 | 44 | 54 | 76 | 64 | 70 | 25 | |
| VILHENA | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | 44 | 80 | 60 | 40 | 40 | 46 | 44 | 8 |

TABELA 3.1.3

MAXIMA VELOCIDADE MEDIA REGISTRADA EM Km/h (média sobre 3s, Rajadas)

| ESTAÇÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 |
|--------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| AFONSOS | 1 | | | | | | | | | | | 120 | 80 | 60 | 80 | 60 | 140 | 80 | 160 | 90 | 80 | 100 | 70 | 90 | 80 | 62 |
| ANAPOLIS | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 64 |
| ANAPA | 3 | 60 | 64 | 50 | 44 | 80 | 70 | 80 | | 44 | 76 | 60 | | | | | | | | 44 | | 44 | | | 44 | |
| BELÉM | 4 | 50 | 80 | 68 | 70 | 90 | 80 | 100 | | | 50 | 50 | | | 70 | | 40 | | | | | | | | | |
| B.HORIZONTE | 5 | 60 | | 60 | 40 | 44 | | 44 | | 50 | | 50 | 60 | 56 | 70 | 70 | 70 | 70 | 50 | 80 | 44 | 60 | 80 | 80 | | 60 |
| BRASILIA | 6 | | | | | | | | | | | 70 | 100 | 78 | 80 | 90 | 90 | 70 | 72 | | | 48 | 48 | | | |
| BAGÉ | 7 | | | | | | | | | | | | 120 | 64 | 50 | 80 | 60 | 100 | 80 | 84 | 80 | 120 | 70 | 70 | 90 | 80 |
| B.VISTA | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | 70 | | | | 52 | 80 | | | 56 | |
| CARAVELAS | 9 | 54 | 60 | 50 | 50 | 68 | 60 | 50 | 80 | 50 | 60 | 44 | 60 | 50 | 50 | 50 | 48 | 48 | 50 | 40 | 50 | | | | | 60 |
| CACHIMBO | 10 | | | | | | | | | | 100 | 80 | 70 | 60 | 120 | 40 | 50 | | | 80 | | | 40 | | | 60 |
| CUIABÁ | 11 | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 70 | 66 | 60 | 60 | 80 | | | 40 | 40 | |
| CAMPINAS | 12 | 90 | 80 | 70 | 120 | 86 | 74 | | | | | 90 | 70 | 80 | 140 | 120 | 80 | 90 | | 70 | | | | | | 120 |
| CURITIBA | 13 | 90 | 100 | 60 | 102 | 86 | 80 | 64 | 44 | | 96 | 30 | 100 | 70 | 70 | 90 | 84 | 96 | 50 | 100 | 80 | | 48 | 50 | | 60 |
| C.GRANDE | 14 | 70 | 52 | 92 | 100 | 90 | 76 | 80 | 48 | | 50 | 50 | 80 | 80 | 100 | 90 | 120 | 80 | 120 | 70 | 80 | | 60 | 70 | | |
| CAROLINA | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 60 | 44 | | | | | | 40 |
| CUMERICA | 16 | 70 | 100 | 80 | 100 | 80 | 100 | 60 | 70 | | 100 | 80 | 100 | 64 | 80 | | 60 | 70 | 70 | 130 | 80 | | 120 | 80 | 90 | 100 |
| FORTALEZA | 17 | 56 | 60 | 56 | 64 | 60 | 56 | 60 | | 50 | | | 48 | 70 | 70 | 50 | 60 | | 44 | 100 | | | 100 | 60 | | |
| FLORIANOP. | 18 | 100 | 80 | 100 | 120 | 120 | 72 | 64 | | | 76 | 70 | 76 | 80 | 70 | 100 | 92 | 98 | 90 | 90 | 80 | | | 60 | | |
| F.DO IGUAÇU | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | | | | | | 68 | 80 | 40 |
| F.DE NORONHA | 20 | 60 | 60 | 52 | 60 | 80 | 60 | 60 | 48 | 40 | 52 | 60 | 60 | 70 | 60 | 80 | 80 | 60 | 120 | 60 | 60 | | | | | |
| GOLANIA | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 44 | | | | |
| JACAREACANGA | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 |
| LONDRINA | 23 | | | | | | | | | | | | | 120 | 120 | 100 | 80 | 60 | 100 | 90 | 120 | | | 60 | | 60 |
| LAPA | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MANAUS | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | | | |
| MACEIO | 26 | 60 | 72 | 60 | 60 | 72 | 66 | 56 | 50 | 44 | 60 | 50 | 50 | 44 | 64 | | | 60 | | | 80 | 72 | 100 | | | 120 |

TABELA 3.1.3 (continuação)

| ESTAÇÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 |
|----------------|----|------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| NATAL | 27 | 60 | 54 | 54 | 48 | 48 | 52 | 52 | 44 | - | 50 | 90 | 50 | 50 | 50 | 72 | 60 | 48 | 48 | 54 | 50 | - | - | 48 | - | |
| PONTA FORA | 28 | | | | | | | | | 52 | 70 | - | 70 | - | 80 | 64 | 66 | 64 | 64 | 64 | 52 | 56 | 50 | - | - | |
| PARNAIBA | 29 | | | | | | | | | | | | 86 | 80 | 76 | 80 | 52 | 50 | - | - | 70 | 52 | - | - | - | |
| PETROLINA | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 60 | 52 | - | - | - | 40 | - | - | |
| PIRASSUNUNGA | 31 | | | | | | | | | | | 64 | 130 | 70 | 60 | 72 | 80 | 44 | 80 | 86 | 60 | - | - | - | 44 | |
| PORTO ALEGRE | 32 | - | 64 | 90 | 90 | 108 | 90 | 98 | 86 | 72 | 100 | 88 | 80 | 76 | 100 | 92 | 120 | 110 | 90 | 90 | 98 | 108 | 100 | 108 | 92 | 84 |
| PORTO NACIONAL | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 60 | - | 40 | - | - | - | - | |
| PORTO VELHO | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 120 | 100 | 60 | - | - | - | |
| RECIFE | 35 | 50 | 50 | 44 | 52 | 52 | 54 | 60 | - | - | 56 | 50 | 56 | 64 | 60 | 60 | 80 | 40 | 50 | 50 | 60 | - | - | - | - | |
| RIO BRANCO | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | - | - | - | |
| RIO DE JANEIRO | 37 | 80 | 60 | 70 | 100 | 40 | 70 | 120 | 120 | - | 70 | 80 | 66 | 80 | 86 | 70 | 80 | 106 | 50 | 70 | 50 | - | 80 | 60 | 50 | |
| SANTARÉM | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | |
| SÃO LUIZ | 39 | 50 | 62 | 60 | 60 | 46 | 50 | 60 | 52 | - | - | 50 | - | 44 | 70 | - | - | 70 | 40 | 52 | 60 | - | 60 | - | - | |
| SALVADOR | 40 | 60 | 58 | - | 60 | 70 | - | 54 | 44 | - | 64 | 60 | 54 | 56 | 50 | 72 | - | 50 | 50 | 90 | 60 | - | - | - | 72 | |
| SANTA CRUZ | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | |
| SÃO PAULO | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 106 | |
| SANTOS | 43 | 80 | 80 | 50 | 90 | 60 | 60 | 80 | - | - | 76 | 80 | 60 | 70 | - | 60 | 70 | 50 | 44 | 60 | 70 | 80 | 80 | 50 | 80 | |
| SANTA MARIA | 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 110 | |
| TERESINA | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | |
| UBERLÂNDIA | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 64 | |
| URUGUAIANA | 47 | 100 | 150 | 70 | 90 | 98 | 70 | 108 | 48 | - | 100 | 100 | 150 | 70 | 120 | 80 | 64 | 88 | 130 | 103 | 86 | 90 | 120 | 100 | 92 | 130 |
| VITORIA | 48 | - | - | 60 | 60 | 60 | 60 | - | - | 60 | 60 | 60 | 64 | 64 | 64 | 64 | - | 64 | - | - | - | - | 80 | - | 70 | 70 |
| VILHENA | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 82 | |

Convém ainda esclarecer que, segundo a definição da FAB, são há rajadas (tabela 3.1.3) quando a velocidade instantânea - estritamente a média em um intervalo de tempo de 3 segundos, devido à inércia dos anemômetros - ultrapassa no mínimo em 10 nōs (1 nō = 1.852 km/h)^(*) a velocidade média medida sobre 30 segundos. Enquanto que a Aerodinâmica das Construções define a rajada ou turbulência como sendo a flutuação aleatória em torno da velocidade média.

3.2 Valores utilizados na determinação do clima de ventos extremos

Existem duas correntes no que se refere à fixação da velocidade básica do vento, para a determinação da velocidade de cálculo. Davenport⁴, estudando o espectro do vento natural, sugere como parâmetro útil para a base do estudo do vento, a velocidade média calculada sobre um período de 10 minutos a 1 hora. Ele se baseia no fato de que a média sobre poucos segundos não leva em conta a influência das sequências de rajadas, que produzem efeitos dinâmicos numa estrutura.

Newberry⁵, porém, é de opinião que interessam para o projeto estrutural cargas do vento agindo sobre poucos segundos; a maioria das construções têm frequências naturais altas em relação às frequências predominantes do espectro do vento natural, onde o efeito dinâmico torna-se então desprezível.

Assim sendo, de acordo com o critério adotado na Norma Britânica, a análise é baseada no valor máximo provável da velocidade "instantânea", a qual se admite originar uma solicitação estática.

No Brasil, foi adotado para o projeto da NB-5 o mesmo enfoque da Norma Britânica. Conseqüentemente se faz necessário o uso de velocidades de rajadas.

Para tal utilizar-se-ia a tabela 3.1.3. Porém, se observarmos a mesma, nota-se que há, intercaladamente, ausência de registros. Além disso, comparando-se com a tabela 3.1.2, veri-

(*)Algumas estações da FAB adotam o valor de 1 nō \approx 2 km/h.

ficam-se valores de velocidades de rajadas menores que velocidades medidas sobre 30 segundos, relativas a um mesmo ano de registro.

Levando-se em conta as definições de rajadas descritas no item anterior, e a fim de termos em mãos um conjunto de valores para velocidades de rajadas que permitissem um estudo estatístico mais conciso, elaborou-se a tabela 3.2.1. Confeccionou-se a mesma tomando os maiores valores, para um mesmo ano de registro, entre as rajadas registradas nas estações da FAB, e as correspondentes velocidades medidas sobre 30 segundos majoradas de um fator de rajada. Este fator, adotado como 1.15, pode ser obtido de gráficos que relacionam velocidades para vários intervalos de base^{6,7}.

Com a tabela artificial assim construída, realizou-se o estudo da distribuição de rajadas máximas no Brasil.

TABELA 3.2.1

SERIES ARTIFICIAIS: VELOCIDADE MÁXIMA ANUAL SOBRE 3 SEG. (EM Km/h).

| ESTAÇÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | AR | |
|---------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| AFONSOS | 1 | | | | | | | | | | | 120 | 80 | 60 | 80 | 69 | 140 | 80 | 160 | 90 | 80 | 100 | 81 | 90 | 80 | 62 | 15 | |
| ANAPOLIS | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 81 | 64 | 2 | |
| ANAPA | 3 | 60 | 74 | 62 | 58 | 81 | 70 | 80 | 55 | 62 | 76 | 60 | 55 | 58 | 28 | 69 | 58 | 46 | 46 | 51 | 41 | 44 | 46 | 46 | 58 | 55 | 25 | |
| BELEM | 4 | 58 | 104 | 74 | 70 | 90 | 115 | 100 | 64 | 69 | 81 | 58 | 92 | 69 | 70 | 51 | 58 | 58 | 46 | 58 | 55 | 69 | 69 | 69 | 58 | 85 | 25 | |
| B.HORIZONTE | 5 | 60 | 51 | 60 | 69 | 51 | 58 | 69 | 51 | 50 | 51 | 69 | 60 | 58 | 70 | 70 | 70 | 70 | 50 | 80 | 44 | 60 | 80 | 80 | 58 | 60 | 25 | |
| BRASILIA | 6 | | | | | | | | | | | 70 | 100 | 78 | 80 | 104 | 92 | 70 | 92 | 60 | 60 | 48 | 69 | 81 | 69 | 92 | 15 | |
| BAGÉ | 7 | | | | | | | | | | | | 120 | 92 | 74 | 80 | 60 | 100 | 80 | 84 | 80 | 120 | 70 | 70 | 90 | 80 | 14 | |
| B.VISTA | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 70 | 74 | 64 | 74 | 83 | 81 | 69 | 87 | 60 | 9 | |
| CARAVELAS | 9 | 58 | 60 | 50 | 50 | 68 | 60 | 64 | 81 | 101 | 60 | 46 | 60 | 50 | 50 | 50 | 48 | 55 | 50 | 51 | 50 | 46 | 69 | 46 | 58 | 60 | 25 | |
| CACHIMBO | 10 | | | | | | | | | 46 | 100 | 81 | 104 | 69 | 120 | 69 | 51 | 39 | 51 | 80 | 92 | 18 | 75 | 51 | 69 | 55 | 17 | |
| CUIABA | 11 | | | | | | | | | | | | | | 60 | 50 | 70 | 69 | 64 | 60 | 80 | 69 | 58 | 83 | 92 | 69 | 12 | |
| CAMPINAS | 12 | 104 | 81 | 74 | 120 | 86 | 127 | 104 | 87 | 115 | 92 | 104 | 104 | 92 | 140 | 120 | 92 | 90 | 83 | 70 | 110 | 130 | 106 | 87 | 74 | 120 | 25 | |
| CURITIBA | 13 | 92 | 120 | 115 | 106 | 97 | 106 | 87 | 69 | 69 | 129 | 80 | 100 | 70 | 70 | 90 | 84 | 96 | 138 | 100 | 80 | 64 | 92 | 69 | 58 | 87 | 25 | |
| C.GRANDE | 14 | 70 | 92 | 127 | 115 | 138 | 97 | 80 | 92 | 69 | 92 | 69 | 80 | 80 | 100 | 90 | 120 | 92 | 120 | 70 | 80 | 138 | 92 | 115 | 127 | 92 | 25 | |
| CAROLINA | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 58 | 60 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 58 | 8 | |
| CUMBICA | 16 | 70 | 100 | 85 | 100 | 115 | 100 | 69 | 87 | 81 | 100 | 80 | 100 | 69 | 80 | 81 | 60 | 70 | 101 | 130 | 97 | 79 | 120 | 92 | 90 | 100 | 25 | |
| FORTALEZA | 17 | 56 | 60 | 56 | 64 | 60 | 56 | 60 | 51 | 55 | 41 | 58 | 48 | 70 | 70 | 58 | 60 | 69 | 69 | 100 | 58 | 58 | 100 | 60 | 60 | 58 | 25 | |
| FLORIANOPOLIS | 18 | 106 | 87 | 115 | 120 | 165 | 120 | 92 | 69 | 83 | 76 | 70 | 76 | 80 | 70 | 100 | 92 | 104 | 90 | 90 | 92 | 97 | 115 | 105 | 87 | 92 | 25 | |
| F.DO IGUAÇU | 19 | | | | | 87 | 115 | 120 | 51 | 60 | 96 | 100 | 92 | 80 | 70 | 69 | 76 | 53 | 69 | 55 | 69 | 46 | 32 | 69 | 80 | 46 | 69 | 22 |
| F.DE NORONHA | 20 | 60 | 60 | 52 | 60 | 80 | 60 | 60 | 48 | 53 | 58 | 60 | 60 | 60 | 60 | 80 | 80 | 60 | 120 | 60 | 60 | 62 | 69 | 69 | 69 | 69 | 25 | |
| GOIANIA | 21 | | | 37 | 64 | 90 | 58 | 60 | 62 | 51 | 51 | 50 | 80 | 51 | 60 | 81 | 80 | 80 | 70 | 81 | 69 | 83 | 87 | 92 | 69 | 51 | 23 | |
| JACAREACANGA | 22 | | | | | | | | | 28 | 40 | 55 | 35 | 60 | 46 | 51 | 58 | 37 | 41 | 55 | 115 | 14 | 39 | 96 | 46 | 50 | 17 | |
| LONDRINA | 23 | | | | | | | | | | | | | 120 | 120 | 100 | 87 | 60 | 100 | 90 | 120 | 60 | 64 | 60 | 55 | 60 | 13 | |
| LAPA | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 55 | 58 | 92 | 64 | 46 | 46 | 46 | 51 | 8 | |
| MANAUS | 25 | | | | | | | | | 69 | 60 | 51 | 64 | 64 | 51 | 58 | 69 | 69 | 69 | 51 | 80 | 72 | 115 | 115 | 92 | 120 | 17 | |
| MACEIO | 26 | 64 | 72 | 60 | 60 | 72 | 66 | 56 | 50 | 46 | 60 | 50 | 50 | 44 | 40 | 51 | 46 | 46 | 41 | 41 | 46 | 53 | 69 | 53 | 46 | 44 | 25 | |

TABELA 3.2.1 (continuação)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| ESTAÇÃO | Nº | 1950 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | AR | |
| NATAL | 27 | 60 | 54 | 54 | 48 | 58 | 52 | 52 | 46 | 46 | 50 | 90 | 58 | 51 | 50 | 72 | 60 | 48 | 51 | 54 | 51 | 58 | 46 | 48 | 46 | 51 | 25 | |
| PONTA PORÁ | 28 | | | | | | | | 74 | 69 | 70 | 58 | 70 | 58 | 80 | 69 | 69 | 64 | 64 | 64 | 52 | 64 | 69 | 55 | 74 | 60 | 18 | |
| PARNAIBA | 29 | | | | | | | | | | | | 86 | 80 | 76 | 81 | 78 | 69 | 78 | 87 | 70 | 69 | 69 | 51 | 46 | 46 | 14 | |
| PETROLINA | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 60 | 52 | 37 | 37 | 37 | 40 | 37 | 60 | 9 | |
| PIRASSUNUNGA | 31 | | | | | | | | | | | 74 | 130 | 70 | 115 | 81 | 80 | 69 | 53 | 86 | 79 | 74 | 64 | 58 | 81 | 69 | 15 | |
| PORTO ALEGRE | 32 | 101 | 104 | 106 | 90 | 108 | 90 | 98 | 92 | 74 | 100 | 92 | 80 | 76 | 115 | 92 | 120 | 110 | 90 | 92 | 113 | 108 | 100 | 108 | 92 | 92 | 25 | |
| P. NACIONAL | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | 50 | 60 | 46 | 46 | 58 | 46 | 46 | 55 | 46 | 9 | |
| PORTO VELHO | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 120 | 100 | 60 | 69 | 46 | 46 | 6 | |
| RECIFE | 35 | 50 | 50 | 53 | 52 | 58 | 54 | 60 | 60 | 138 | 58 | 50 | 56 | 64 | 60 | 60 | 60 | 80 | 46 | 50 | 50 | 60 | 64 | 64 | 69 | 25 | | |
| RIO GRANDE | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 58 | 46 | 60 | 94 | 4 | |
| R. DE JANEIRO | 37 | 92 | 60 | 70 | 100 | 51 | 70 | 120 | 120 | 58 | 70 | 92 | 67 | 80 | 86 | 70 | 92 | 80 | 106 | 50 | 70 | 51 | 69 | 80 | 69 | 50 | 25 | |
| SANTAREM | 38 | | | | | 58 | 64 | 46 | 46 | 46 | 37 | 41 | 46 | 46 | 69 | 58 | 56 | 50 | 69 | 58 | 56 | 37 | 69 | 46 | 55 | 46 | 21 | |
| SAO LUIZ | 39 | 50 | 69 | 60 | 60 | 58 | 50 | 69 | 69 | 37 | 41 | 50 | 58 | 58 | 70 | 51 | 58 | 70 | 58 | 58 | 60 | 51 | 60 | 64 | 69 | 51 | 25 | |
| SALVADOR | 40 | 74 | 58 | 69 | 60 | 70 | 69 | 64 | 69 | 55 | 64 | 74 | 58 | 62 | 55 | 72 | 51 | 51 | 51 | 90 | 60 | 58 | 55 | 69 | 80 | 72 | 25 | |
| SANTA CRUZ | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 74 | 138 | 160 | 81 | 92 | 81 | 69 | 20 |
| S. PAULO (CONG) | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 80 | 90 | 92 | 80 | 70 | 60 | 106 | 20 |
| SANTOS | 43 | 80 | 80 | 51 | 92 | 60 | 60 | 80 | 83 | 46 | 78 | 80 | 69 | 70 | 69 | 60 | 70 | 50 | 58 | 60 | 70 | 81 | 92 | 69 | 80 | 69 | 25 | |
| SANTA MARIA | 44 | | | | 54 | 80 | 96 | 70 | 69 | 69 | 104 | 80 | 142 | 113 | 76 | 106 | 100 | 98 | 100 | 90 | 70 | 81 | 86 | 92 | 140 | 110 | 22 | |
| TERESINA | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 92 | 41 | 20 |
| UBERLÂNDIA | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 60 | 100 | 60 | 120 | 60 | 64 | 16 | |
| URUGUAIANA | 47 | 100 | 150 | 70 | 92 | 99 | 78 | 108 | 117 | 124 | 100 | 100 | 150 | 92 | 120 | 80 | 64 | 92 | 130 | 108 | 120 | 90 | 127 | 100 | 92 | 130 | 25 | |
| VITORIA | 48 | 81 | 58 | 60 | 62 | 69 | 92 | 62 | 69 | 74 | 69 | 69 | 74 | 69 | 81 | 87 | 81 | 69 | 74 | 58 | 51 | 62 | 87 | 74 | 81 | 81 | 25 | |
| VILHENA | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 69 | 51 | 92 | 46 | 82 | 51 | 8 | |

4. Ajuste das séries de máximas anuais

4.1 Seleção do modelo

Estamos na presença de séries com número relativamente baixo de registros, o que vem a dificultar a decisão quanto ao uso da distribuição de probabilidades mais adequada para o ajuste das mesmas. Atualmente utilizam-se com maior frequência as distribuições de Fisher-Tippet I e a de Frechet ou Fisher-Tippet II. Thom^{8,9} recomenda a distribuição de Frechet, baseado no fato de que as séries mais extensas de velocidades máximas anuais do vento disponíveis até o momento nos Estados Unidos e na Rússia melhor se ajustaram à referida distribuição. Também Riera 'et al'¹⁰ e Viollaz 'et al'¹¹, empregaram a distribuição de Frechet, para as 63 estações na Argentina, bem como Vieira Filho¹ para as 49 estações brasileiras, fazendo uso das velocidades medidas sobre 30 segundos.

Para a elaboração do Código Argentino para cargas devidas ao vento em estruturas (1976), a razão principal da utilização da distribuição de Frechet fundamenta-se em predições de velocidades maiores que as demais funções de distribuição de probabilidades, e previsão de ocorrências extraordinárias.

Todavia, o problema da definição da distribuição correta das velocidades do vento e da correspondente distribuição de valores extremos se encontra ainda em discussão.

Baseado no descrito acima, também no presente trabalho utilizou-se a distribuição de Frechet, que se expressa da seguinte forma:

$$F_v(V) = \text{Prob} \left[V \leq v \right] = \exp \left[- \left(\frac{v}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \quad (4.1.1)$$

onde os parâmetros γ e β devem ser estimados para cada série de registros da tabela 3.2.1.

4.2 Estimativa dos parâmetros da distribuição de Frechet

Vários são os métodos que podem ser empregados para estimar os parâmetros β (velocidade característica) e γ (parâmetro de forma) da distribuição de Frechet, dos quais podemos citar: métodos dos momentos e da máxima verossimilhança¹², método dos mínimos quadrados na forma utilizada por Riera e Reimundín¹⁰, e estatísticas de ordem, empregado por Thom⁹.

Dentre os métodos citados, o mais eficiente e que apresenta menor variância (assintótica) é o método da máxima verossimilhança, considerado o melhor estimador para amostras com grande número de registros¹³, e recomendado por Viollaz 'et al'¹¹ para o ajuste das séries de rajadas máximas anuais.

Tomando a função distribuição de probabilidade de Frechet (4.1.1), a correspondente função densidade de probabilidade será:

$$f(V) = F'_V(V) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{V}{\beta}\right)^{-(1+\gamma)} \exp\left[-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma}\right] \quad (4.2.1)$$

Seja V_1, V_2, \dots, V_n uma série de n observações independentes da variável aleatória V , cuja função densidade de probabilidade é dada por (4.2.1). A função de densidade conjunta de (V_1, V_2, \dots, V_n) será:

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right)^n \exp\left[-\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-\gamma}\right] \prod_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-(1+\gamma)} \quad (4.2.2)$$

Os estimadores de γ e β , designados por $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$, se obtêm resolvendo o seguinte sistema de equações:

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} f(V_1, V_2, \dots, V_n) = 0 \quad (4.2.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} f(V_1, V_2, \dots, V_n) = 0$$

Aplicando (4.2.3) em (4.2.2) teremos:

$$\frac{n}{\gamma} + n \frac{\sum_{i=1}^n V_i^{-\gamma} \ln V_i}{\sum_{i=1}^n V_i^{-\gamma}} - \sum_{i=1}^n \ln V_i = 0 \quad (4.2.4)$$

$$\hat{\beta} = \left(\sum_{i=1}^n V_i^{-\gamma} / n \right)^{-1/\hat{\gamma}} \quad (4.2.5)$$

As equações (4.2.4-5) não possuem soluções explícitas para os estimadores γ e β , havendo necessidade da aplicação de um processo iterativo. Para tal utilizou-se o método iterativo de Newton-Raphson, análogo à solução proposta por Thoman 'et al'¹⁴ para a distribuição de Weibull.

Os resultados deste procedimento aplicado a cada uma das estações (Tabela 3.2.1) em estudo encontram-se na Tabela 4.2.1, incluindo o coeficiente de correção por tendência $B(n)$, bem como os valores de $\hat{\gamma}$ já corrigidos ($\hat{\gamma}_{0i}$).

Maiores esclarecimentos à respeito da tendenciosidade dos estimadores $\hat{\gamma}$ podem ser encontrados na referência¹⁴.

TABELA 4.2.1

| Nº | ESTAÇÃO | ANOS DE REG. | $\bar{\beta}$ (km/h) | $\bar{\gamma}$ | B(n) | $\bar{\gamma}_o$ |
|------|-----------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-------|------------------|
| 1 | AFONSOS | 15 | 77.92 | 4.760 | 0.908 | 4.322 |
| 2 | ANAPOLIS | 2 | 67.92 | 10.185 | - | - |
| * 3 | AMAPA | 24 | 52.58 | 5.790 | 0.943 | 5.460 |
| * 4 | BELEM | 25 | 61.58 | 5.334 | 0.945 | 5.041 |
| * 5 | BELO HORIZONTE | 25 | 56.36 | 6.540 | 0.945 | 6.180 |
| 6 | BRASILIA | 15 | 68.31 | 4.620 | 0.908 | 4.195 |
| * 7 | BAGE | 14 | 76.86 | 6.015 | 0.901 | 5.420 |
| * 8 | BOA VISTA | 9 | 68.94 | 9.168 | 0.842 | 7.719 |
| * 9 | CARAVELAS | 24 | 51.68 | 8.991 | 0.943 | 8.479 |
| 10 | CACHIMBO | 16 | 57.62 | 3.582 | 0.914 | 3.274 |
| * 11 | CUIABA | 12 | 62.20 | 6.720 | 0.883 | 5.934 |
| 12 | CAMPINAS | 25 | 89.93 | 5.868 | 0.945 | 5.545 |
| * 13 | CURITIBA | 25 | 79.31 | 4.935 | 0.945 | 4.664 |
| * 14 | CAMPO GRANDE | 25 | 85.69 | 5.298 | 0.945 | 5.007 |
| * 15 | CAROLINA | 8 | 47.71 | 11.983 | 0.820 | 9.826 |
| 16 | CUMBICA | 25 | 80.52 | 5.570 | 0.945 | 5.264 |
| * 17 | FORTALEZA | 25 | 56.11 | 6.081 | 0.945 | 5.747 |
| * 18 | FLORIANOPOLIS | 25 | 85.38 | 5.990 | 0.945 | 5.661 |
| 19 | FOZ DO IGUAÇU | 21 | 63.00 | 4.023 | 0.934 | 3.757 |
| * 20 | F.DE NORONHA | 24 | 58.87 | 8.601 | 0.943 | 8.111 |
| 21 | GOIANIA | 22 | 61.09 | 5.366 | 0.937 | 5.028 |
| 22 | JACAREACANGA | 15 | 40.33 | 4.552 | 0.908 | 4.133 |
| 23 | LONDRINA | 13 | 69.83 | 4.037 | 0.893 | 3.605 |
| 24 | LAPA | 8 | 50.70 | 6.865 | 0.820 | 5.629 |
| 25 | MANAUS | 17 | 63.37 | 4.729 | 0.918 | 4.341 |
| * 26 | MACEIO | 25 | 47.96 | 6.825 | 0.945 | 6.451 |
| 27 | NATAL | 25 | 50.37 | 10.567 | 0.945 | 9.986 |
| * 28 | PONTA PORA | 18 | 61.78 | 9.065 | 0.923 | 8.367 |
| 29 | PARNAIBA | 14 | 61.61 | 4.332 | 0.901 | 3.903 |
| 30 | PETROLINA | 9 | 40.57 | 6.519 | 0.842 | 5.489 |
| * 31 | PIRASSUNUNGA | 15 | 68.70 | 5.105 | 0.908 | 4.635 |
| 32 | PORTO ALEGRE | 25 | 91.10 | 7.858 | 0.945 | 7.426 |
| 33 | PORTO NACIONAL | 9 | 47.61 | 14.343 | 0.842 | 12.077 |
| 34 | PORTO VELHO | 6 | 57.72 | 3.417 | 0.752 | 2.570 |
| * 35 | RECIFE | 24 | 54.12 | 9.367 | 0.943 | 8.833 |
| 36 | RIO BRANCO | 4 | 55.23 | 4.976 | - | - |
| 37 | RIO DE JANEIRO (S.D.) | 25 | 65.84 | 4.361 | 0.945 | 4.121 |
| * 38 | SANTAREM | 21 | 46.89 | 5.765 | 0.934 | 5.385 |
| 39 | SAO LUIZ | 25 | 52.53 | 5.378 | 0.945 | 5.082 |
| * 40 | SALVADOR | 25 | 59.09 | 7.867 | 0.945 | 7.434 |
| * 41 | SANTA CRUZ | 20 | 84.13 | 5.702 | 0.931 | 5.309 |
| 42 | SAO PAULO (CONG.) | 20 | 73.02 | 5.626 | 0.931 | 5.238 |
| 43 | SANTOS | 25 | 62.92 | 5.276 | 0.945 | 4.986 |
| 44 | SANTA MARIA | 22 | 79.91 | 4.455 | 0.937 | 4.174 |
| 45 | TERESINA | 20 | 40.68 | 4.791 | 0.931 | 4.460 |
| 46 | UBERLANDIA | 16 | 56.47 | 5.349 | 0.914 | 4.889 |
| 47 | URUGUAIANA | 25 | 92.43 | 4.634 | 0.945 | 4.379 |
| 48 | VITORIA | 25 | 65.95 | 6.844 | 0.945 | 6.472 |
| 49 | VILHENA | 8 | 54.22 | 4.900 | 0.820 | 4.018 |

* Estações empregadas para o cálculo do γ médio ponderado.

5. Problemas associados às séries de velocidades máximas anuais

5.1 Qualidade dos registros

No capítulo anterior indicou-se o modelo de distribuição de probabilidades e o método para ajustá-lo às séries de dados disponíveis. Os parâmetros da distribuição assim determinados para cada estação foram utilizados para as finalidades deste trabalho.

Surge porém a dúvida quanto ao grau de precisão dos registros relativos às estações em estudo. Para tal, efetuou-se uma análise aplicando o método de Gumbel às mesmas séries de registros, com um ajuste mediante o método dos mínimos quadrados para a avaliação dos parâmetros da distribuição de Frechet. Os resultados se encontram na tabela 5.1.1.

Comparando desta forma os valores encontrados através do emprego dos dois métodos, verificaram-se significativas diferenças entre os parâmetros obtidos para uma mesma estação. Atribuem-se estas dispersões a anomalias nas séries de registros, tais como:

- a) Registros anteriores a um determinado ano sistematicamente inferiores aos demais, bem como "tendenciosidade" contínua dos dados;
- b) Registros interrompidos durante alguns anos;
- c) Valores calculados para os parâmetros não totalmente confiáveis devido às características dos histogramas, como por exemplo, histogramas com dois picos separados.

Uma melhor visualização relativa ao último item pode ser feita observando as figuras 5.1.1-49, que apresentam os gráficos frequências-rajadas máximas anuais para cada estação.

O mau funcionamento dos anemômetros, mudanças de lo-

calização dos aparelhos dentro da mesma estação, retirada dos mesmos para reparos, mudanças no tipo de exposição devido ao desenvolvimento urbano (novas construções), florestamento ou deflorestamento da área, etc., são possíveis causas geradoras das anomalias citadas. Por conseguinte, estações que apresentaram problemas desta natureza foram descartadas dos estudos. Poderiam surgir casos da possibilidade de aproveitamento pelo menos parcial dos registros, desde que indicassem desempenho normal dos aparelhos durante o respectivo período.

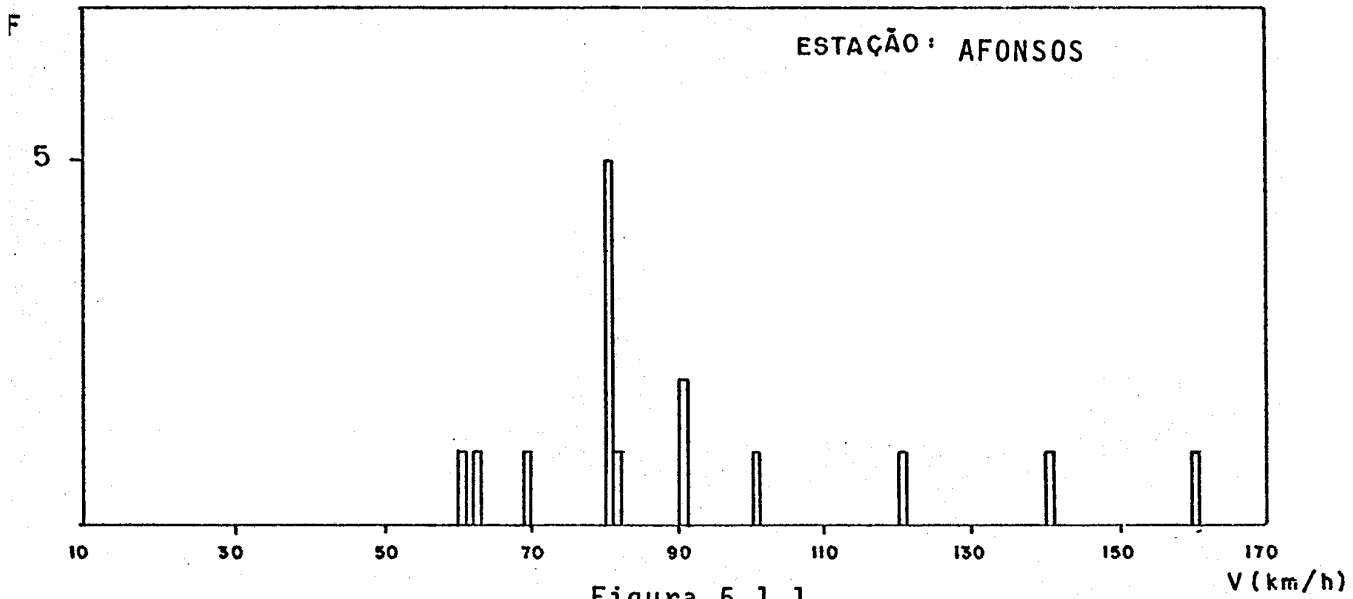


Figura 5.1.1

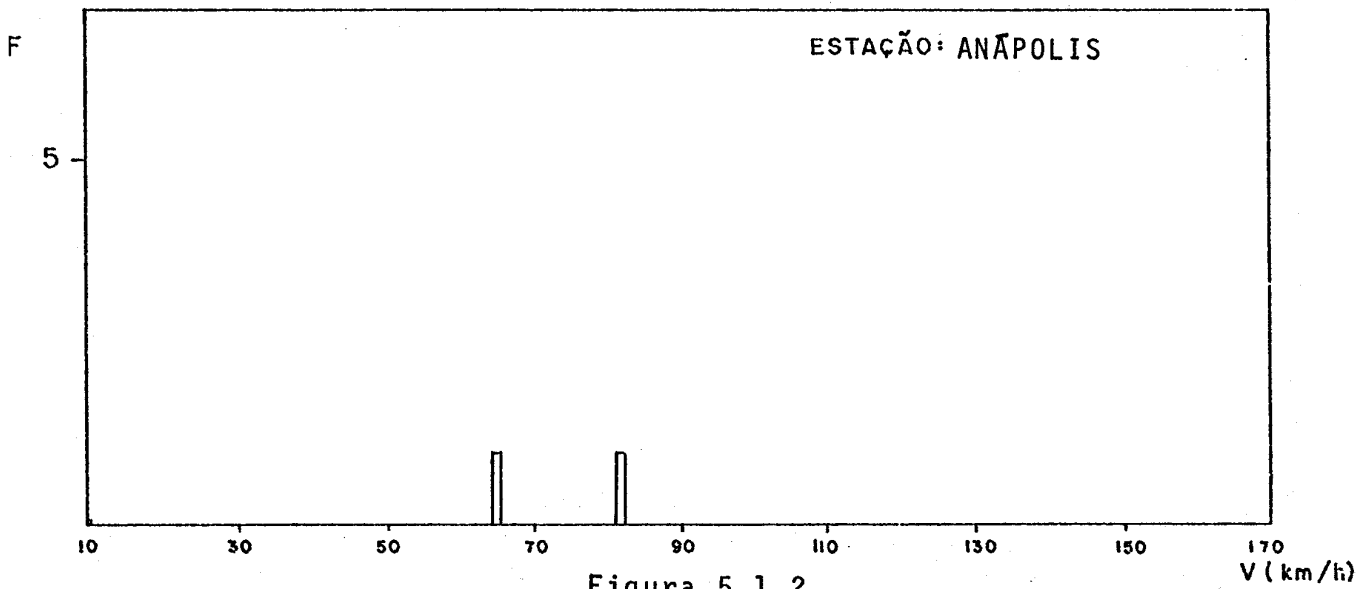


Figura 5.1.2

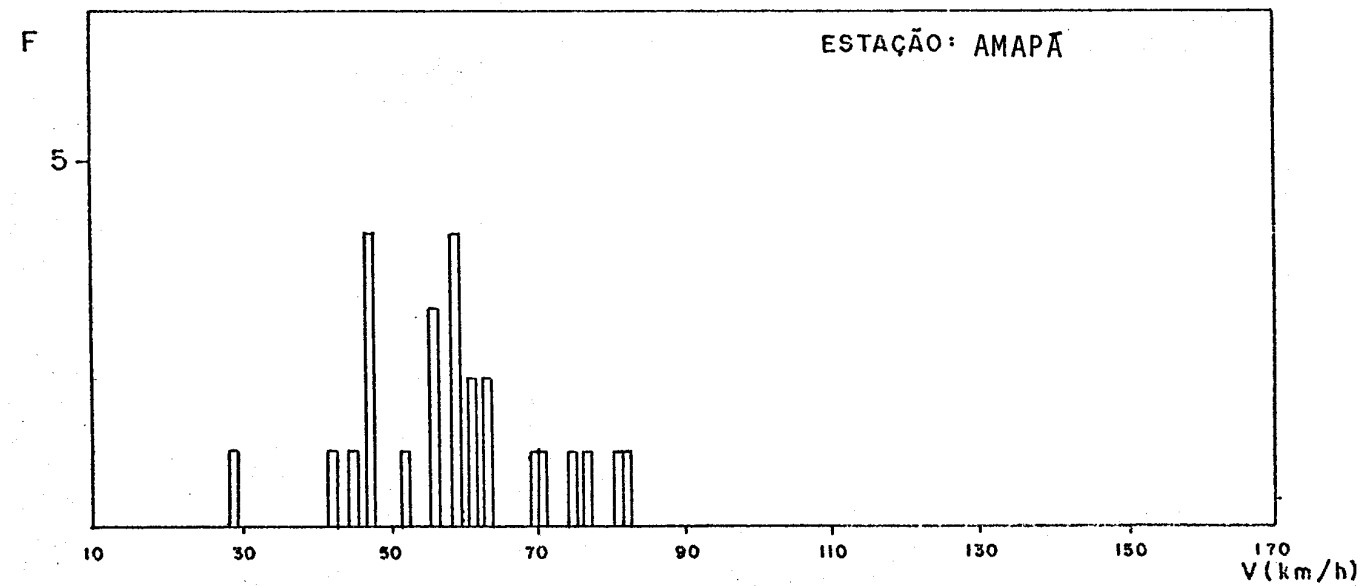
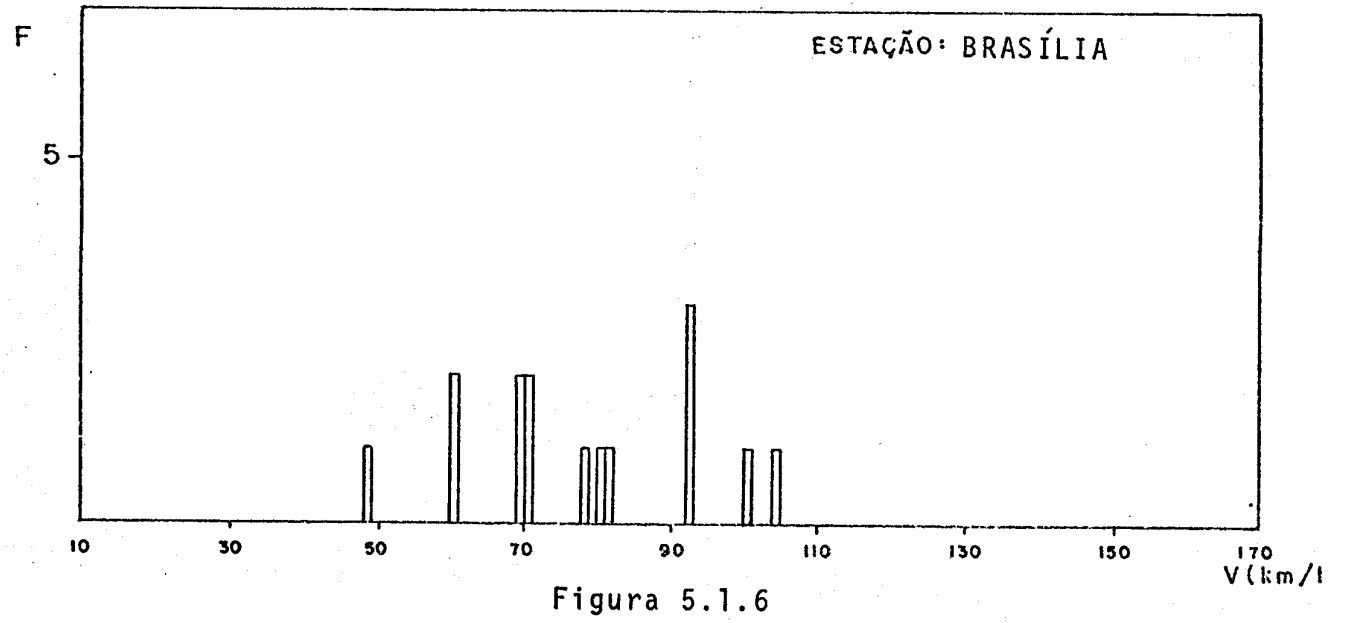
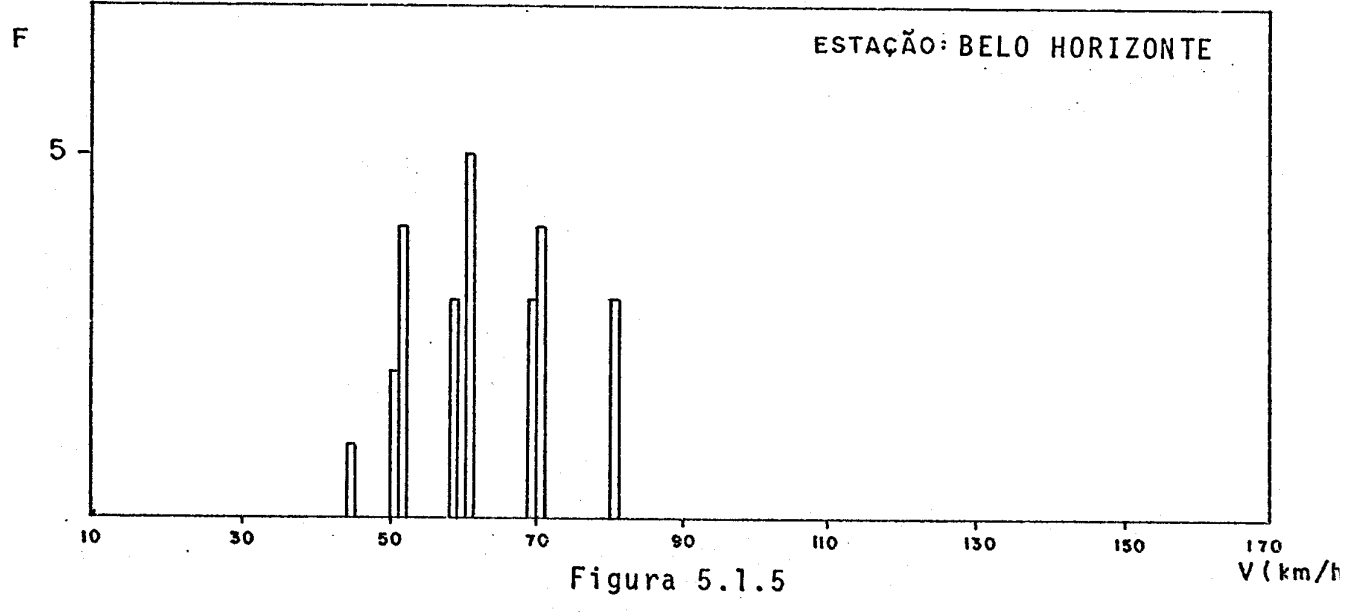
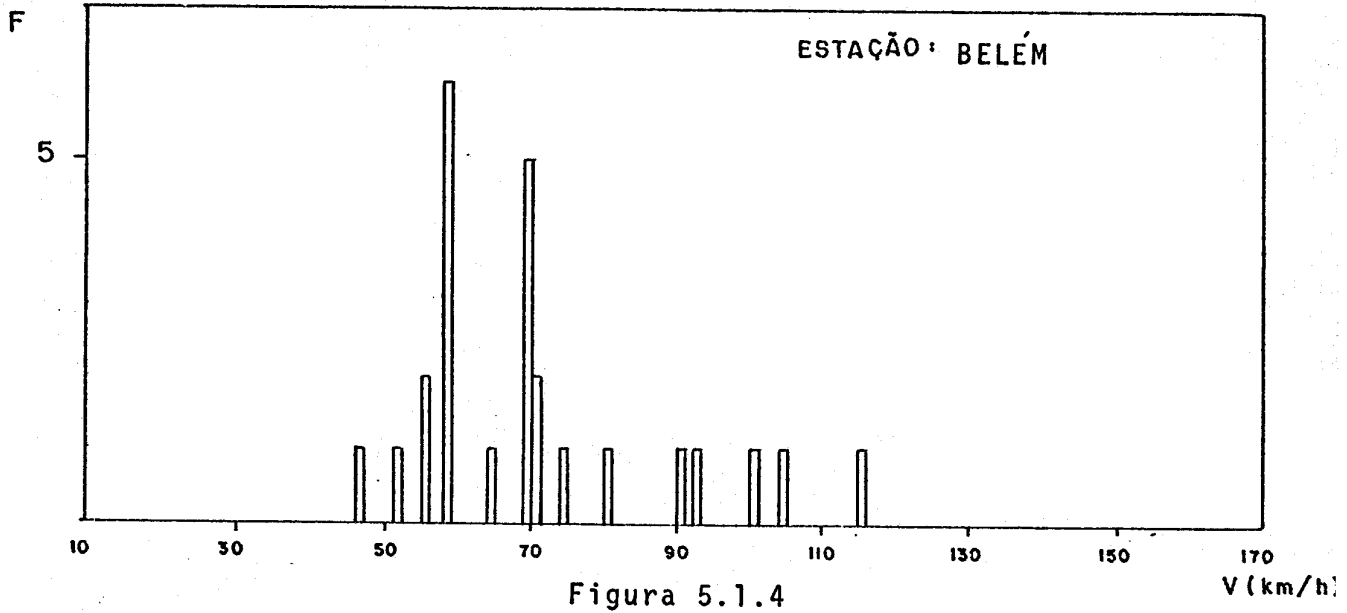
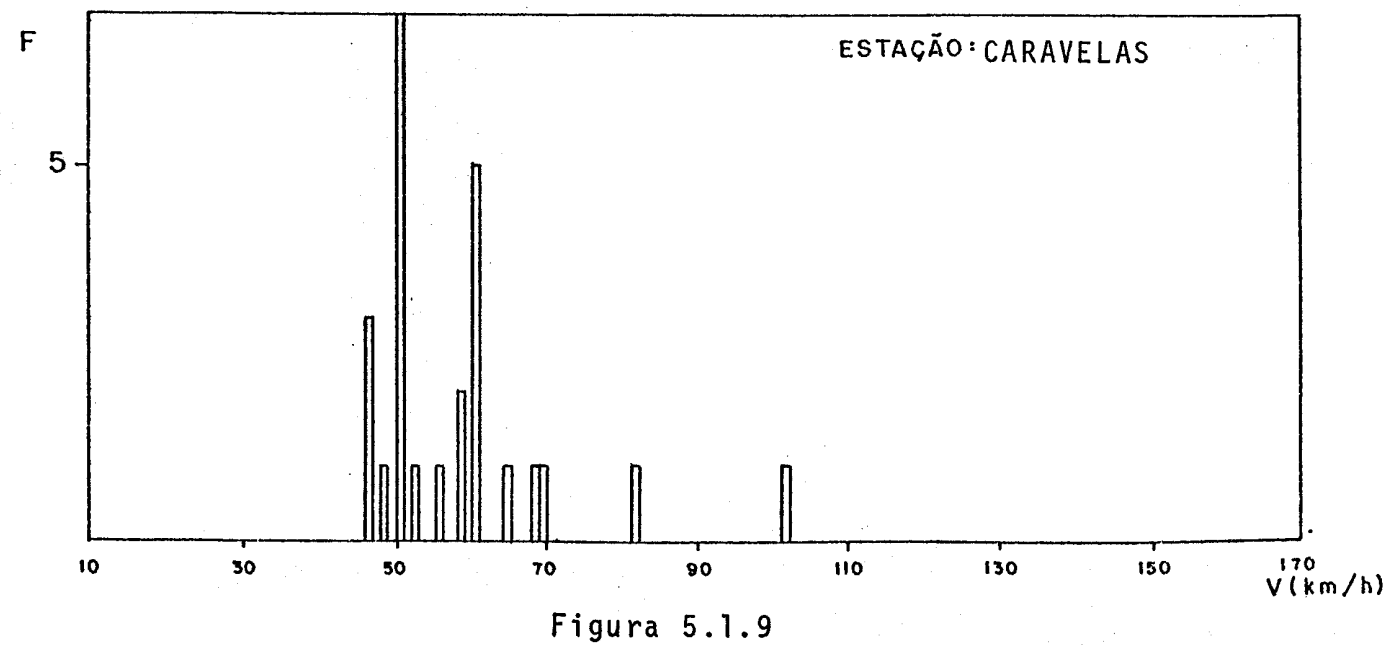
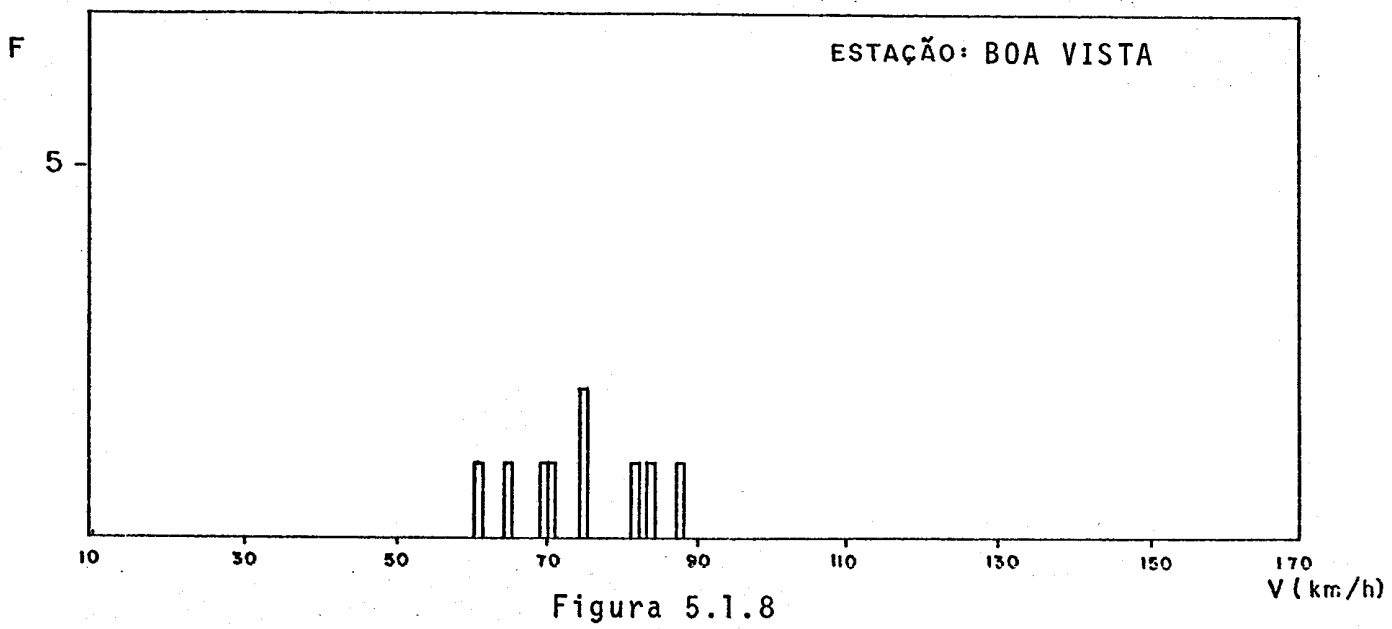
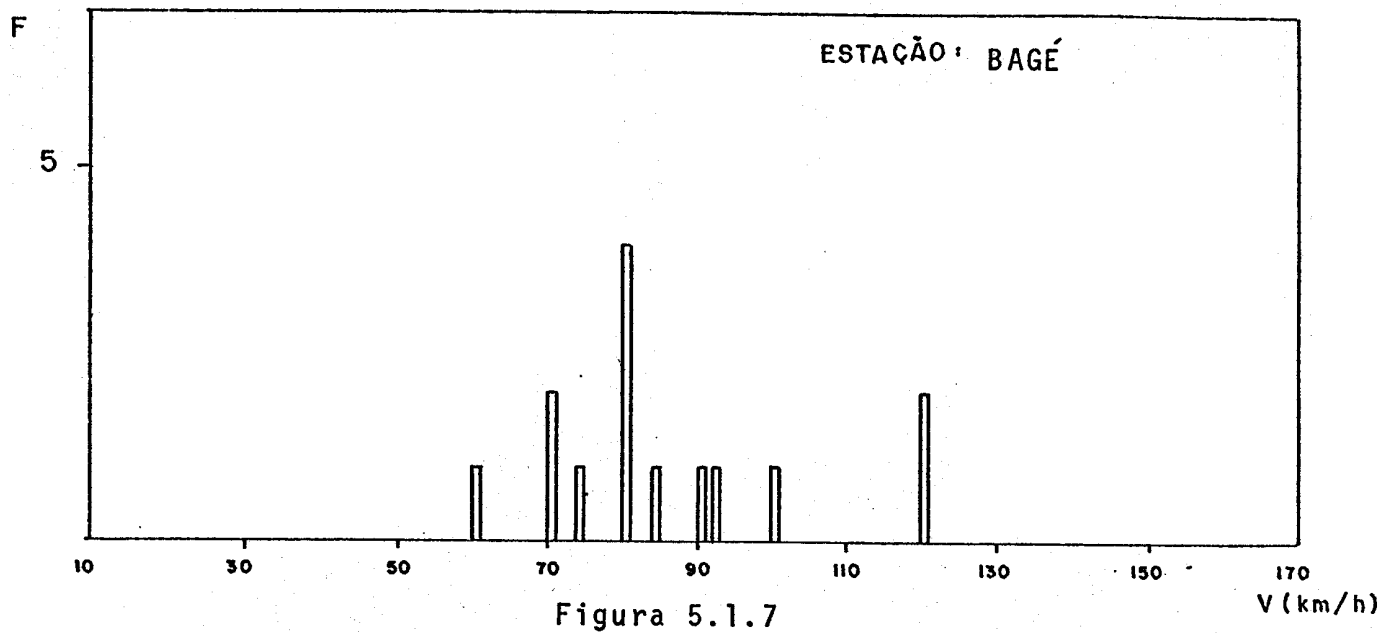
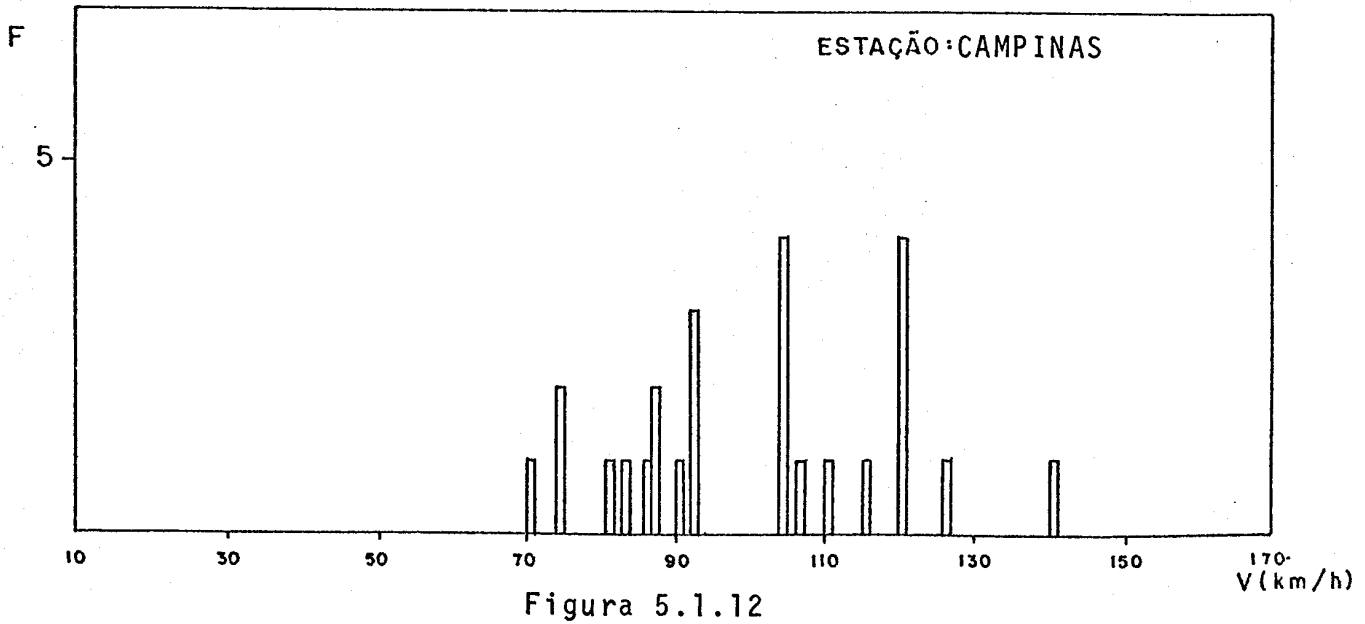
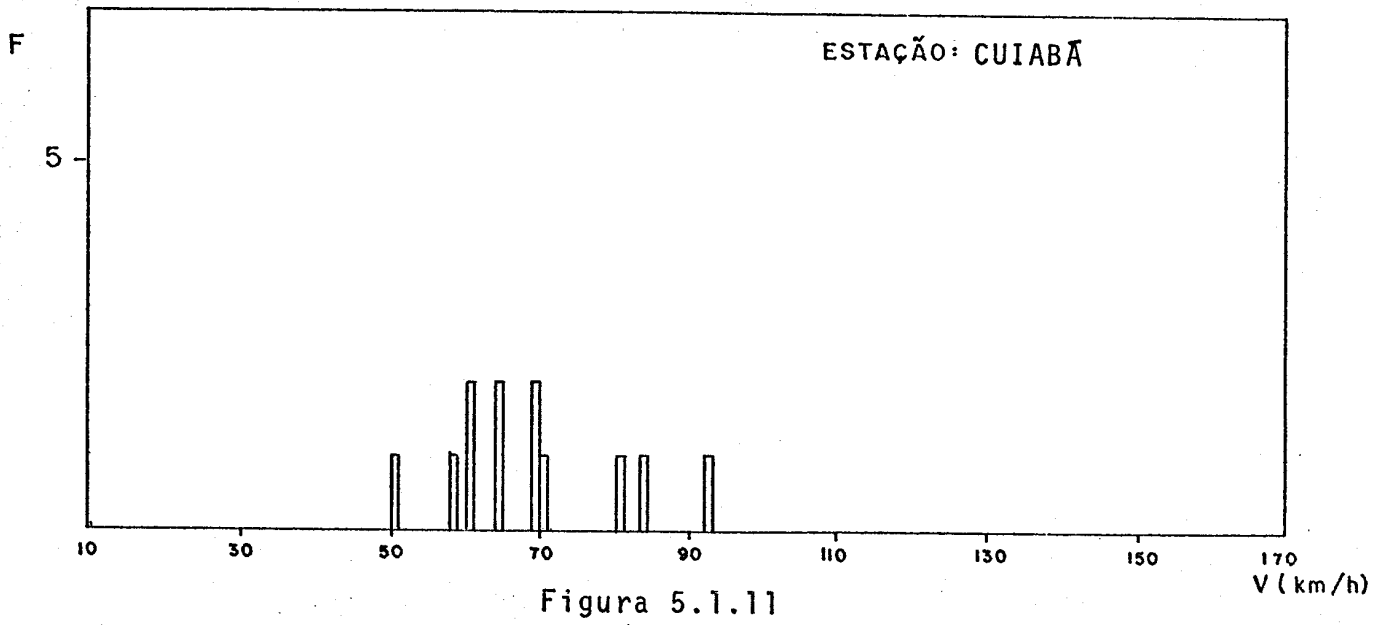
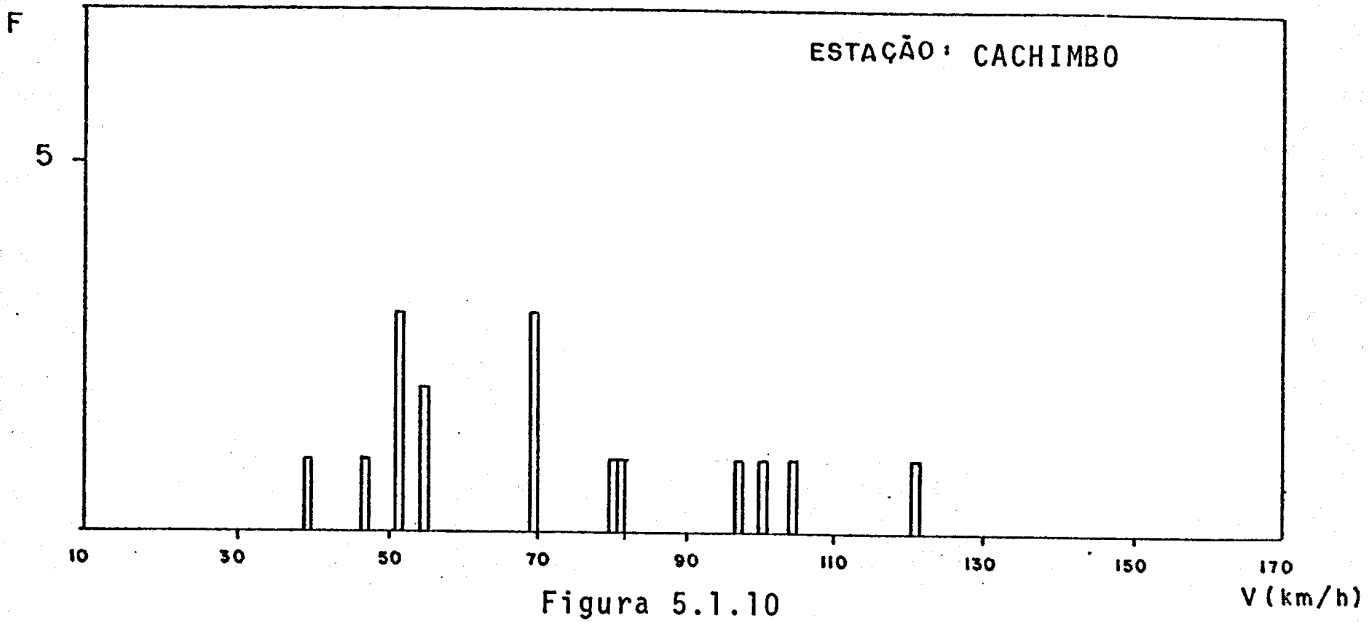
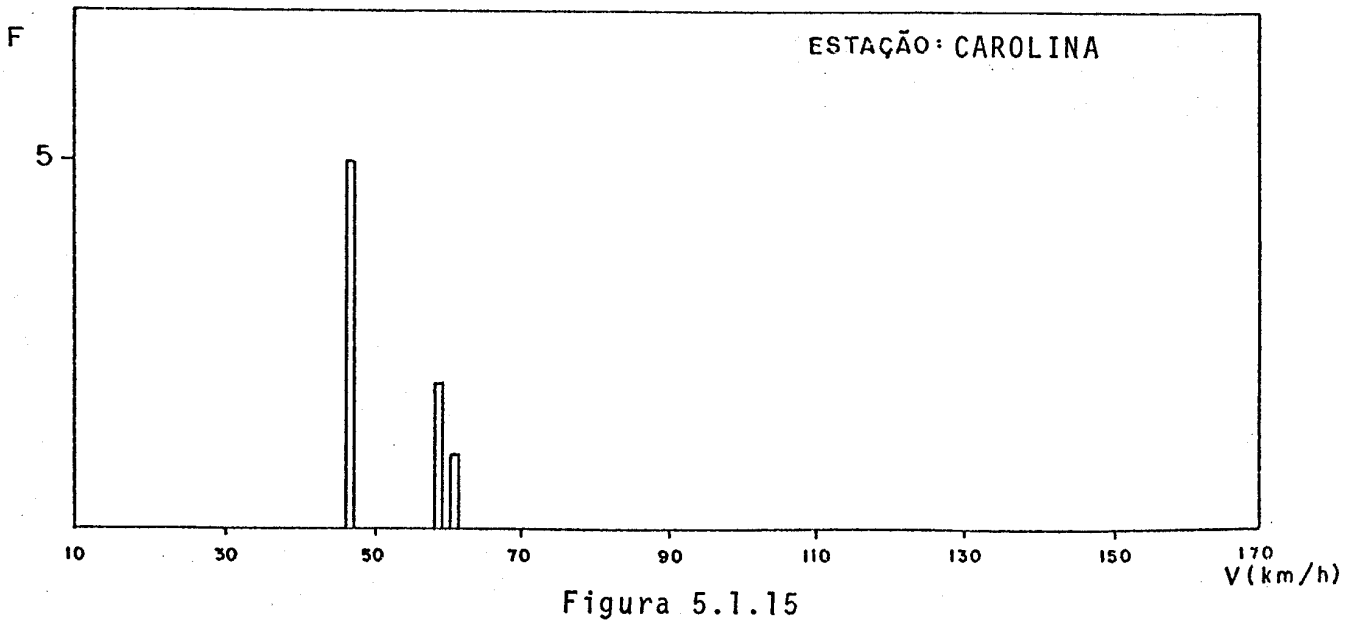
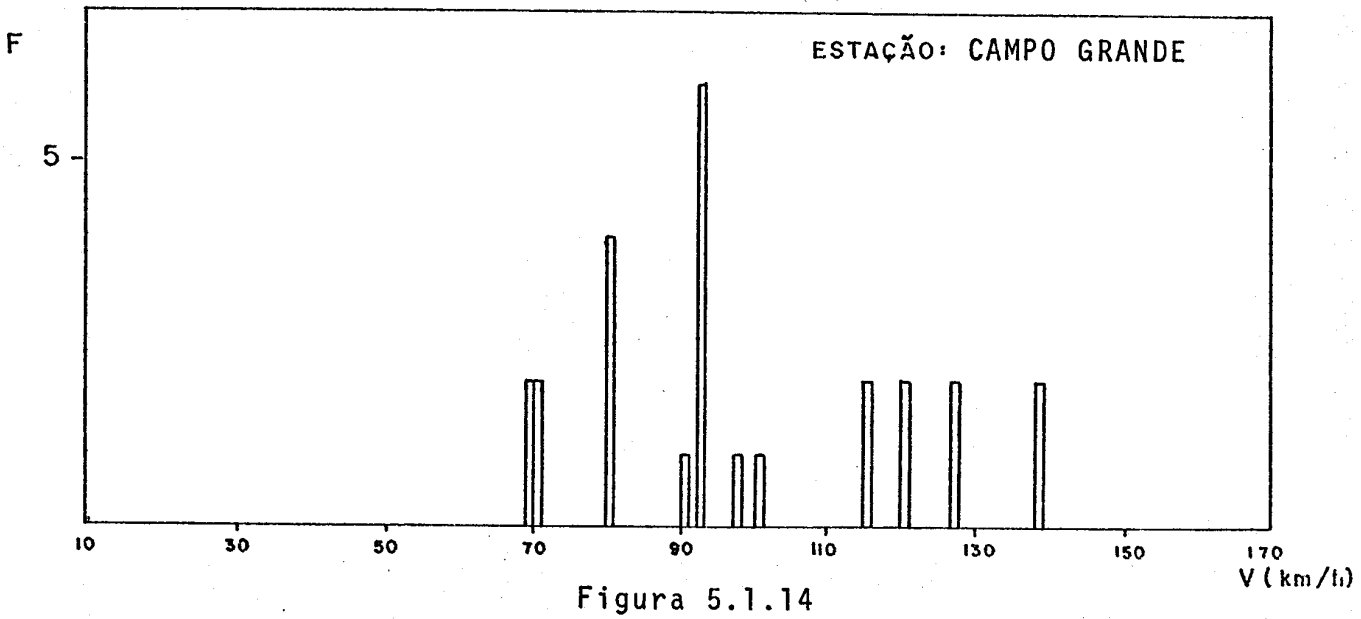
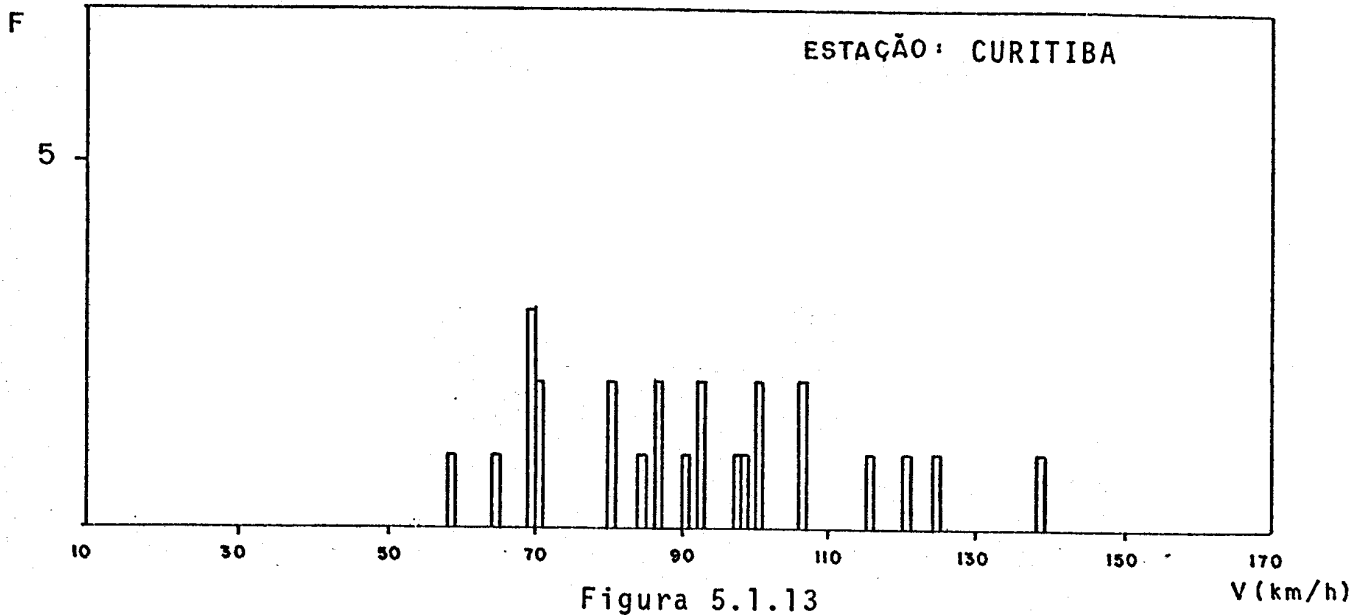


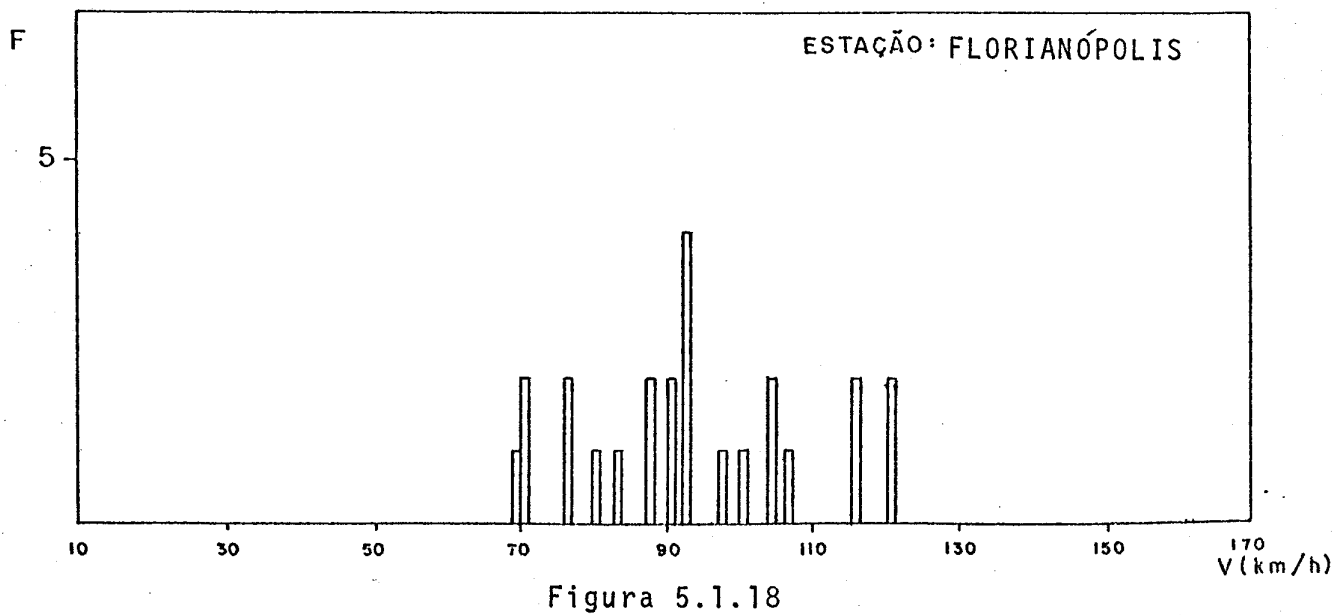
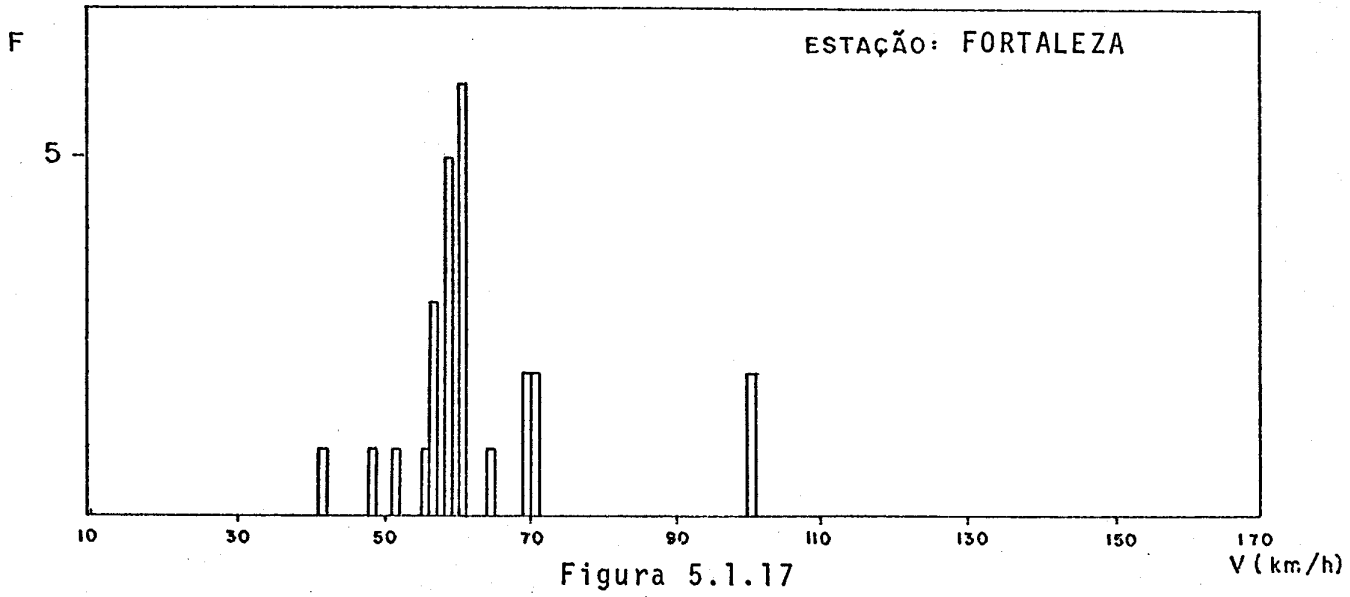
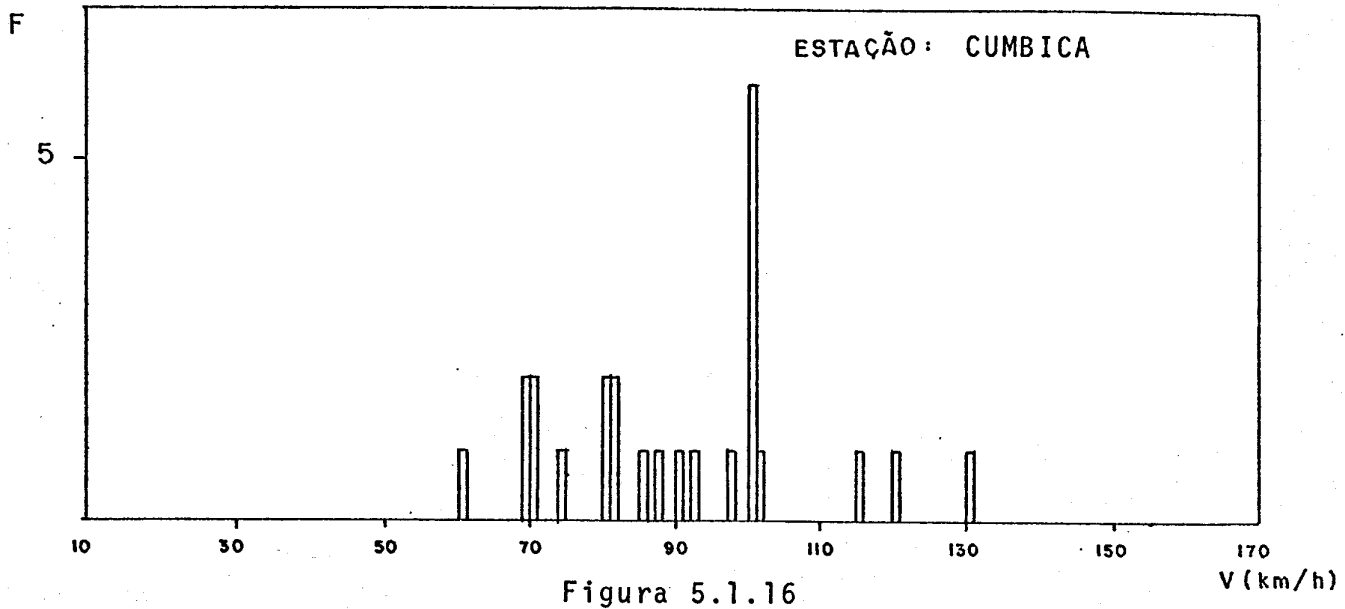
Figura 5.1.3

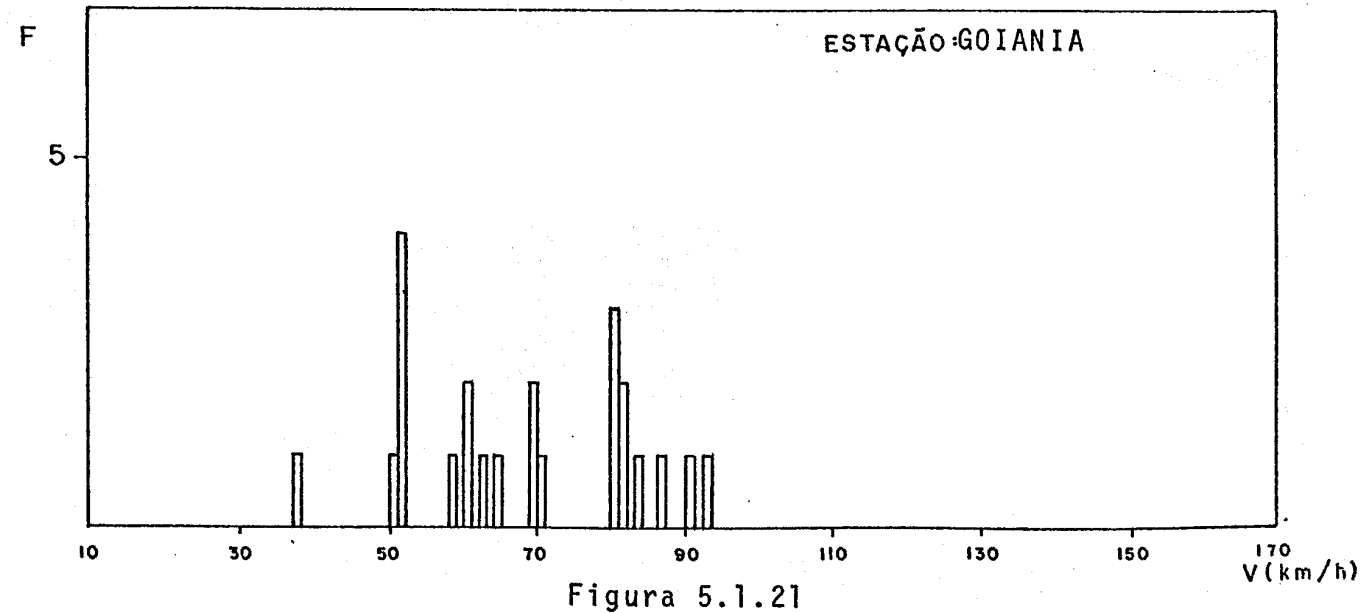
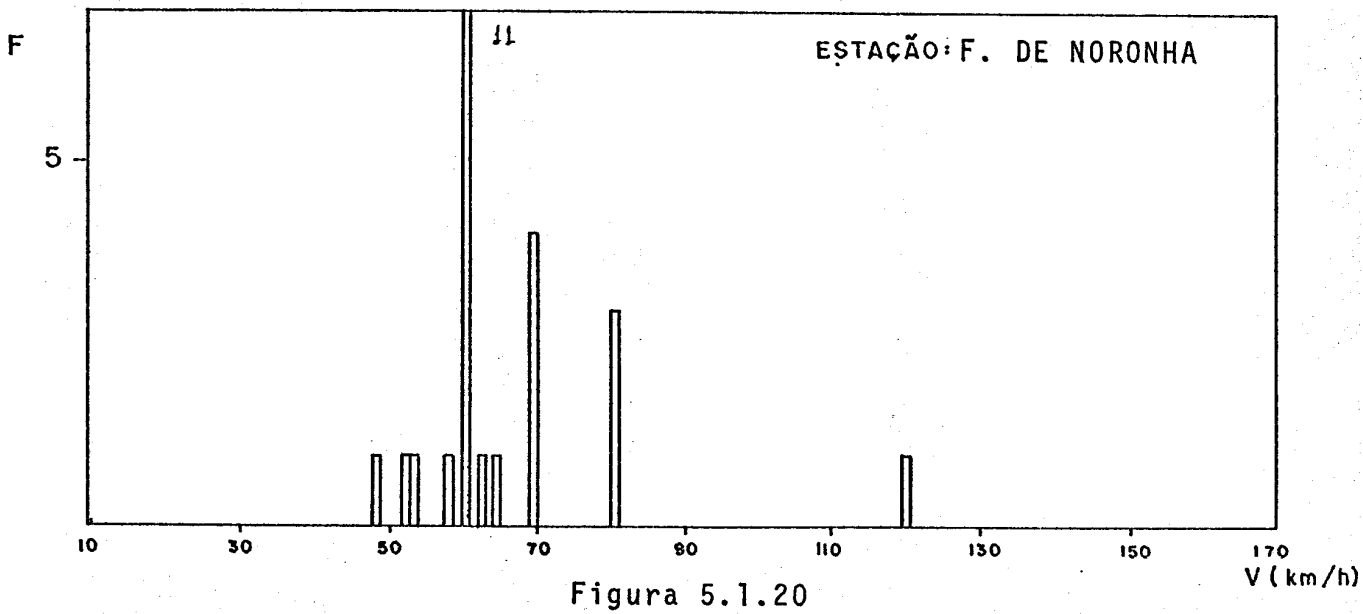
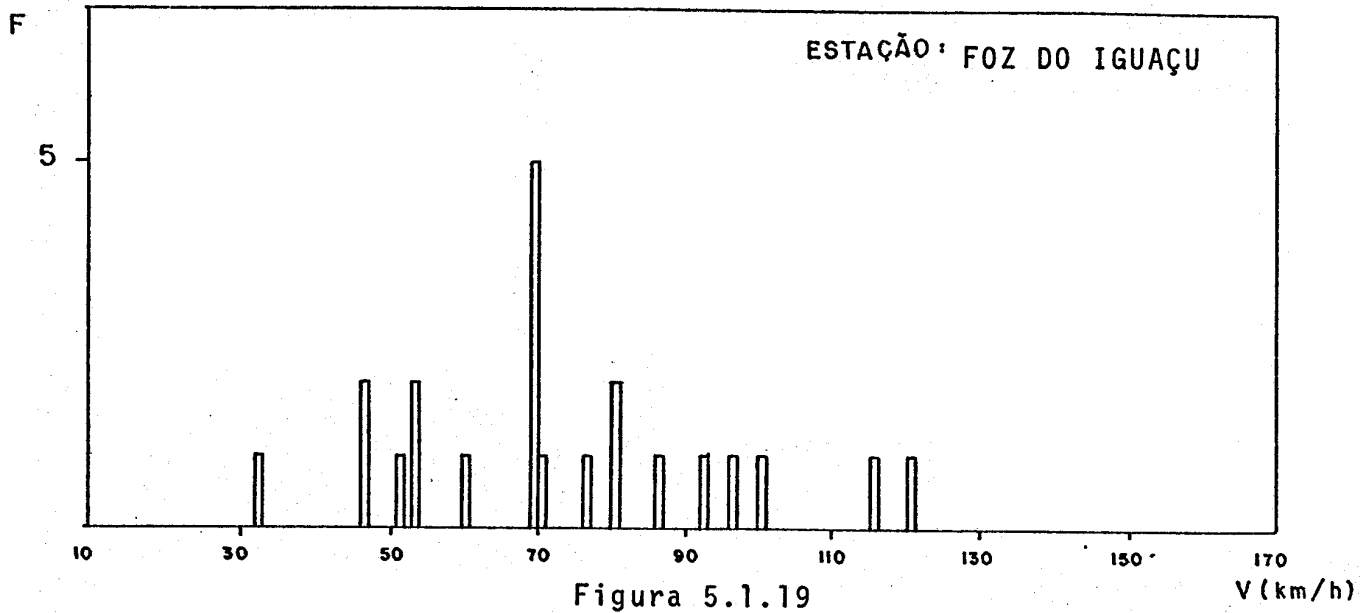












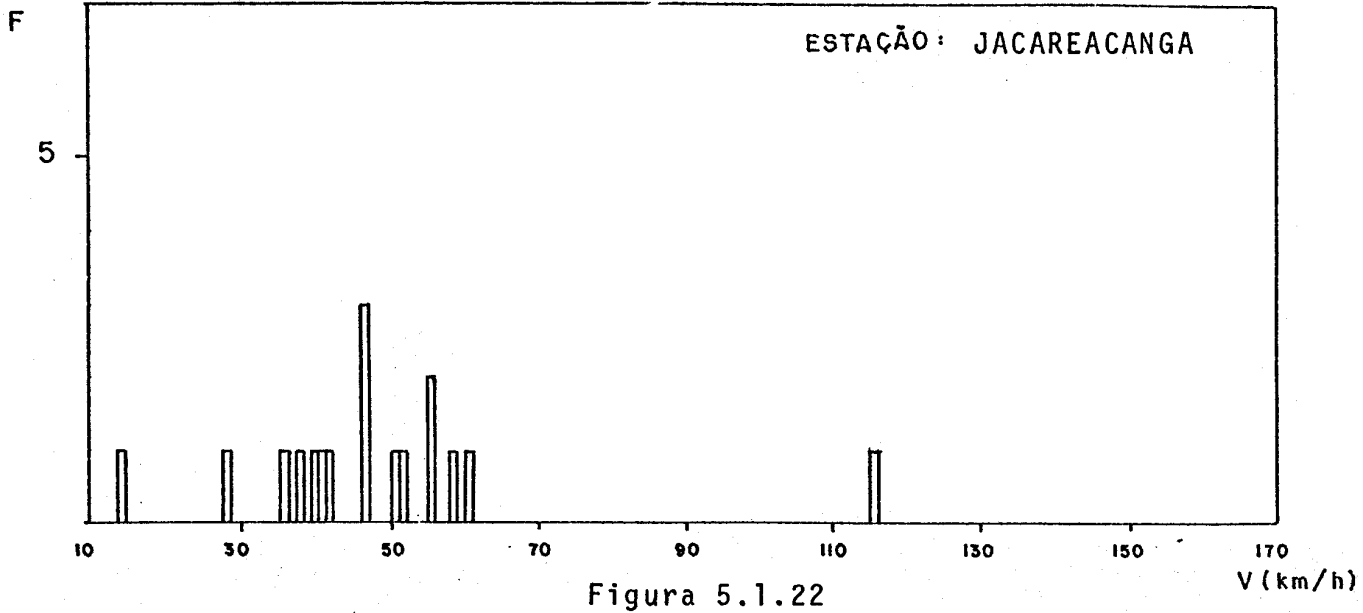


Figura 5.1.22

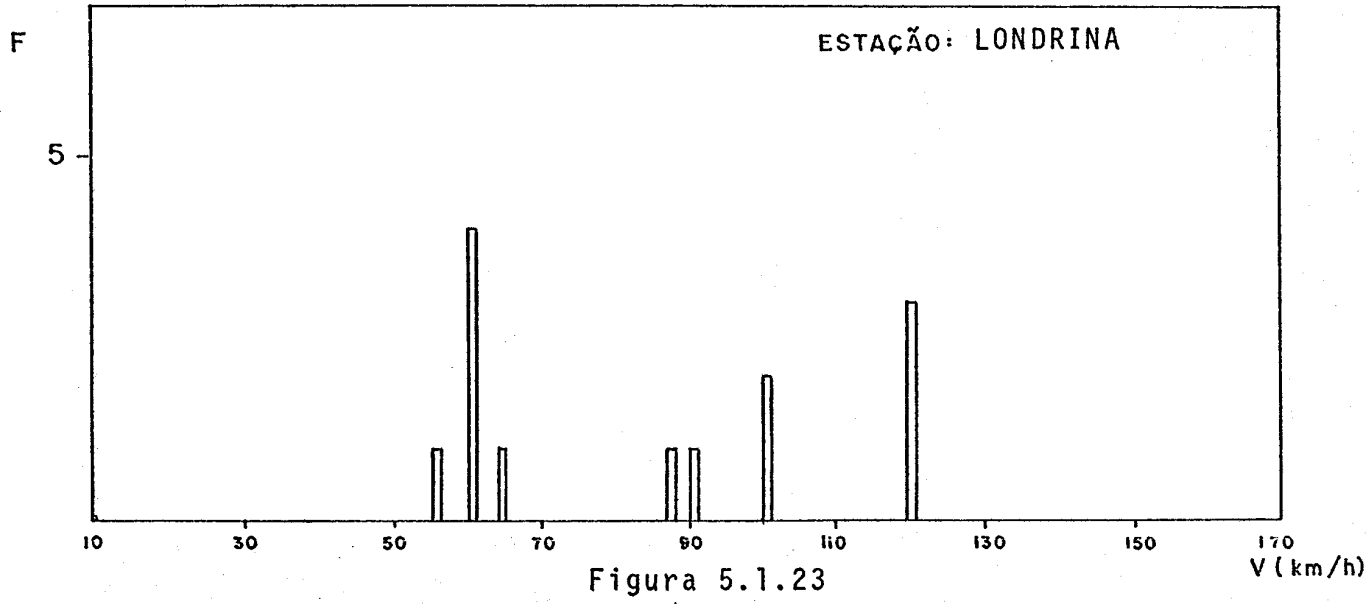


Figura 5.1.23

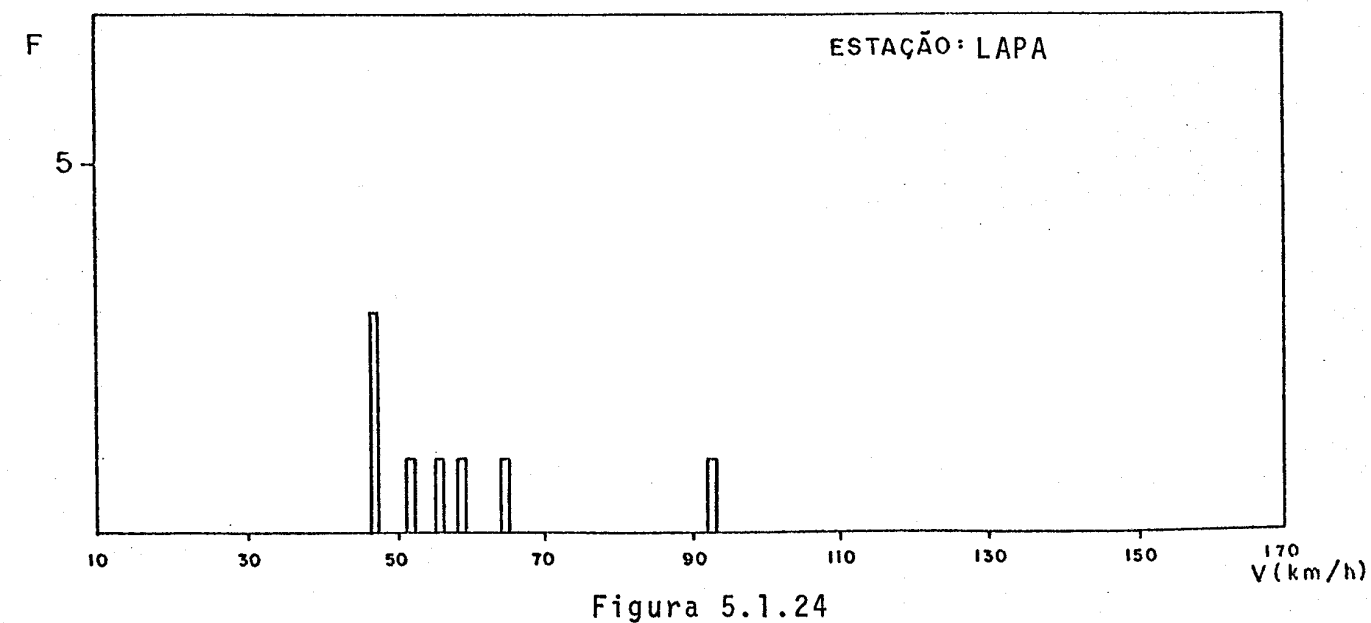
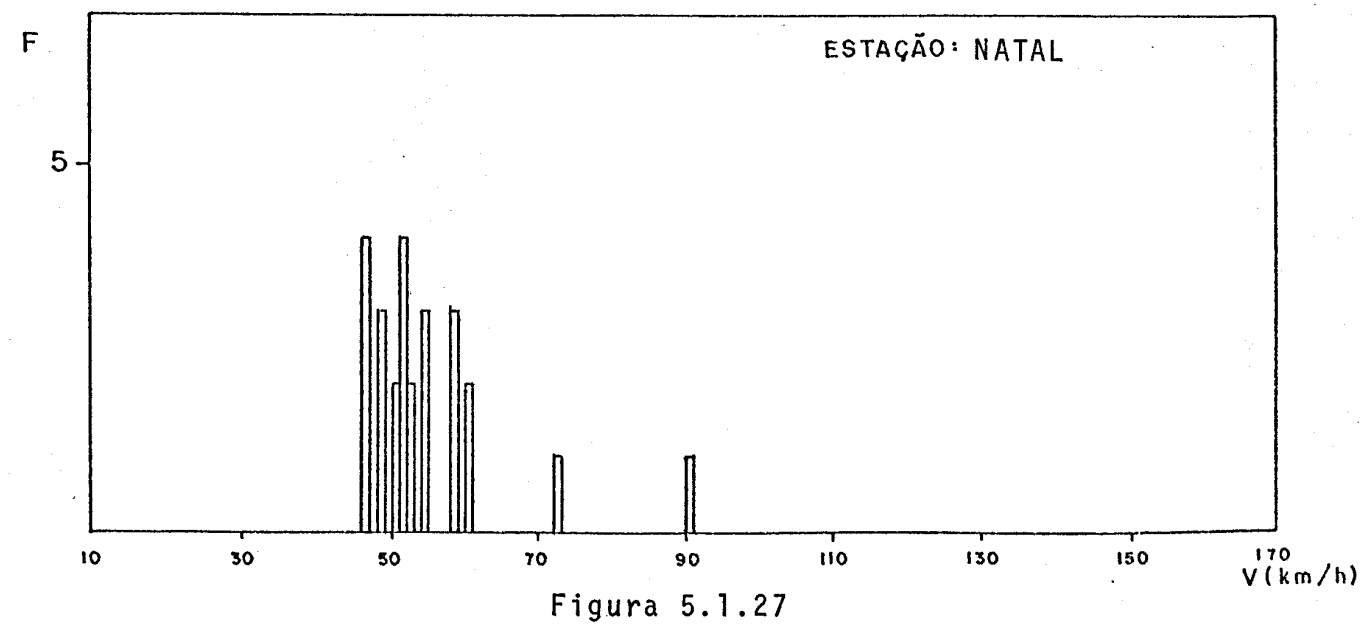
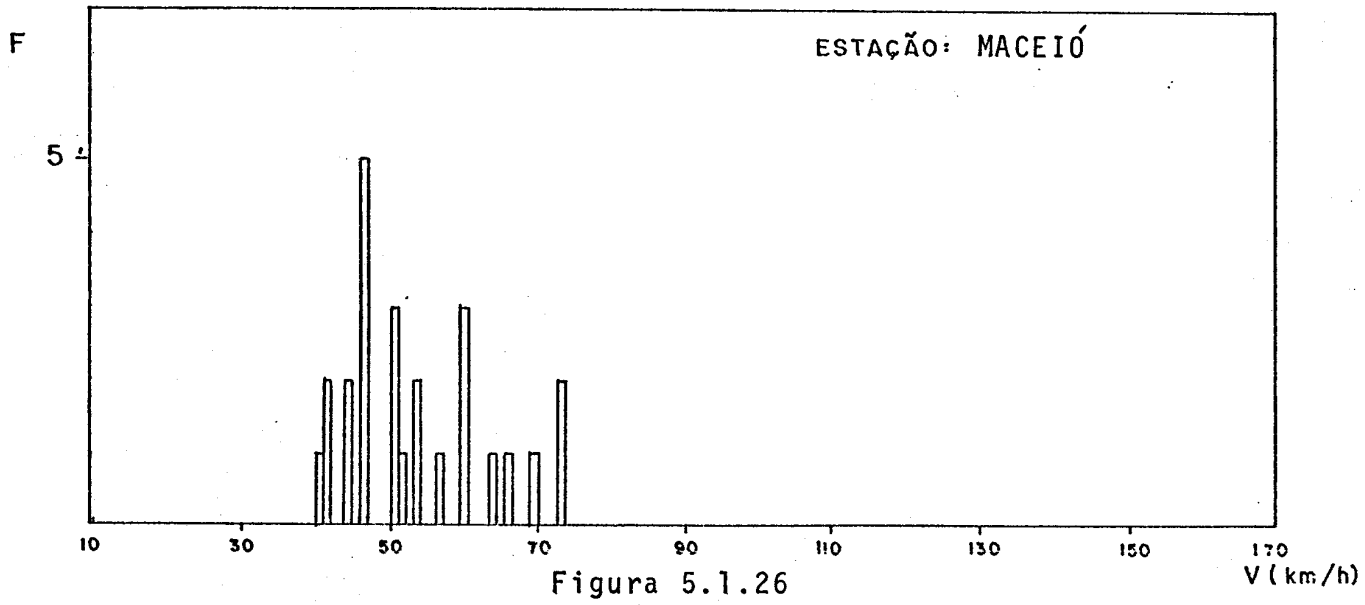
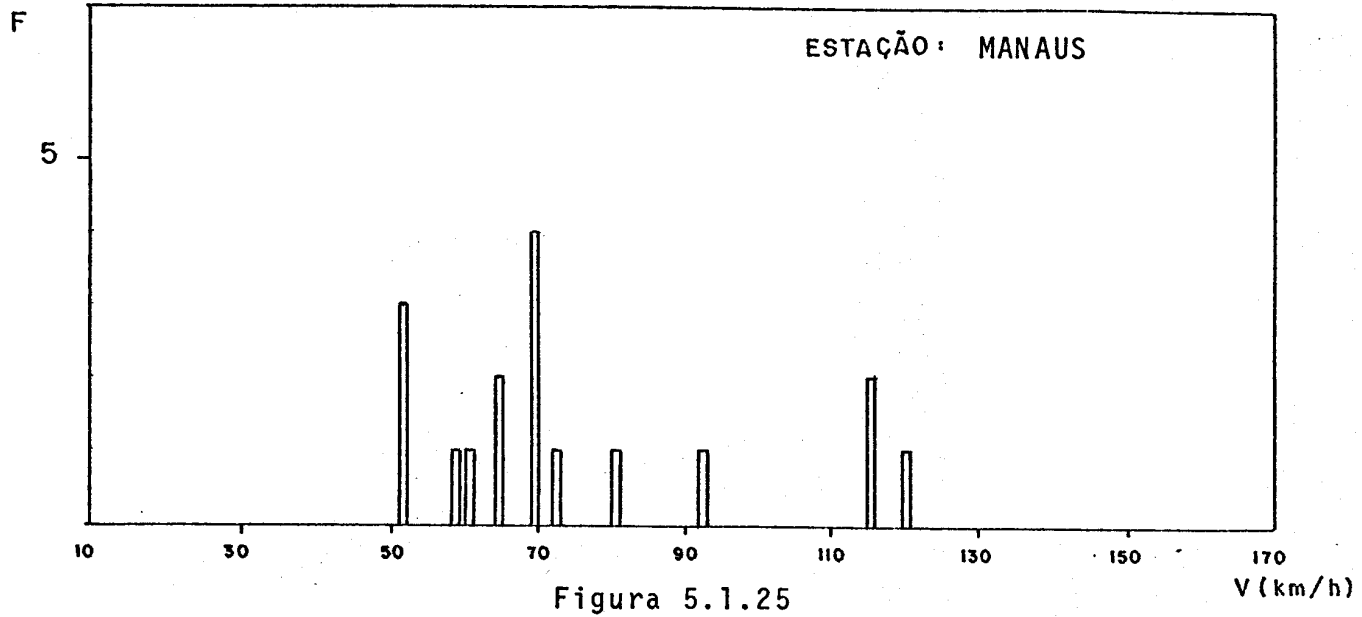
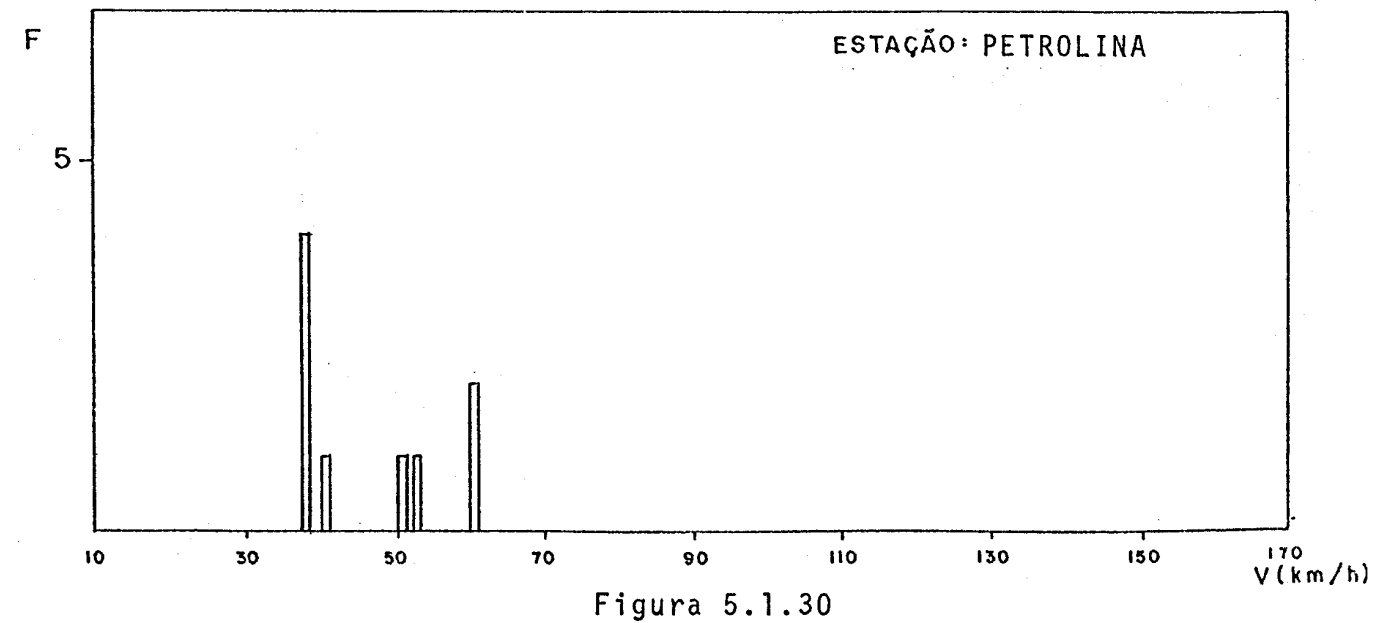
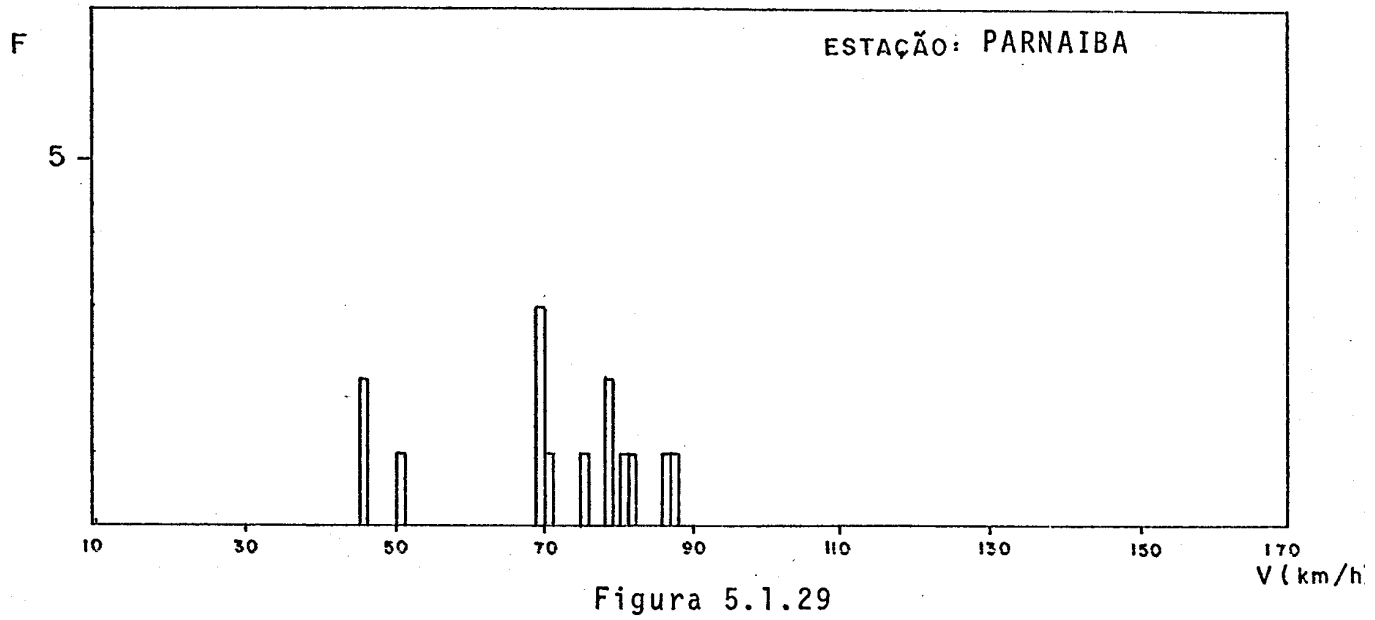
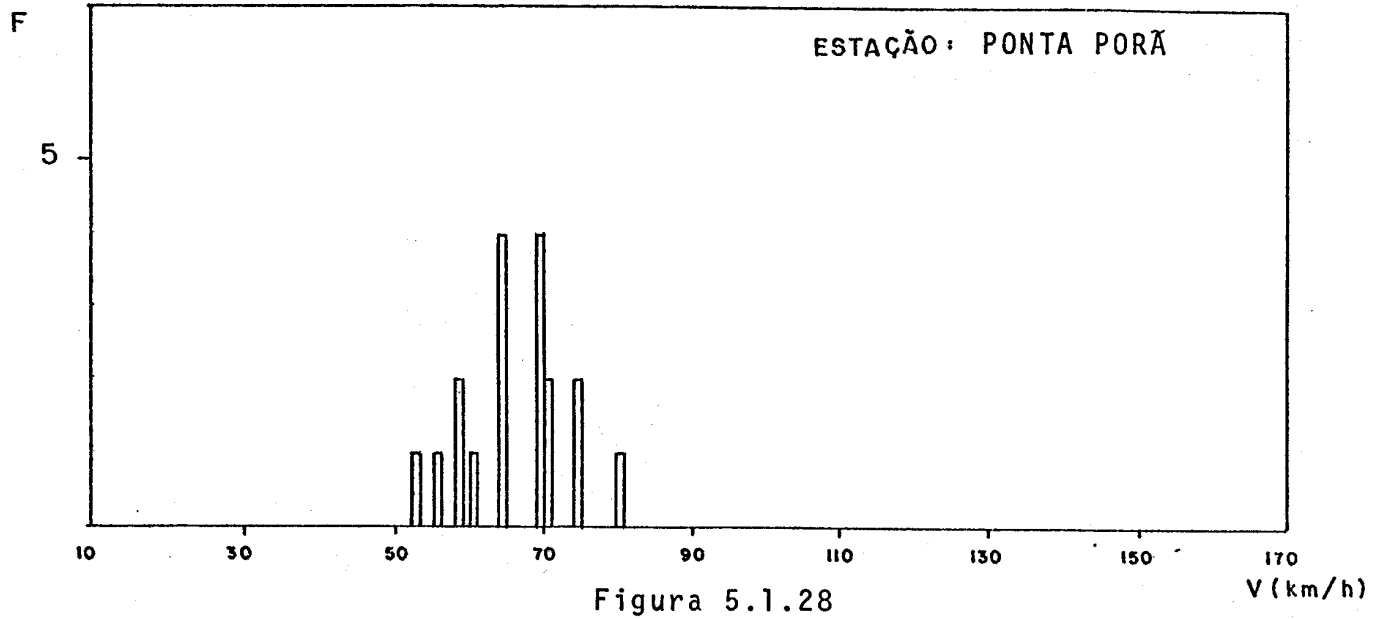
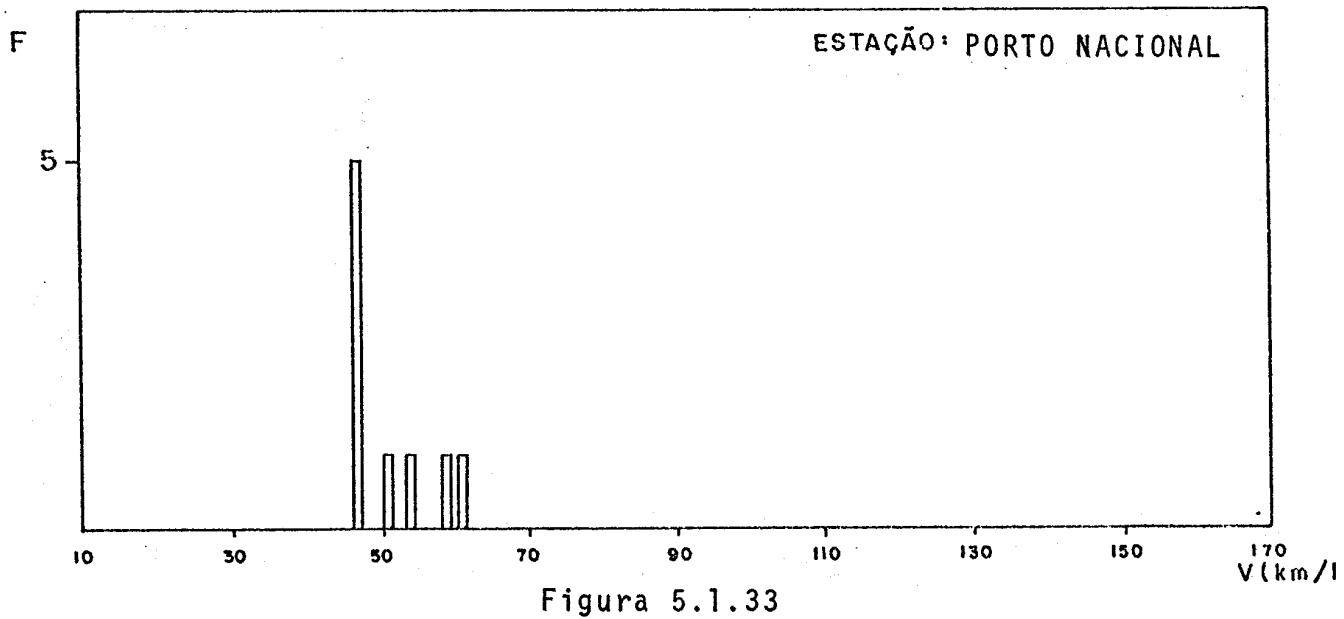
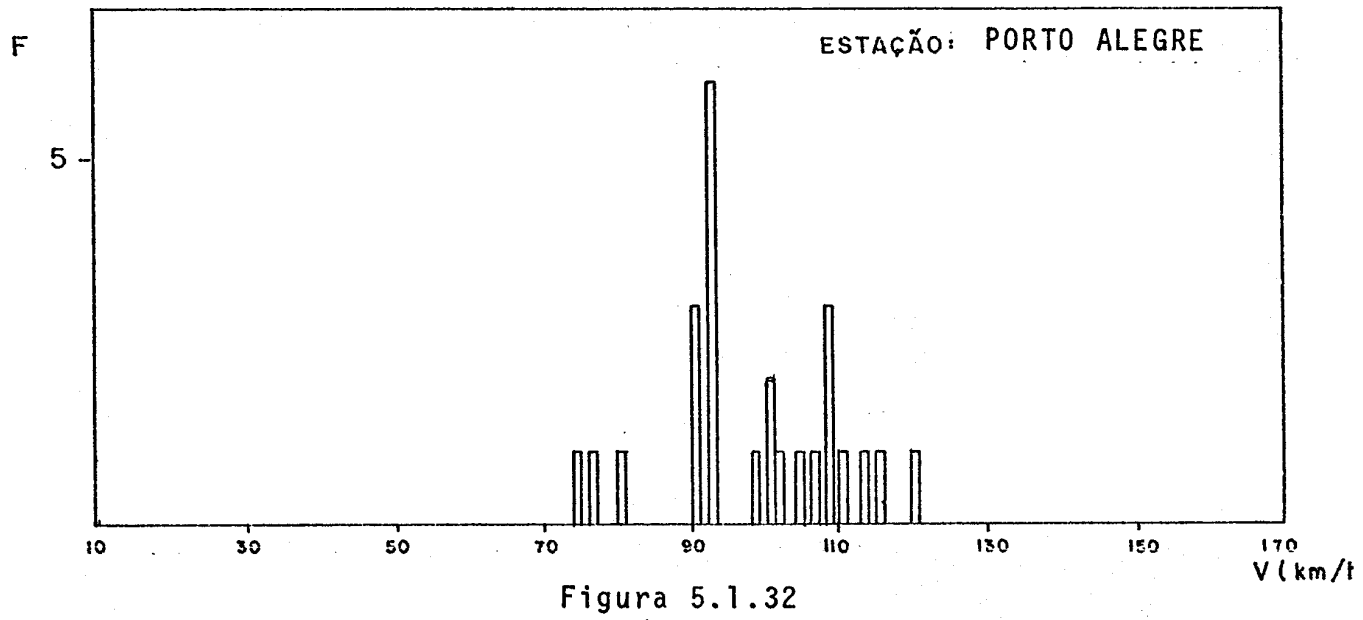
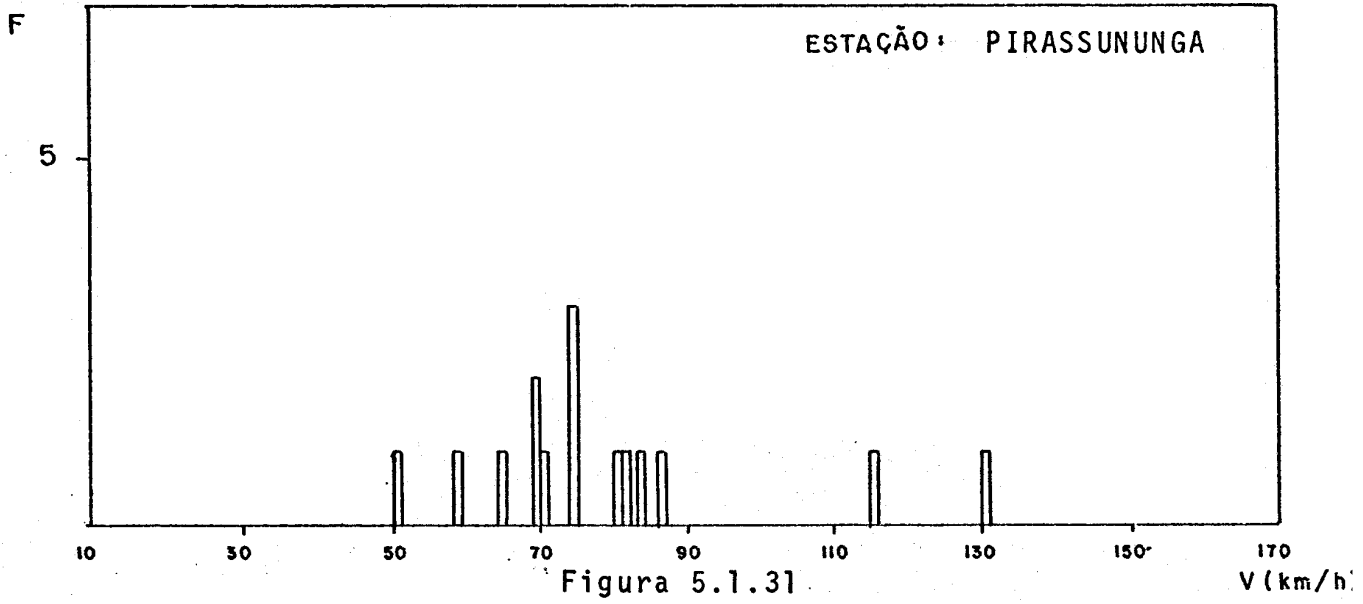
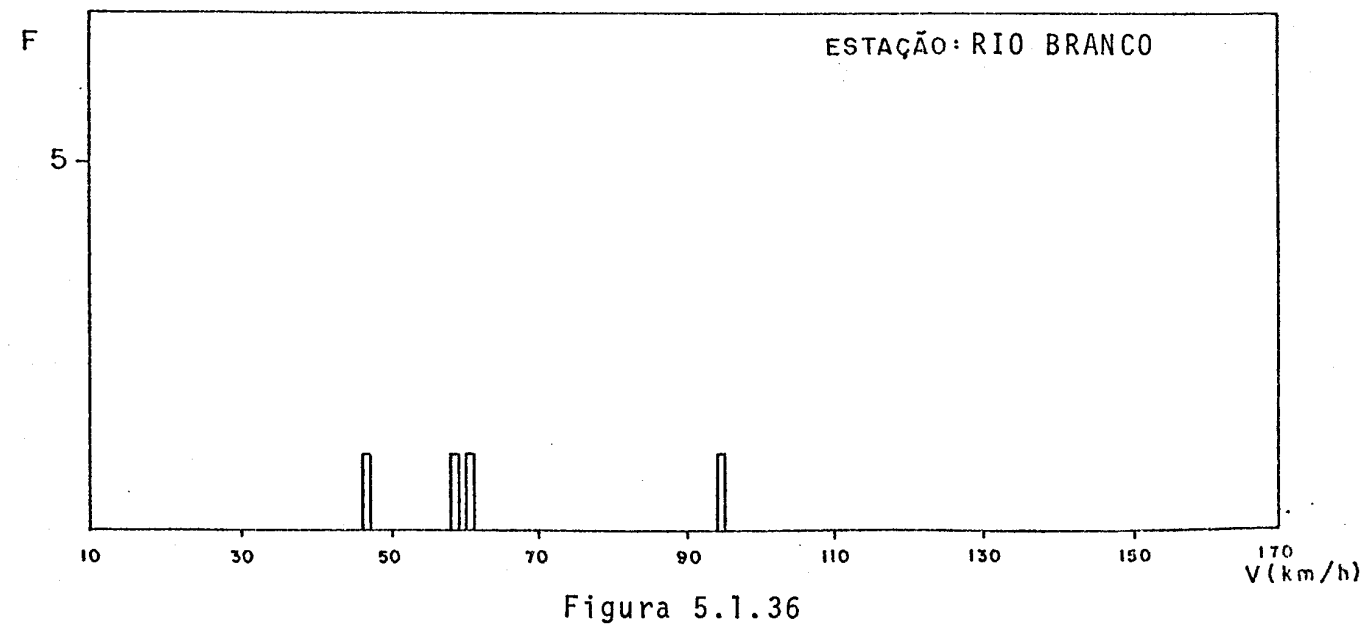
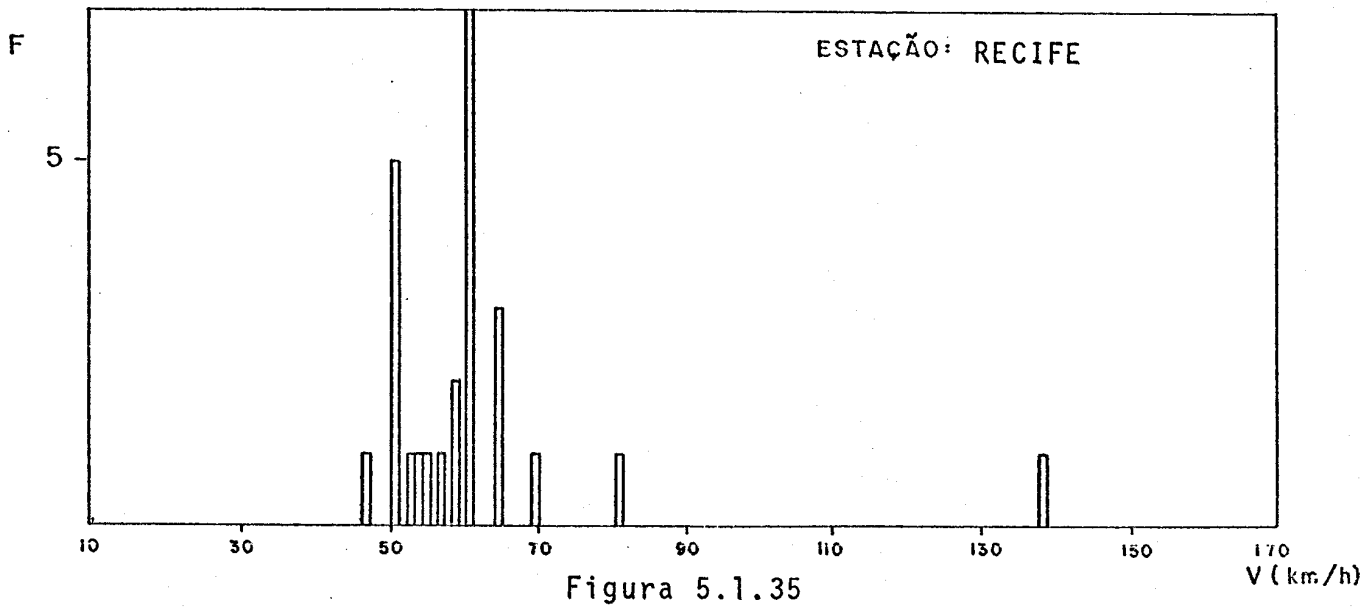
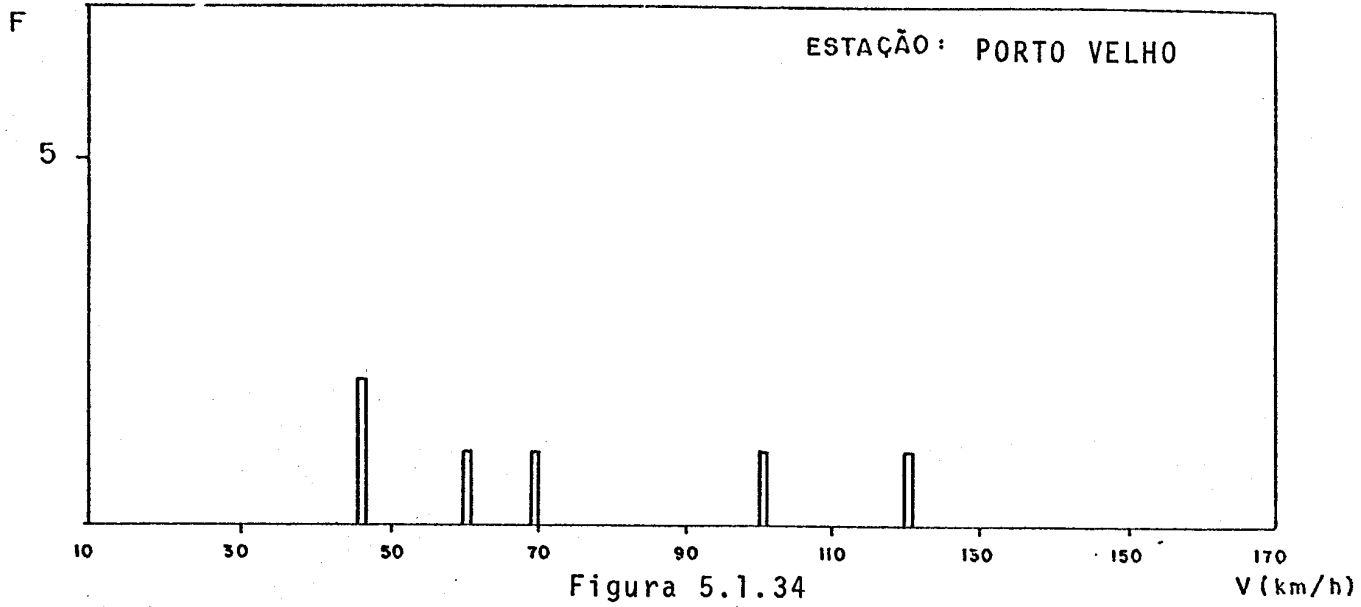


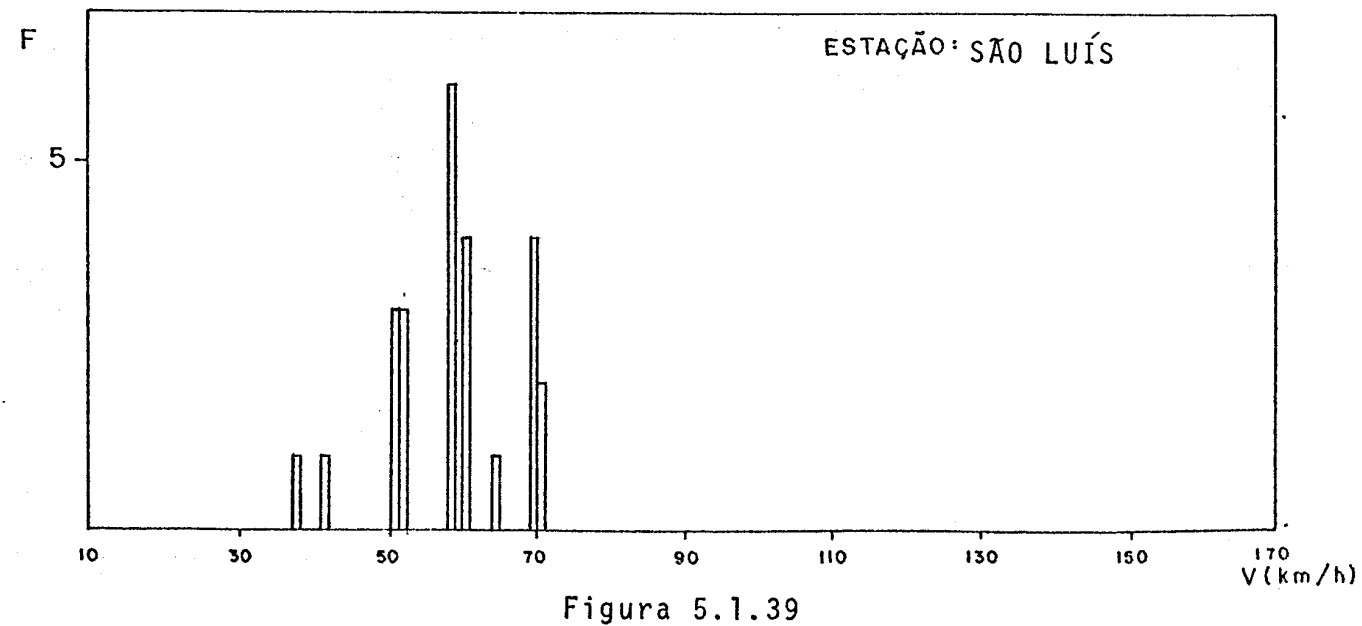
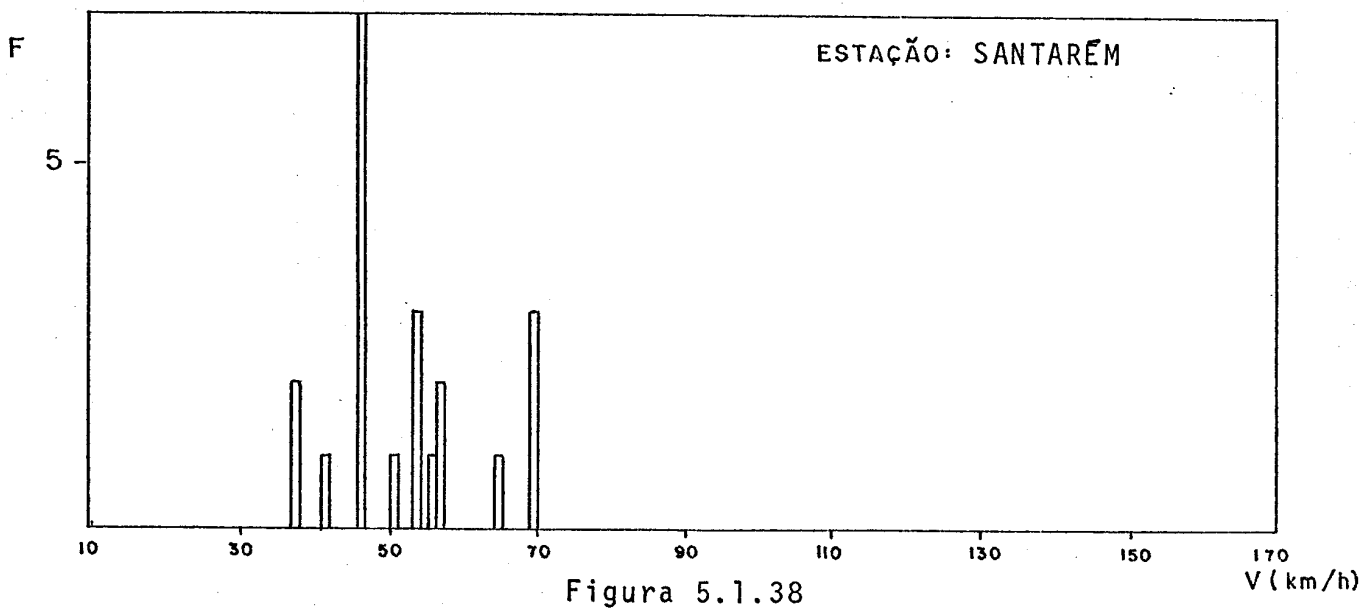
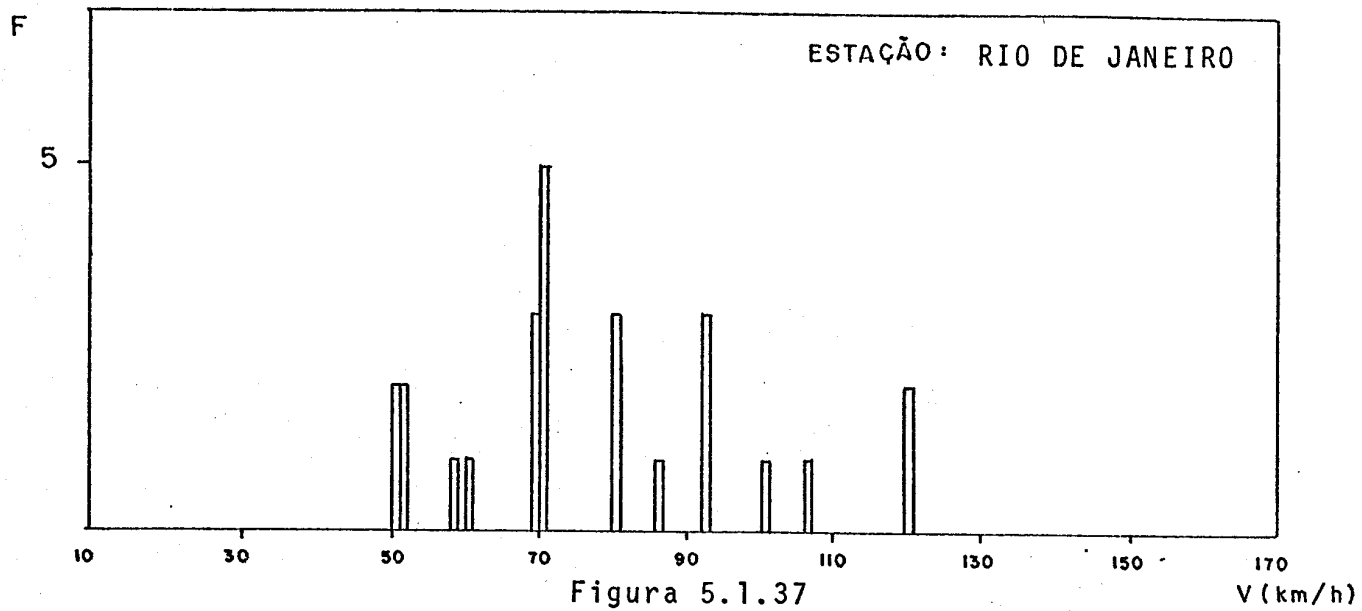
Figura 5.1.24

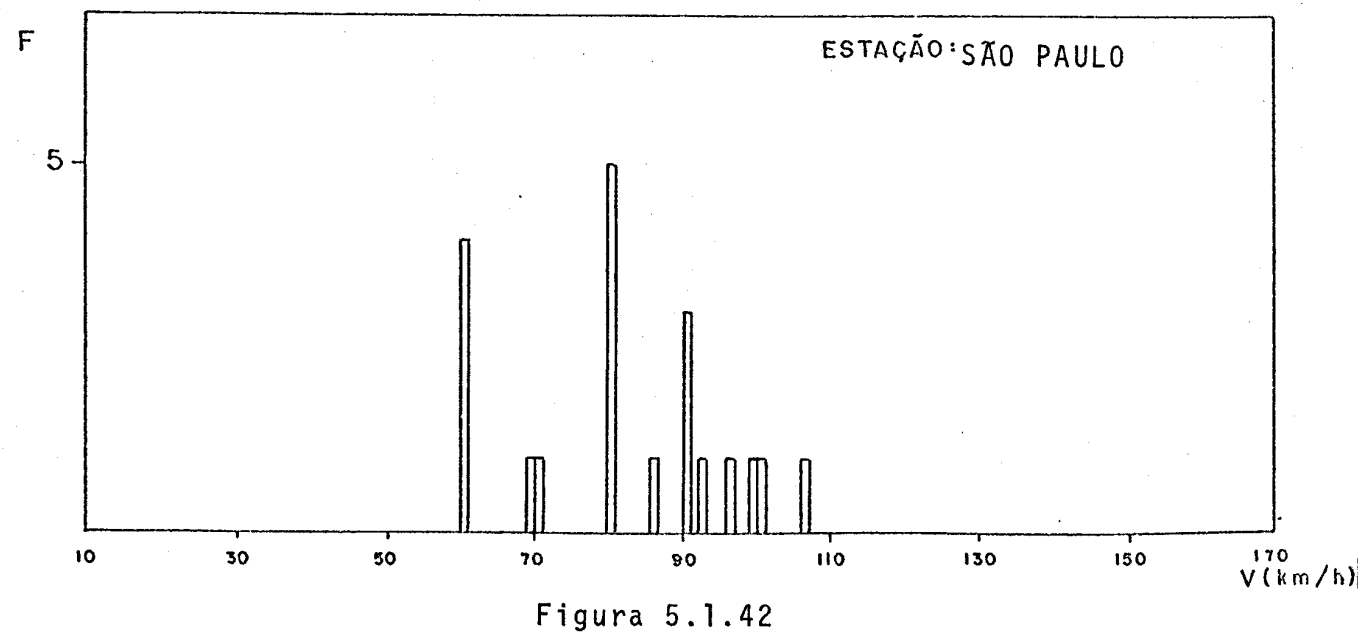
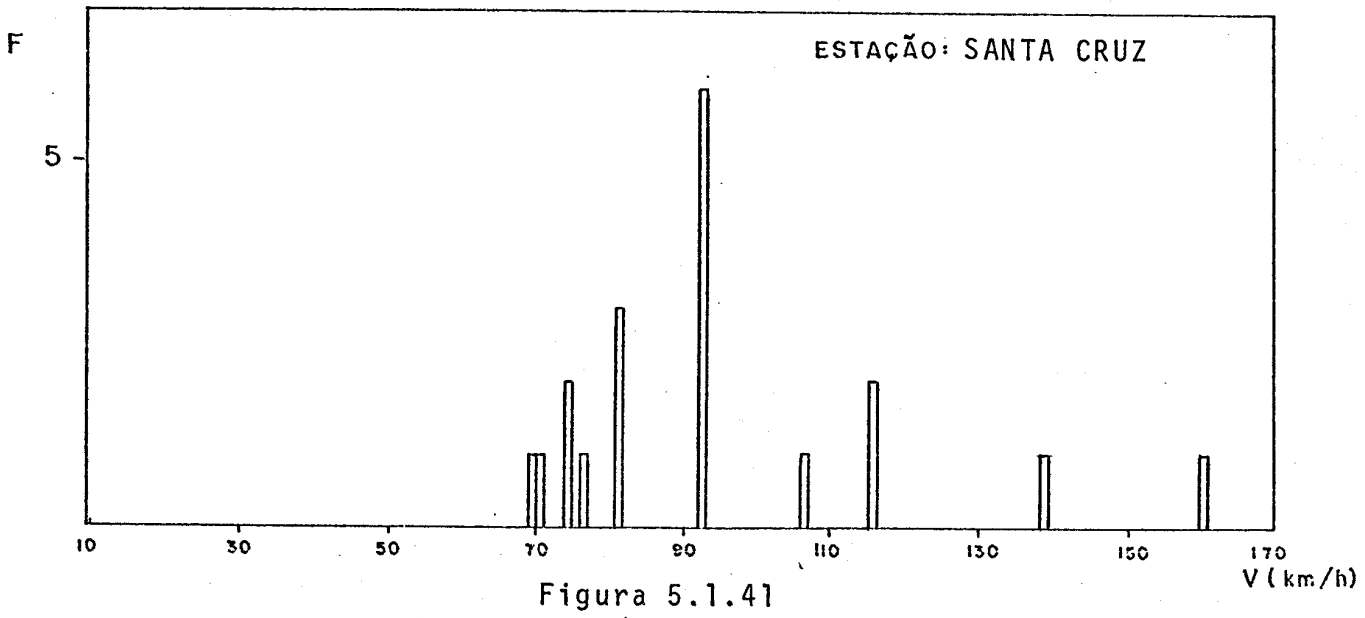
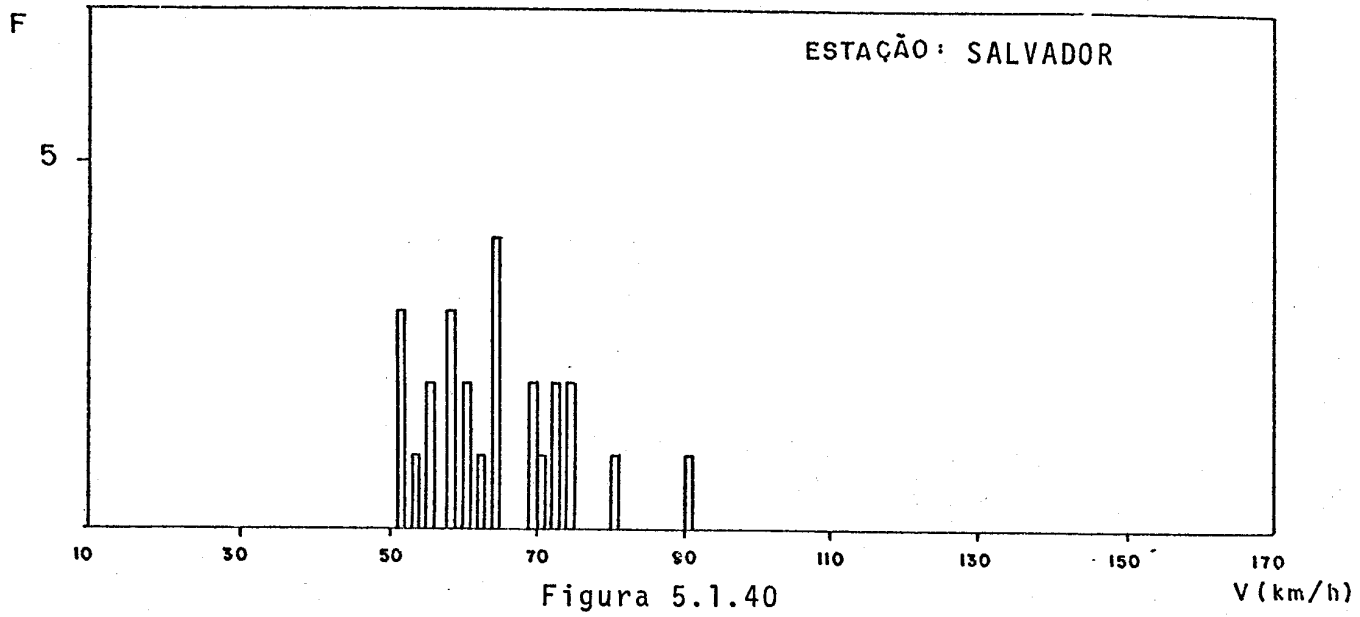


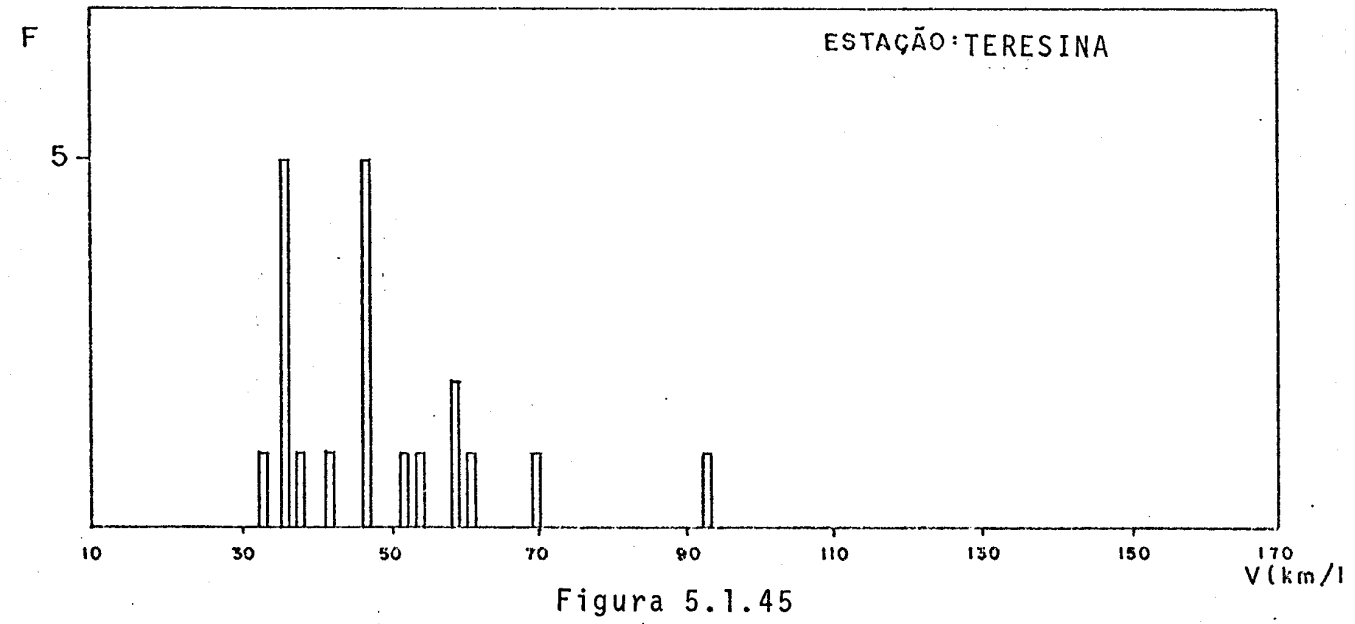
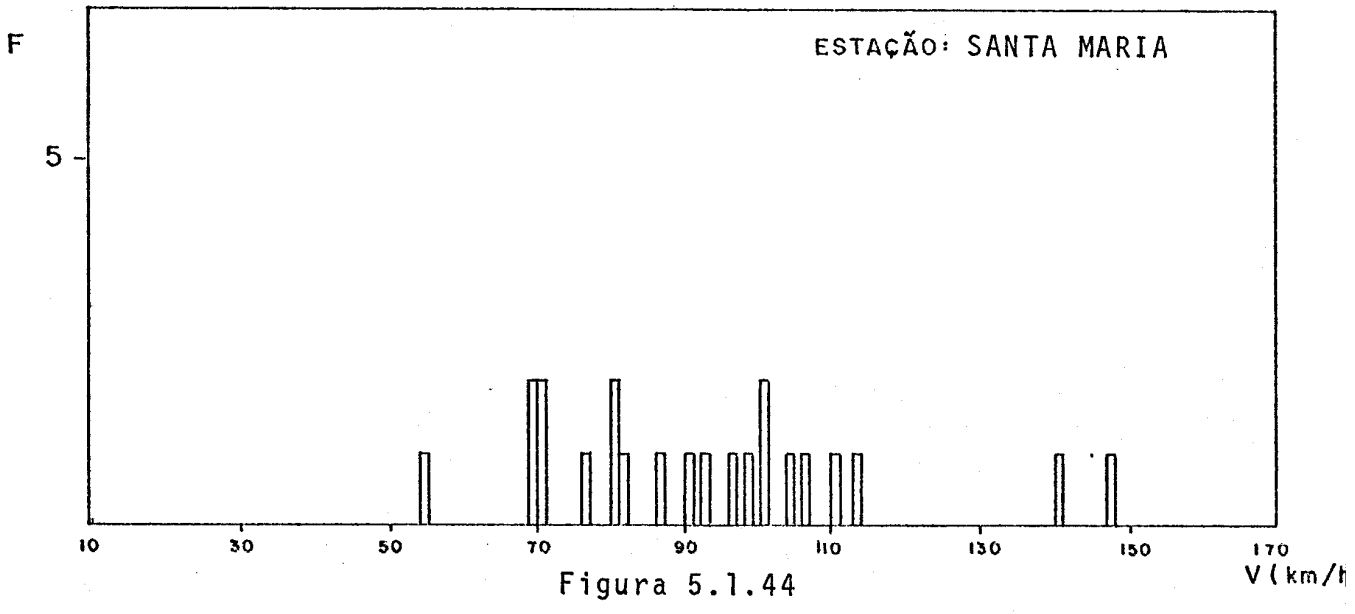
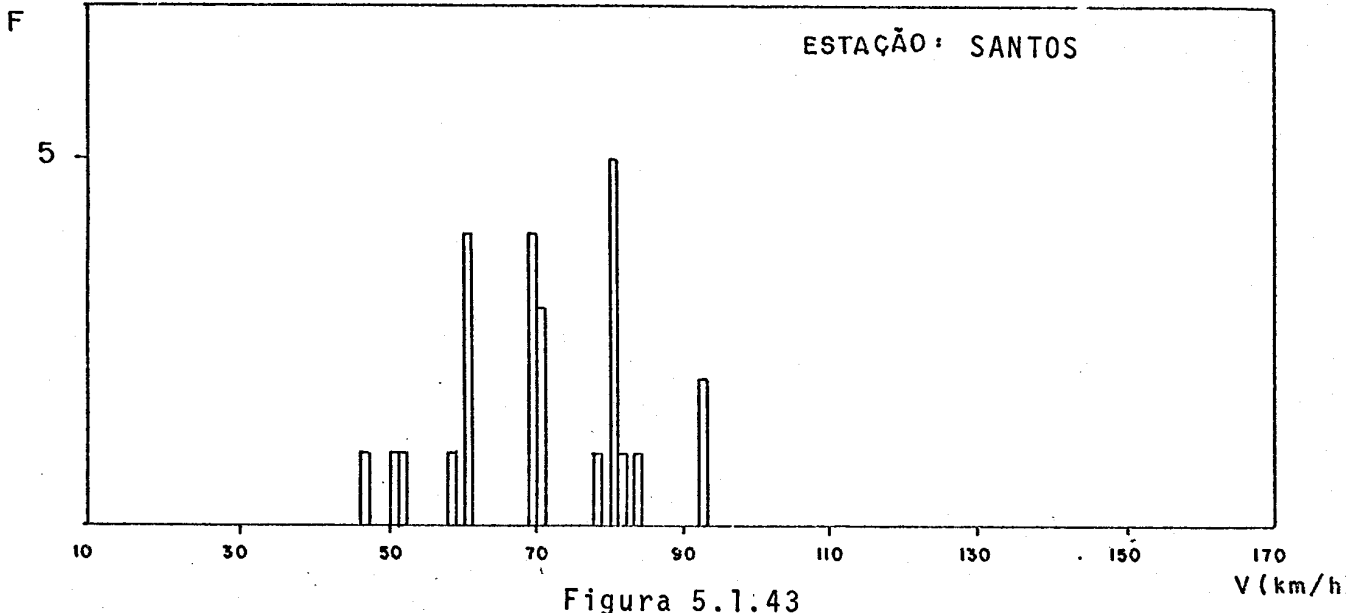












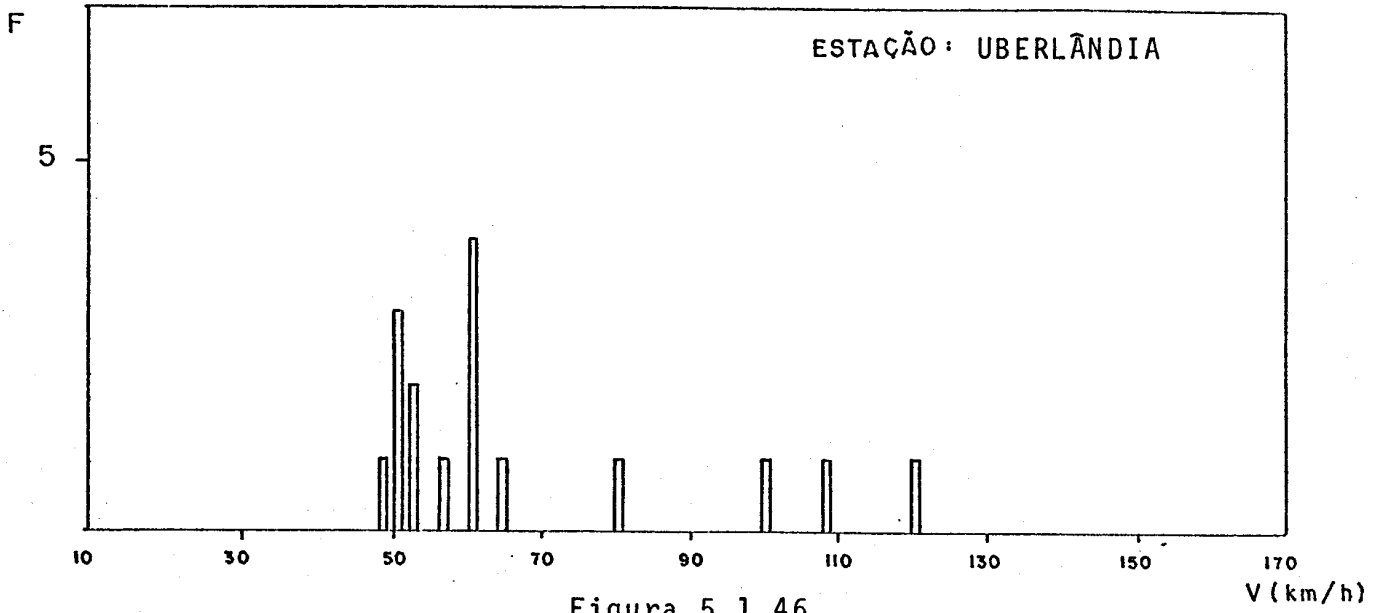


Figura 5.1.46

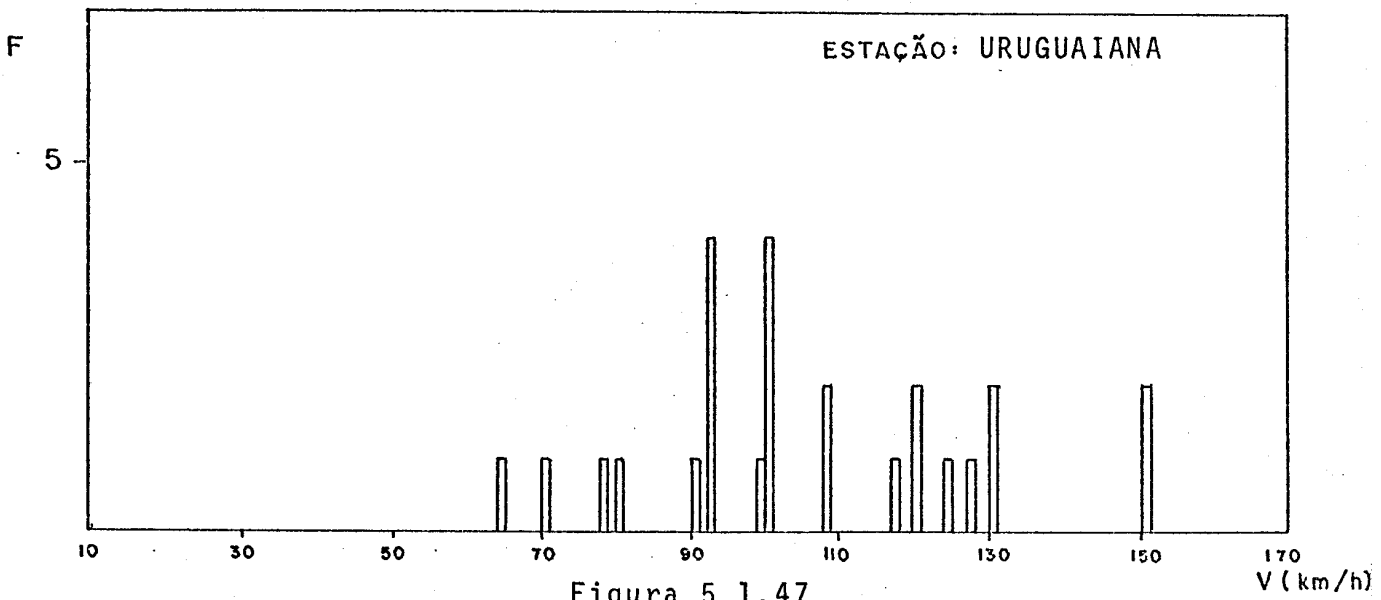


Figura 5.1.47

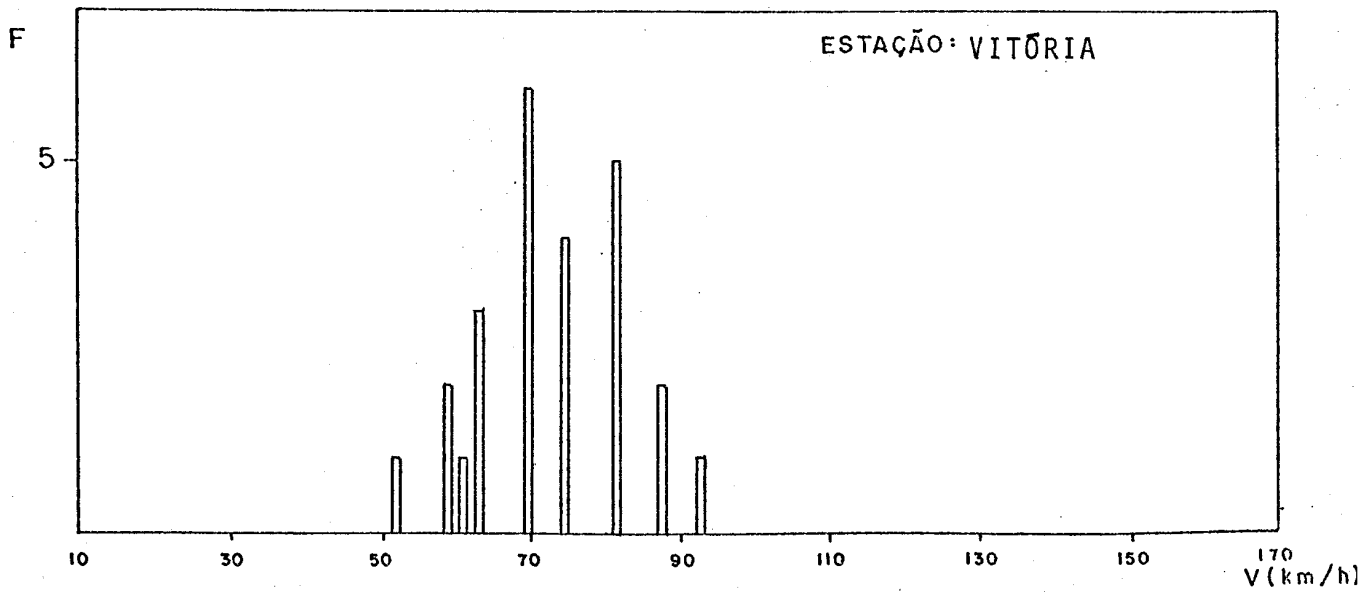


Figura 5.1.48

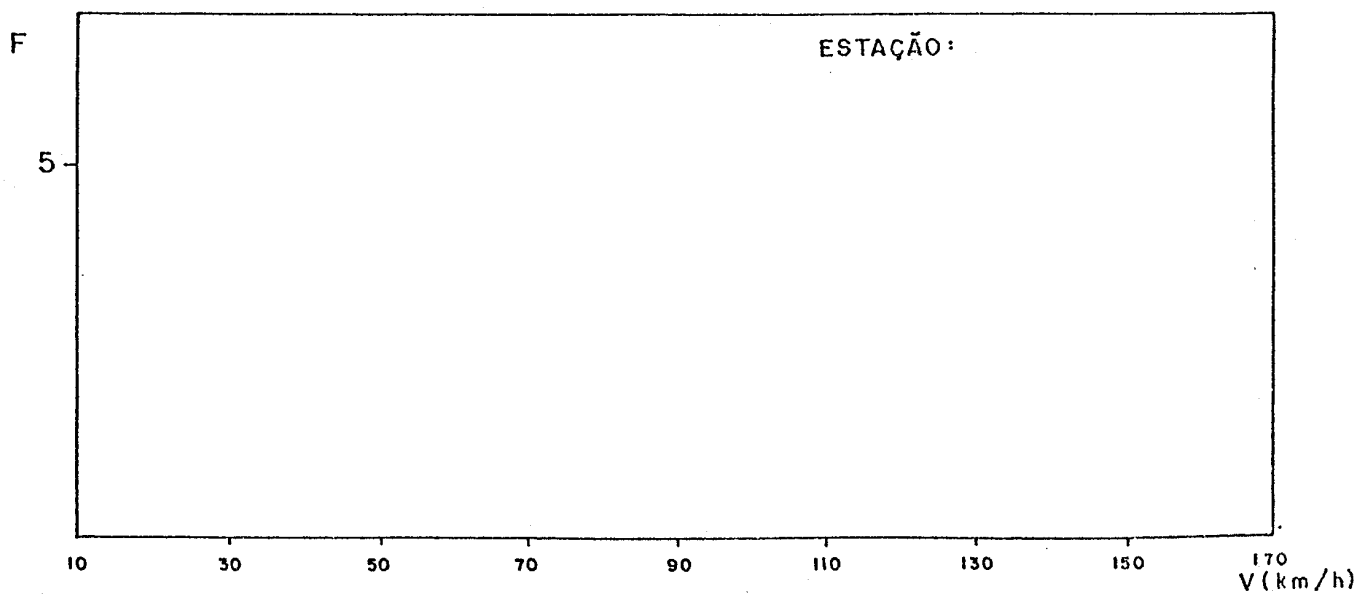
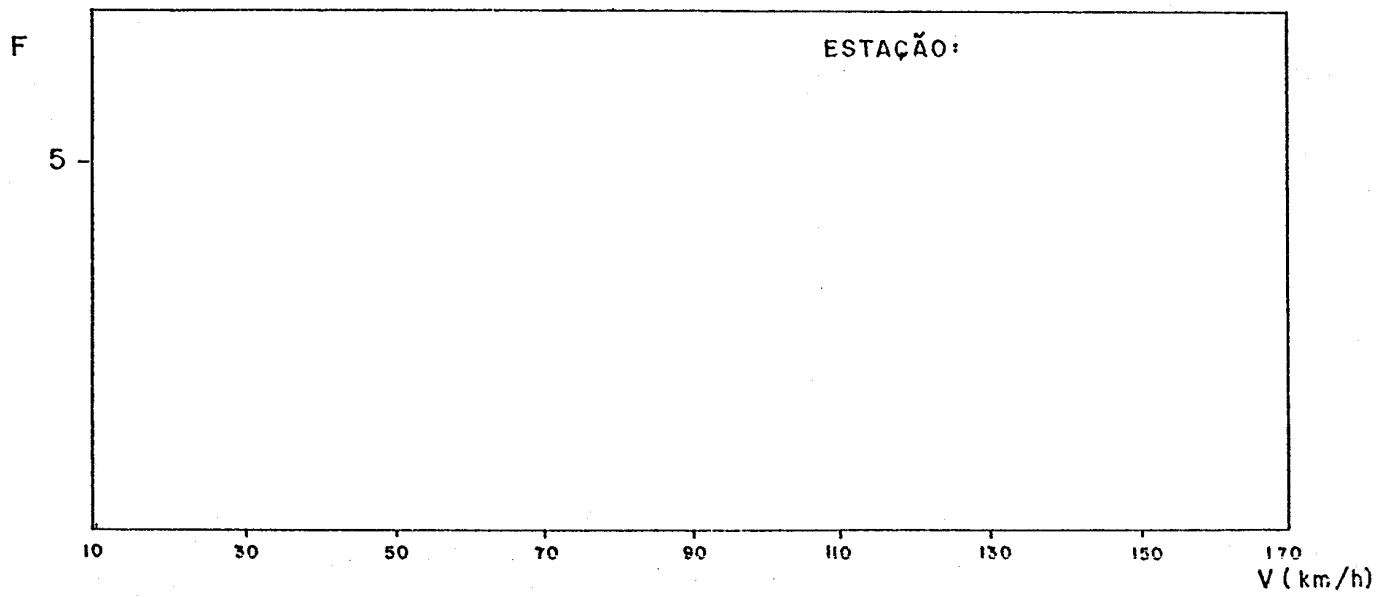
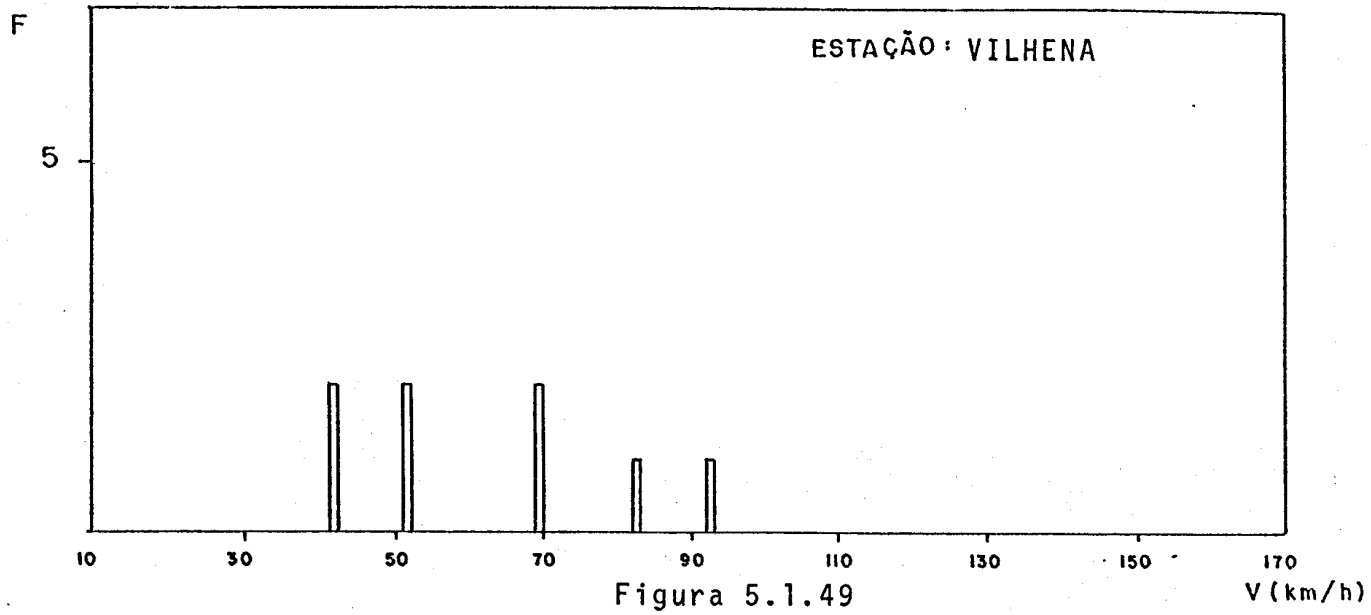


TABELA 5.1.1

| Nº | ESTAÇÃO | ANOS DE REG. | $\bar{\beta}$ | $\bar{\gamma}$ | B(n) | $\bar{\gamma}_0$ |
|----|----------------|--------------------|---------------|----------------|-------|------------------|
| 1 | AFONSOS | 15 | 76.45 | 4.036 | 0.908 | 3.665 |
| 2 | ANAPOLIS | 2 | 71.88 | 23.639 | - | - |
| 3 | AMAPA | 24 | 52.89 | 6.506 | 0.943 | 6.135 |
| 4 | BELEM | 25 | 61.75 | 5.238 | 0.945 | 4.950 |
| 5 | BELO HORIZONTE | 25 | 56.74 | 7.244 | 0.945 | 6.846 |
| 6 | BRASILIA | 15 | 69.30 | 6.068 | 0.908 | 5.510 |
| 7 | BAGE | 14 | 76.86 | 6.156 | 0.901 | 5.547 |
| 8 | BOA VISTA | 9 | 69.24 | 10.293 | 0.843 | 8.667 |
| 9 | CARAVELAS | 24 | 51.58 | 8.001 | 0.943 | 7.545 |
| 10 | CACHIMBO | 16 | 58.50 | 3.665 | 0.914 | 3.350 |
| 11 | CUIABA | 12 | 62.65 | 7.237 | 0.883 | 6.390 |
| 12 | CAMPINAS | 25 | 90.15 | 6.906 | 0.945 | 6.526 |
| 13 | CURITIBA | 25 | 80.26 | 5.638 | 0.945 | 5.328 |
| 14 | CAMPO GRANDE | 25 | 85.95 | 5.320 | 0.945 | 5.027 |
| 15 | CAROLINA | 8 | 49.31 | 13.121 | 0.820 | 10.759 |
| 16 | CUMBICA | 25 | 81.04 | 6.623 | 0.945 | 6.259 |
| 17 | FORTALEZA | 25 | 56.43 | 5.959 | 0.945 | 5.631 |
| 18 | FLORIANOPOLIS | 25 | 85.62 | 5.883 | 0.945 | 5.559 |
| 19 | FOZ DO IGUAÇU | 21 | 63.07 | 4.480 | 0.934 | 4.184 |
| 20 | F.DE NORONHA | 24 | 58.57 | 8.908 | 0.943 | 8.400 |
| 21 | GOIANIA | 22 | 61.92 | 6.588 | 0.937 | 6.173 |
| 22 | JACAREACANGA | 15 | 40.74 | 5.996 | 0.908 | 5.444 |
| 23 | LONDRINA | 13 | 70.61 | 3.955 | 0.893 | 3.532 |
| 24 | LAPA | 8 | 47.97 | 4.447 | 0.820 | 3.647 |
| 25 | MANAUS | 17 | 62.78 | 4.289 | 0.918 | 3.937 |
| 26 | MACEIO | 25 | 48.19 | 6.439 | 0.945 | 6.085 |
| 27 | NATAL | 25 | 48.62 | 6.360 | 0.945 | 6.010 |
| 28 | PONTA PORA | 18 | 61.36 | 10.604 | 0.923 | 9.787 |
| 29 | PARNAIBA | 14 | 72.97 | 13.467 | 0.901 | 5.045 |
| 30 | PETROLINA | 9 | 39.53 | 5.298 | 0.842 | 4.461 |
| 31 | PIRASSUNUNGA | 15 | 68.28 | 4.833 | 0.908 | 4.388 |
| 32 | PORTO ALEGRE | 25 | 90.46 | 9.560 | 0.945 | 9.034 |
| 33 | PORTO NACIONAL | 9 | 46.46 | 9.710 | 0.842 | 8.176 |
| 34 | PORTO VELHO | 6 | 57.79 | 3.281 | 0.752 | 2.467 |
| 35 | RECIFE | 24 | 54.17 | 9.450 | 0.943 | 8.911 |
| 36 | RIO BRANCO | 4 | 56.04 | 5.209 | - | - |
| 37 | RIO DE JANEIRO | 25 | 65.77 | 4.485 | 0.945 | 4.238 |
| 38 | SANTAREM | 21 | 46.60 | 6.270 | 0.934 | 5.856 |
| 39 | SAO LUIS | 25 | 51.39 | 6.746 | 0.945 | 6.375 |
| 40 | SALVADOR | 25 | 59.01 | 8.174 | 0.945 | 7.724 |
| 41 | SANTA CRUZ | 20 | 84.26 | 5.210 | 0.931 | 4.851 |
| 42 | SAO PAULO | 20 | 74.29 | 7.607 | 0.931 | 7.082 |
| 43 | SANTOS | 25 | 62.03 | 6.155 | 0.945 | 5.816 |
| 44 | SANTA MARIA | 22 | 81.19 | 5.291 | 0.937 | 4.958 |
| 45 | TERESINA | 20 | 40.40 | 4.348 | 0.931 | 4.048 |
| 46 | UBERLANDIA | 16 | 55.45 | 3.716 | 0.914 | 3.396 |
| 47 | URUGUAIANA | 25 | 92.71 | 5.149 | 0.945 | 4.866 |
| 48 | VITORIA | 25 | 65.30 | 8.860 | 0.945 | 8.373 |
| 49 | VILHENA | 8 | 54.19 | 4.712 | 0.820 | 3.864 |

5.2 Variabilidade dos estimadores

Na presença de séries com número reduzido de registros, os estimadores dos parâmetros das distribuições de valores extremos apresentam grande variabilidade, principalmente os parâmetros de forma γ . Além disso, em estações próximas existe a possibilidade de resultarem valores de $\hat{\gamma}$ bastante dispersos.

Torna-se necessário poder concluir se tais diferenças se devem ao fato de que os correspondentes valores dos parâmetros sejam realmente diferentes ou se são consequência da variabilidade do estimador.

Thoman 'et al'¹⁴ estudaram pelo método de Monte Carlo as propriedades dos estimadores máximo-verossímeis dos parâmetros da distribuição de Weibull, a qual está intimamente vinculada com a de Frechet, razão pela qual podem utilizar-se para os estimadores desta, os resultados do trabalho citado. Esta afirmação fica comprovada analisando o desenvolvimento apresentado na referência (11).

A tabela 1 contida na referência (14) permite então construir intervalos de confiança para a relação $\hat{\gamma}/\gamma$, os quais dependem do tamanho da amostra de dados. Encontram-se a seguir indicadas as expressões representativas dos intervalos para séries de cinco, dez, vinte e trinta anos de registros, a saber:

$$\begin{aligned}
 n = 5 \quad P[0.68 \leq \hat{\gamma}/\gamma \leq 2.78] &= 0.90 \\
 n = 10 \quad P[0.74 \leq \hat{\gamma}/\gamma \leq 1.81] &= 0.90 \\
 n = 20 \quad P[0.79 \leq \hat{\gamma}/\gamma \leq 1.45] &= 0.90 \\
 n = 30 \quad P[0.82 \leq \hat{\gamma}/\gamma \leq 1.33] &= 0.90
 \end{aligned}
 \tag{5.2.1}$$

onde: $\hat{\gamma}$ = valor estimado

γ = valor real

Isto significa, por exemplo, que para uma série de 20 anos de registros, correspondente a uma determinada estação, com $\gamma = 7$ existe a probabilidade igual a 0.90 de obter um $\hat{\gamma}$ estimado maior que $0.79 \times 7 = 5.53$ e menor que $1.45 \times 7 = 10.15$.

Constata-se desta forma a larga faixa de variação do estimador em estudo.

Para ilustrar o problema em questão, construíram-se os gráficos constantes nas figuras 5.2.1- 2. Indicam-se respectivamente, os valores estimadores do parâmetro de forma γ obtidos através dos métodos da máxima verossimilhança (tabela 4.2.1) e mínimos quadrados (tabela 5.1.1), bem como suas frequências.

As curvas traçadas nas mesmas figuras, foram construídas com base em 5.2.1, e representam os intervalos de confiança dos estimadores, adotando porém um fator de forma único para todas as estações. Este procedimento será esclarecido no Capítulo 6.

Consideraram-se para tal apenas as estações classe A^(*), com os intervalos assumindo os seguintes valores:

a) Estimadores obtidos pelo método da máxima verossimilhança:

$$\gamma_{\text{único}} = 5.730$$

$$n = 5 \quad P[3.896 \leq \hat{\gamma} \leq 15.929] = 0.90$$

$$n = 10 \quad P[4.240 \leq \hat{\gamma} \leq 10.371] = 0.90$$

$$n = 20 \quad P[4.527 \leq \hat{\gamma} \leq 8.309] = 0.90$$

$$n = 30 \quad P[4.699 \leq \hat{\gamma} \leq 7.621] = 0.90$$

(5.2.2)

b) Estimadores obtidos pelo método dos mínimos quadrados:

$$\gamma_{\text{único}} = 5.871$$

$$n = 5 \quad P[3.992 \leq \hat{\gamma} \leq 16.321] = 0.90$$

$$n = 10 \quad P[4.345 \leq \hat{\gamma} \leq 10.627] = 0.90$$

$$n = 20 \quad P[4.638 \leq \hat{\gamma} \leq 8.513] = 0.90$$

$$n = 30 \quad P[4.814 \leq \hat{\gamma} \leq 7.808] = 0.90$$

(*) Estação onde a diferença entre os estimadores $\hat{\gamma}$, obtidos mediante os métodos da máxima verossimilhança e mínimos quadrados, não ultrapassou o valor de 20%.

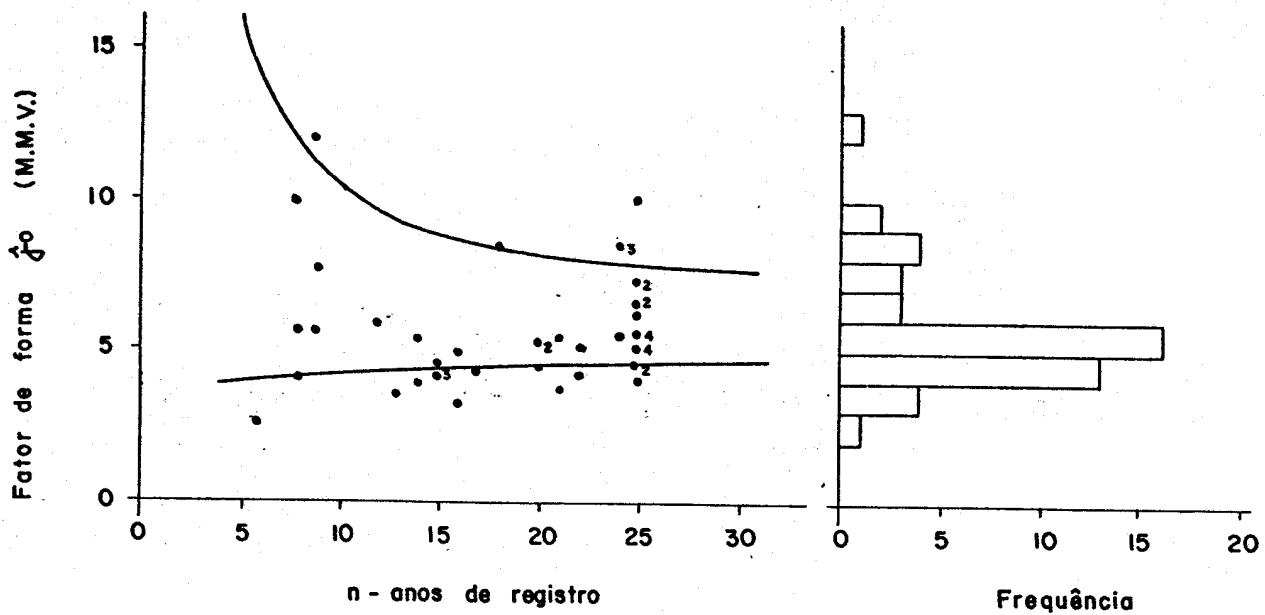


Figura 5.2.1

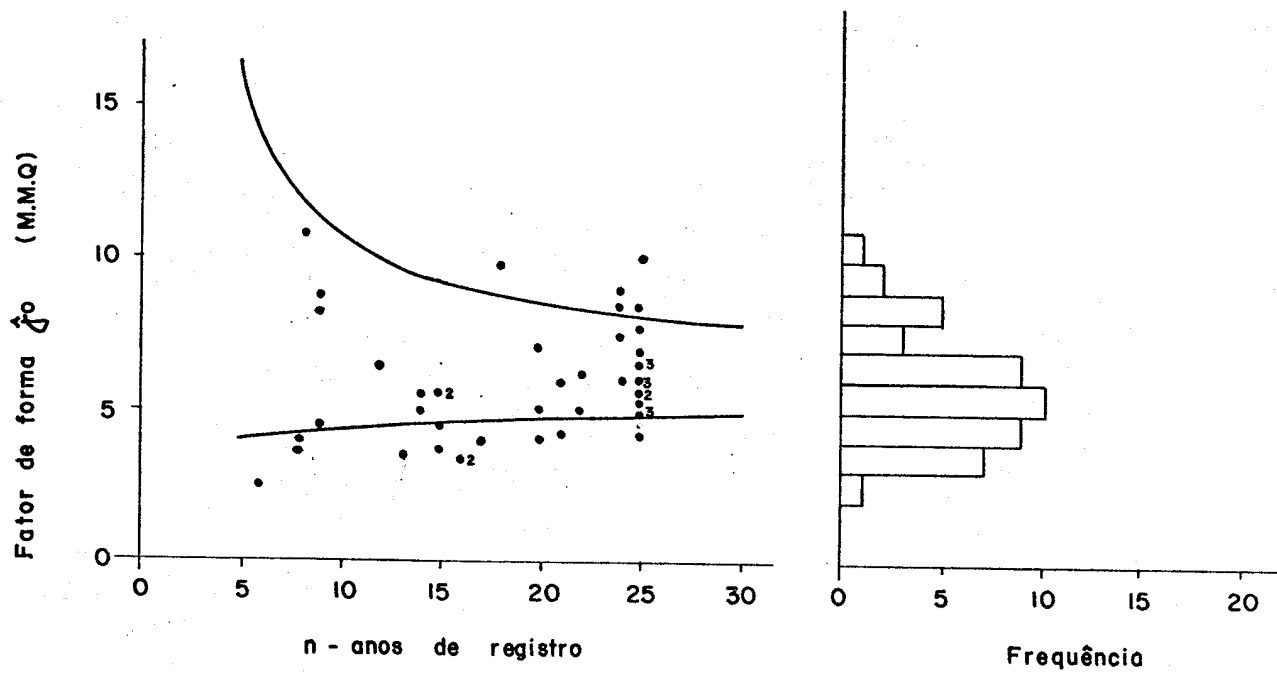


Figura 5.2.2

Observa-se desta maneira, a variabilidade do estimador para reduzidos números de registros. Por esta razão desconsideraram-se estações com menos de 5 anos de registros.

Finalmente convém ressaltar que o estimador da velocidade característica $\hat{\beta}$ não sofre variação tão acentuada, podendo-se considerar como corretos os valores determinados no capítulo 4, à base da tabela 3.2.1.

5.3 Influência da origem dos ventos

Conforme descrição apresentada no capítulo 2, várias são as fontes que originam os ventos atmosféricos. No hemisfério sul, elas se resumem principalmente em tormentas EPS (extended mature pressure systems) e trovoadas.

Em decorrência do registro de velocidades de ventos com origens diferentes, resulta em uma falta de homogeneidade da maior parte dos dados. Isto acarreta dificuldades quanto a determinação do clima de ventos extremos através do tratamento estatístico dos registros de velocidades máximas.

Há então necessidade de tratar com séries "mistas" de velocidades. Estas por certo envolvem distribuição de probabilidades diferentes daquelas empregadas para as séries de velocidades máximas anuais produzidas por qualquer uma das tormentas correntes na natureza, citadas no capítulo 2.

Thom⁸ sugere para tormentas extratropicais (ou EPS) e tropicais, os valores únicos do coeficiente de forma $\gamma = 9.0$ e 4.5 , respectivamente. Analisando-se o trabalho de Gomes e Vickery, conclui-se que o valor de γ para trovoadas oscila entre 4 e 6.

Com base nestes valores e com o intuito de avaliar o comportamento dos parâmetros da distribuição de Frechet, no caso de séries mistas oriundas da ocorrência de dois tipos de tormentas predominantes, EPS e trovoadas, utilizou-se o seguinte procedimento:

- a) Tomar uma série A de velocidades máximas anuais, extraída da tabela 3.2.1, que apresentou após ajuste da distribuição de Frechet um valor $\hat{\gamma}_A \approx 9$, e dividir cada registro pelo valor

- correspondente de $\hat{\beta}_A$, obtendo uma série homogeneizada V_{A_i} ;
- b) Tomar uma série B, de mesmo número de dados, com $\hat{\gamma}_B \cong 4.5$ e dividir cada registro por $\hat{\beta}_B$, obtendo uma série V_{B_i} ;
- c) Multiplicar os elementos da série B por um coeficiente α ;
- d) Formar uma série artificial tomando para cada ano o maior dos valores V_{A_i} ou αV_{B_i} ;
- e) Determinar mediante o método da máxima verossimilhança os parâmetros $\hat{\beta}$ e $\hat{\gamma}$ da série artificial;
- f) Repetir o procedimento alternando aleatoriamente a ordem dos elementos da série V_{B_i} .

Com os valores encontrados no ítem e) traçaram-se as curvas indicadas nas figuras 5.3.1-2, que possibilitaram visualizar o comportamento dos parâmetros da distribui o de Frechet quando empregamos gradualmente as séries "mistas". O estudo precedente foi efetuado para valores de α variando entre 0.5 e 1.5.

A seguir procurou-se avaliar o erro cometido quando utilizamos simplesmente a distribui o de Frechet para o ajuste de uma série "mista" de velocidades, procedimento adotado no capítulo 4, a qual representa provavelmente a situa o real na maioria das esta o es em estudo.

Neste sentido construiu-se o gráfico da figura 5.3.3, que relaciona as velocidades com períodos de recorrência R. Neste gráfico se encontra traçada a reta correspondente   distribui o de Frechet com os parâmetros $\hat{\gamma} = 6.331$ e $\hat{\beta} = 1.14$, extraídos das figuras 5.3.1-2, respectivamente para $\alpha = 1.0$, e uma curva ideal(exata) levando em conta a presença dos dois tipos de tormentas mencionados, para as quais também se fez uso da distribui o de Frechet, com os parâmetros (γ_1, β_1) para as tormentas EPS e (γ_2, β_2) para as tormentas elétricas ou trovoadas.

O modelo matemático desta curva "exata" obteve-se da seguinte forma: seja x a velocidade que é excedida, em média, uma vez durante o período de recorrência R. A probabilidade de que x

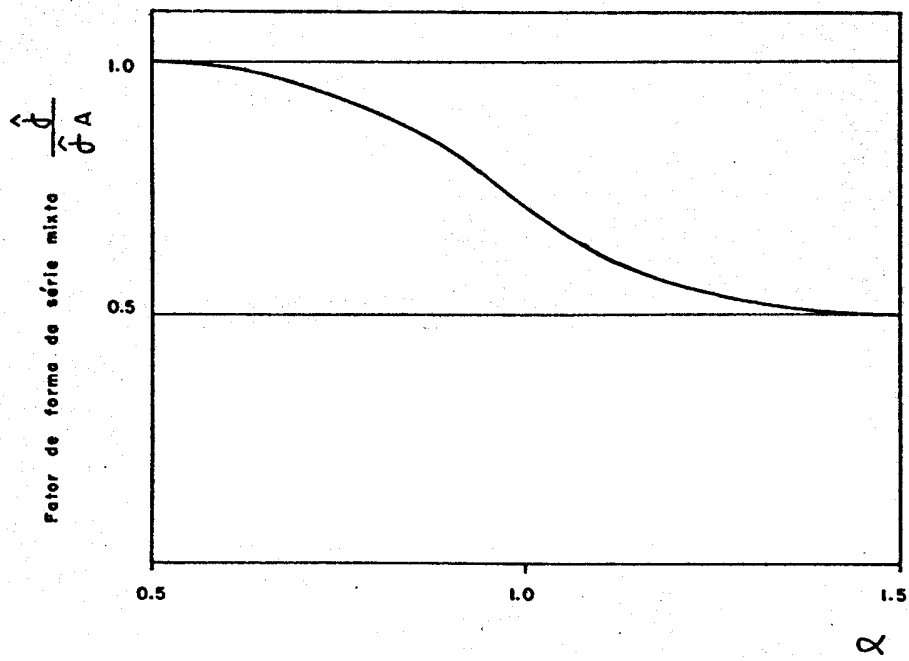


Figura 5.3.1

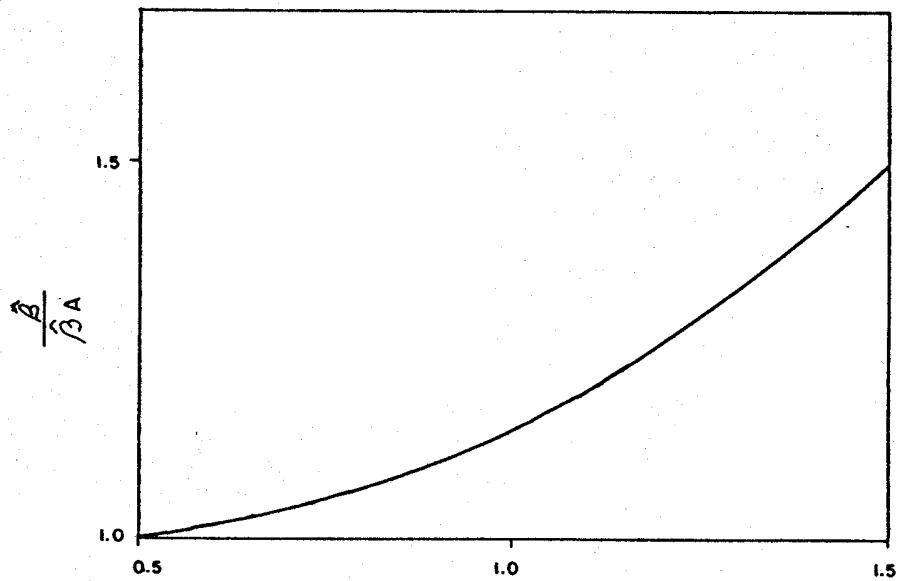


Figura 5.3.2

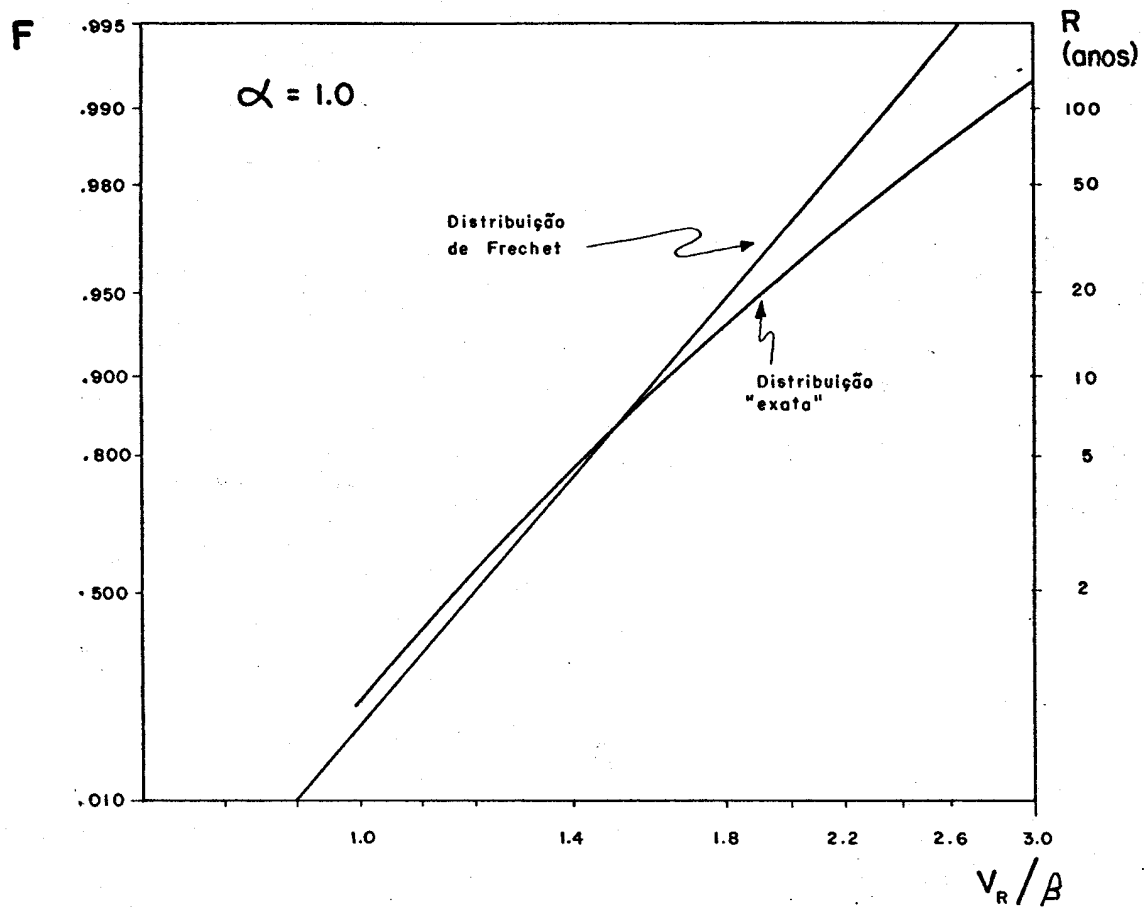


Figura 5.3.3

seja excedido em um ano será $\frac{1}{R}$, assim:

$$F = 1 - \frac{1}{R} \quad (5.3.1)$$

$$\frac{1}{R} = 1 - F \quad (5.3.2)$$

Pela distribuição de Frechet:

$$F = \exp \left[-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma} \right] \quad (5.3.3)$$

$$\text{Portanto } \frac{1}{R} = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma} \right] \quad (5.3.4)$$

Pela (5.3.4) chega-se que:

$$\text{- para tormentas EPS : } \frac{1}{R_1} = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V}{\beta_1}\right)^{-\gamma_1} \right] \quad (5.3.5)$$

$$\text{- para tormentas elétricas: } \frac{1}{R_2} = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V}{\beta_2}\right)^{-\gamma_2} \right] \quad (5.3.6)$$

com $\gamma_1 = 9.0$, $\gamma_2 = 4.5$ e $\beta_1 = \beta_2 = 1.0$

Assumindo que os fenômenos meteorológicos em questão sejam independentes, combinaram-se as expressões (5.3.5-6) pela equação^{3,15}:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1 R_2} \quad (5.3.7)$$

simulando desta maneira uma série mista e o modelo matemático adotado para a determinação das velocidades exatas.

Observando a figura 5.3.3, verifica-se que predições de velocidades com base na distribuição de Frechet, se a proximam bastante dos valores obtidos pela curva "exata" para períodos de recorrência R menores que 10 anos, com gradativa dispersão para períodos mais extensos. Para o caso de $R = 50$ anos, a velocidade é sub-estimada, com um erro da ordem de 15%, aumentando para valores maiores de R . Este erro porém, se minimiza ao levarmos em conta outros por excesso, tal como o erro devido a heterogeneidade da rugosidade superficial.

Ressalta-se ainda que na prática, em projetos estruturais, são geralmente utilizados períodos de recorrência iguais ou menores que 50 anos, de maneira que o erro acima citado não possui efeito considerável.

5.4 Efeito da heterogeneidade da rugosidade superficial

Sabe-se que a rugosidade superficial da região próxima a uma estação possui sensível influência nos registros de velocidades da mesma. Quando o terreno apresenta certa uniformidade, não há dificuldade em se corrigir estas velocidades, independente de suas direções. Multiplicaríamos as mesmas por um fator de rugosidade conforme a categoria do terreno (tab.5.4.1), obtendo a situação em terreno aberto e plano.

Na realidade porém, principalmente em aeroportos, que corresponde à totalidade das estações em estudo, quase sempre teremos direções com mais obstruções que as demais. Surge então a hipótese de que nem sempre a velocidade máxima registrada seja na realidade a velocidade máxima em terreno aberto e plano, pois o vento fluindo da direção obstruída chegará na estação com intensidade menor.

Para levar em conta este fato propôs-se o seguinte estudo, cujos resultados serão utilizados até que surjam análises mais específicas a respeito do assunto.

Baynes e Davenport¹⁶, empregam a expressão (5.4.1) como base para determinar velocidades do vento na altura de referência $Z = 10$ m a partir da velocidade do vento gradiente V_G , conhecida:

$$V_o(\theta) = \epsilon K(\theta) V_G \quad (5.4.1)$$

onde ϵ representa uma variável aleatória para levar em conta os efeitos da topografia local e atividade convectiva, e $K(\theta)$ uma função da orientação.

De forma semelhante, sendo $V(\theta)$ a velocidade do vento em campo aberto e plano, a velocidade sujeita à presença de rugosidade superficial poderia ser expressa por:

TABELA 5.4.1

| CATEGORIA | TIPO DE EXPOSIÇÃO | K'_A |
|-----------|---|--------|
| 1 | Grandes zonas de terreno aberto, em nível ou aproximadamente em nível, sem proteções. Ex: zonas costeiras planas, pântanos, campos de aviação, pradarias, charnecas, fazendas com sebes ou muros. | 1.00 |
| 2 | Terreno plano ou ondulado com obstruções tais como sebes e muros limítrofes, poucos quebra-ventos de árvores e edificações ocasionais. Ex: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos. O nível geral das obstruções é considerado a 2 m acima do terreno. | 0.93 |
| 3 | Terrenos cobertos por numerosas obstruções grandes. Ex: zonas de parques e bosques com muitas árvores, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios de grandes cidades. O nível geral dos cumeeiros e obstruções é considerado a 10 m acima do terreno, porém esta categoria inclui zonas de construções maiores que não podem ser consideradas na categoria 4. | 0.78 |
| 4 | Terrenos cobertos por numerosas obstruções grandes com uma altura média dos cumeeiros de 25 m ou mais. Ex: centro de grandes cidades nas quais as edificações são altas e não demasiadamente afastadas. | 0.67 |

Obs.: A tabela acima foi extraída do projeto de Norma da NB-5.

$$V_o(\theta) = K'_A(\theta) V(\theta) \quad (5.4.2)$$

Consideremos agora um ponto A, representativo de qualquer das estações em estudo, com α o ângulo que define um setor dentro do qual hã a possibilidade de ocorrer um valor extremo da velocidade do vento (mãxima anual). O valor de α pode variar entre aproximadamente 45° e 360°, dependendo das direções predominantes dos ventos mãximos (Fig.5.4.1).

Aceita-se a hipõtese de que dentro do setor a função densidade de probabilidade de ocorrẽncia do vento independe de θ , ou seja, permanece constante.

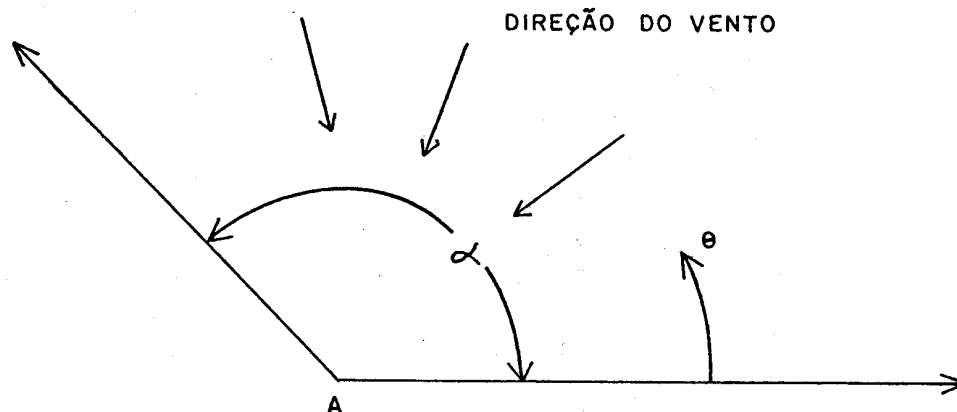


Figura 5.4.1

Define-se em seguida a função $K'_A(\theta)$, correspondente ao ponto dado A da superfície mediante a equação (5.4.2), onde:

$V(\theta)$ = velocidade do vento em terreno com exposição do tipo aberto e plano, a altura de referência $Z_o = 10$ m.

$V_o(\theta)$ = velocidade do vento a altura de referência Z_o em A.

A função $K'_A(\theta)$ da equação (5.4.2) leva em conta o efeito, sobre as velocidades em A, da rugosidade do terreno na

vizinhança de A.

Caso numa região ao redor de A, dentro do setor definido por α , existisse uma área com características constantes, $K'_A(\theta)$ seria constante, com valores médios dados pela tabela 5.4.1.

A maneira correta de determinar a função $K'_A(\theta)$ seria através de um modelo topográfico da área, testado em túnel de vento. De modo aproximado porém, pode ser avaliada com base nos coeficientes da tabela 5.4.1 e do conhecimento da região.

Consideremos a seguir a situação onde a função $K'_A(\theta)$ não seja constante no interior de um mesmo setor. Teríamos que definir neste caso a função real correspondente (Fig.5.4.2), possibilitando calcular os parâmetros estatísticos:

$$\text{valor médio: } \overline{K'_A(\theta)} = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} K'_A(\theta) d\theta \quad (5.4.3)$$

$$\text{variância: } \sigma_K^2 = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} [K'_A(\theta) - \overline{K'_A(\theta)}]^2 d\theta \quad (5.4.4)$$

$$\text{coeficiente de variação: } C_K = \frac{\sigma_K}{\overline{K'_A(\theta)}} \quad (5.4.5)$$

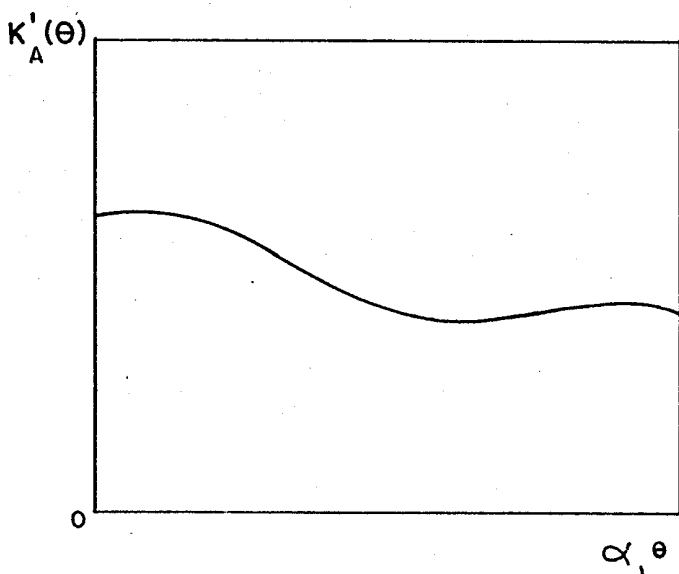


Figura 5.4.2

A presença de rugosidade superficial próxima a uma estação (ponto A), faz com que ocorra uma redução no fator de forma $\hat{\gamma}$ da distribuição de Frechet. Observou-se este fato, analisando séries de ventos máximos anuais (velocidades de rajadas) de estações do Brasil (Belo Horizonte, Florianópolis e Salvador), Argentina¹⁰ (C. Rivadavia) e Inglaterra¹⁷ (Birmingham), que compõem a tabela 5.4.2. As séries originais foram modificadas aleatoriamente, com a função $K_A^i(\theta)$ assumindo os seguintes valores:

$$\begin{aligned} K_A^i(\theta) &= 1 & 0 < \theta < \alpha/2 \\ K_A^i(\theta) &= C_2 & \alpha/2 \leq \theta < \alpha \end{aligned} \quad (5.4.6)$$

onde $\alpha = 360^\circ$

A figura 5.4.3 mostra um esquema representativo das funções (5.4.6).

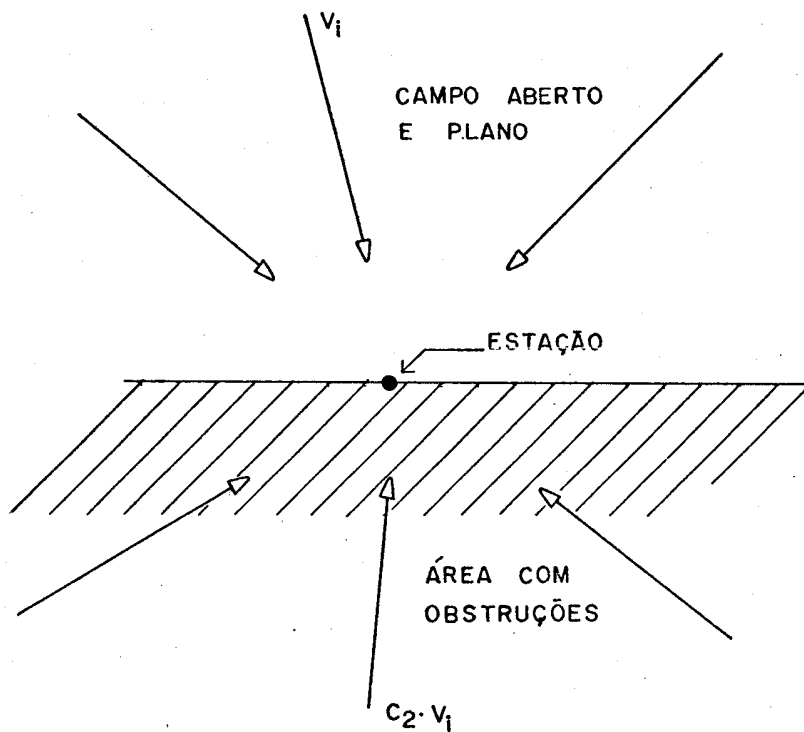


Figura 5.4.3

Desta maneira, parte dos elementos constituintes das séries originais ficaram alterados pelo fator multipli-

TABELA 5.4.2

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BELO HORIZONTE | 60 | 51 | 60 | 69 | 51 | 58 | 69 | 51 | 50 | 51 | 69 | 60 | 58 | 70 | 70 | 70 | 70 | 50 | 80 | 44 | 60 | 80 | 80 | 58 | 60 |
| FLORIANOPOLIS | 106 | 87 | 115 | 120 | 161 | 120 | 92 | 69 | 83 | 76 | 70 | 76 | 80 | 70 | 100 | 92 | 104 | 90 | 90 | 92 | 97 | 115 | 104 | 87 | 92 |
| SALVADOR | 74 | 58 | 64 | 60 | 70 | 69 | 64 | 69 | 55 | 64 | 74 | 58 | 62 | 53 | 72 | 51 | 51 | 51 | 90 | 60 | 58 | 55 | 64 | 80 | 72 |
| C.RIVADAVIA | 138 | 130 | 131 | 121 | 129 | 123 | 124 | 142 | 165 | 154 | 134 | 150 | 230 | 220 | 220 | 159 | 208 | 186 | 133 | 159 | 165 | 172 | 174 | 155 | 183 |
| BIRMINGHAM | 86 | 88 | 90 | 91 | 94 | 94 | 94 | 95 | 97 | 99 | 99 | 101 | 103 | 105 | 105 | 105 | 105 | 107 | 110 | 114 | 118 | 118 | 121 | 129 | 129 |

TABELA 5.4.3

Séries artificiais para Belo Horizonte, $C_2 = 0.870$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52.2 | 44.4 | 60.0 | 60.0 | 44.4 | 50.5 | 69.0 | 51.0 | 51.0 | 50.0 | 51.0 | 51.0 | 70.0 | 60.9 | 60.9 | 70.0 | 70.0 | 50.0 | 80.0 | 38.3 | 52.2 | 69.6 | 80.0 | 58.0 | 52.2 |
| 60.0 | 51.0 | 60.0 | 60.0 | 51.0 | 58.0 | 60.0 | 44.4 | 60.0 | 50.0 | 44.4 | 60.0 | 60.9 | 60.9 | 70.0 | 70.0 | 43.5 | 80.0 | 80.0 | 38.3 | 52.2 | 69.6 | 69.6 | 50.5 | 52.2 |
| 60.0 | 51.0 | 60.0 | 60.0 | 44.4 | 58.0 | 60.0 | 44.4 | 60.0 | 43.5 | 44.4 | 60.0 | 70.0 | 60.9 | 70.0 | 70.0 | 43.5 | 69.6 | 38.3 | 52.2 | 80.0 | 69.6 | 50.5 | 52.2 | 52.2 |
| 60.0 | 44.4 | 52.2 | 60.0 | 51.0 | 50.5 | 69.0 | 51.0 | 60.0 | 43.5 | 51.0 | 60.0 | 60.9 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 43.5 | 69.6 | 38.3 | 60.0 | 80.0 | 69.6 | 50.5 | 52.2 | 52.2 |
| 52.2 | 51.0 | 60.0 | 69.0 | 51.0 | 58.0 | 69.0 | 51.0 | 69.0 | 43.5 | 51.0 | 60.0 | 60.9 | 60.9 | 70.0 | 70.0 | 50.0 | 80.0 | 44.0 | 60.0 | 69.6 | 80.0 | 58.0 | 60.0 | 60.0 |
| 60.0 | 51.0 | 52.2 | 60.0 | 44.4 | 50.5 | 60.0 | 44.4 | 69.0 | 50.0 | 51.0 | 60.0 | 70.0 | 60.9 | 60.9 | 60.9 | 50.0 | 69.6 | 44.0 | 52.2 | 80.0 | 69.6 | 58.0 | 60.0 | 60.0 |

cativo C_2 , que representa a rugosidade superficial de acordo com a categoria do terreno (tab.5.4.1). Foram considerados para o estudo duas situações, com C_2 assumindo os valores 0.870 e 0.753 respectivamente. A tabela 5.4.3 apresenta as séries artificiais obtidas para a estação de Belo Horizonte com $C_2 = 0.870$.

Empregando o método da máxima verossimilhança, avaliou-se o estimador $\hat{\gamma}_{ia}$ para cada série artificial obtida conforme descrito anteriormente. Em seguida calculou-se a média dos estimadores ($\hat{\gamma}_m$) das séries artificiais correspondentes a cada estação, e comparou-se com o valor $\hat{\gamma}_i$ da série original respectiva (tabela 5.4.4). Observou-se assim a redução do fator de forma na presença de rugosidade próxima à estação.

TABELA 5.4.4

| ESTAÇÃO | $\hat{\gamma}_i$ | $C_2=0.870$ | | $C_2=0.753$ | |
|----------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| | | $\hat{\gamma}_m$ | $\hat{\gamma}_i/\hat{\gamma}_m$ | $\hat{\gamma}_m$ | $\hat{\gamma}_i/\hat{\gamma}_m$ |
| BELO HORIZONTE | 6.540 | 6.104 | 1.071 | 5.080 | 1.287 |
| FLORIANOPOLIS | 5.990 | 5.532 | 1.083 | 4.713 | 1.271 |
| SALVADOR | 7.997 | 7.778 | 1.028 | 5.504 | 1.453 |
| C.RIVADAVIA | 6.512 | 5.933 | 1.098 | 5.067 | 1.285 |
| BIRMINGHAN | 10.115 | 9.241 | 1.095 | 6.106 | 1.657 |

Com as médias das relações $\hat{\gamma}_i/\hat{\gamma}_m$ (ψ) relativas às duas situações estudadas, e os correspondentes coeficientes C_K , calculados através das funções (5.4.4), construiu-se o gráfico da figura 5.4.4.

A curva indicada como cota superior, obtida pelo procedimento anterior, conduz a valores considerados excessivos, podendo representar um limite superior para os coeficientes ψ . Para esta afirmação, baseou-se no fato do estudo ter sido realizado apenas para 5 estações e levado em conta a hipótese, já citada, de que nem sempre a velocidade máxima registrada seja a

velocidade em campo aberto e plano.

Aconselha-se portanto a utilização da curva inferior (tracejada) que indica o fator ψ que deve multiplicar o parâmetro $\hat{\gamma}_A$ estimado com base nos registros obtidos numa estação A, para conseguir o valor correspondente ao de terreno em campo aberto, plano e uniforme.

Torna-se conveniente ressaltar que o gráfico da figura 5.4.4 tem sua validade apenas para o modelo estudado, mas que representa a maioria das estações, já que todas se situam em aeroportos.

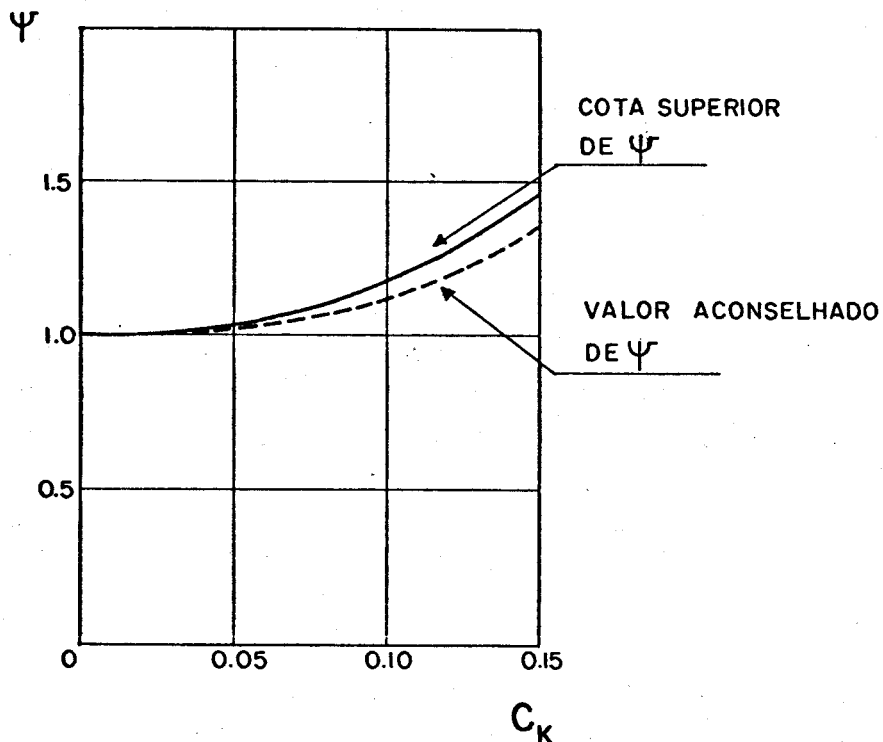


Figura 5.4.4

5.5 Influência do intervalo de tempo utilizado na medição das velocidades.

De um modo geral, quando se faz necessário um levantamento de registros de velocidades médias, encontram-se os mais distintos intervalos de tempo (períodos de base) utilizados nas diversas fontes de registros.

São empregados períodos de 1 hora, 10 minutos, 5 minutos, 60 segundos, 30 segundos, 3 segundos, bem como a milha mais veloz ou o minuto mais veloz ("fastest mile" ou "fastest minute"), estes mais particularmente nos EEUU.

Esta gama de períodos de base é consequência das suas finalidades específicas, por exemplo, nas áreas de atuação da agricultura ou da aeronáutica.

Por isso, para fins de análise estrutural, nem sempre os registros disponíveis se aplicam imediatamente, havendo necessidade de uma adaptação.

Existem fatores de correção que convertem velocidades médias medidas em um determinado período para outro qualquer⁶, tal como foi empregado no capítulo 3, para passar de 30 para 3 segundos (rajadas). Admite-se que haja uma relação linear entre os diversos períodos de base. Assim sendo, quando se quiser obter a distribuição de Frechet de valores extremos para um particular intervalo de tempo, basta multiplicar a velocidade característica $\hat{\beta}$ correspondente a uma série de rajadas por um fator constante adequado.

Admite-se porém que os parâmetros de forma $\hat{\gamma}$ em qualquer dos casos acima citados permanecem praticamente inalterados. A fim de verificar esta hipótese, compilaram-se os dados de 20 estações européias¹⁷ (tabela 5.5.1), que contêm velocidades médias horárias e rajadas.

Mediante uso do método da máxima verossimilhança, obtiveram-se os parâmetros $\hat{\beta}$ e $\hat{\gamma}$ da distribuição de Frechet para cada estação. Calcularam-se a média das diferenças simples entre os parâmetros $\hat{\gamma}$ e a média das relações entre os parâmetros $\hat{\beta}$, para os intervalos anteriormente citados, a saber:

$$\Delta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\gamma}_{3i} - \hat{\gamma}_{h_i})}{n} \quad (5.5.1)$$

$$\Delta_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{\beta}_{3i}}{\hat{\beta}_{h_i}}$$

$$n = 20$$

Observe-se que $\hat{\beta}_3 = \Delta_2 \hat{\beta}_h$ para uma determinada série.

Pelas expressões (5.5.1-2), chegou-se aos seguintes valores:

$$\Delta_1 = -0.34$$

$$\Delta_2 = 1.83$$

Conclui-se que, sendo a diferença simples Δ_1 já bastante pequena, pode-se praticamente considerar $\hat{\gamma}$ invariável em função do intervalo de tempo em que se realiza a medição das velocidades. Enquanto que a relação $\hat{\beta}_3/\hat{\beta}_h = \Delta_2 = 1.83$ se aproxima bem dos coeficientes calculados até agora por diversos autores^{6,18}.

TABELA 5.5.1

| Nº | ESTAÇÃO | LATITUDE | LONGITUDE | ALT.(m) | ANOS DE REG. |
|----|----------------------|----------|-----------|---------|--------------|
| 1 | Brno | 49º09'N | 16º42'E | 238 | 20 |
| 2 | Praha-Karlov | 50º04'N | 14º26'E | 250 | 31 |
| 3 | Coimbra | 40º12'N | 8º25'W | 140 | 50 |
| 4 | Lisboa (IG) | 28º43'N | 9º09'W | 77.1 | 28 |
| 5 | Lisboa(Port.Airport) | 38º46'N | 9º08'W | 103 | 20 |
| 6 | Porto | 41º08'N | 8º36'W | 93 | 44 |
| 7 | Viana do Castelo | 41º41'N | 8º50'W | 11 | 23 |
| 8 | Almeria | 36º50'N | 2º28'W | 6 | 29 |
| 9 | Armillá | 37º18'N | 3º37'W | 689 | 30 |
| 10 | Barcelona | 41º17'N | 2º04'E | 4 | 28 |
| 11 | San Javier | 37º47'N | 0º48'W | 2 | 25 |
| 12 | Sevilha | 37º25'N | 5º53'W | 27 | 21 |
| 13 | Valencia | 39º28'N | 0º22'W | 13.2 | 30 |
| 14 | Zurich | 47º23'N | 8º34'E | 556 | 21 |
| 15 | Birmingham | 52º28'N | 1º56'W | 36 | 26 |
| 16 | Manchester | 53º21'N | 2º16'W | 76 | 23 |
| 17 | Durham | 54º46'N | 1º35'W | 102 | 26 |
| 18 | Lerwick | 60º08'N | 1º11'W | 82 | 26 |
| 19 | Lizard | 49º57'N | 5º12'W | 73 | 25 |
| 20 | Dover | 51º07'N | 1º19'E | 9 | 26 |

6. Critérios adotados

De acordo com o exposto no item 5.2, há uma grande variabilidade de estimador do fator de forma correspondente a cada estação de registros. Torna-se portanto pouco recomendável o emprego dos valores individuais γ_{oi} no cálculo das velocidades básicas de referência.

Por outro lado, segundo Thom⁸, as séries de ventos extremos originados em tormentas do tipo EPS apresentam um γ único igual a 9. No Brasil porém, é comum a ocorrência de trovoadas (ou tormentas elétricas) que causam em parte o surgimento de ventos extremos no país, resultando conseqüentemente, séries mistas de velocidades, às quais correspondem fatores de forma compreendidos entre 4.5 e 9.0. E, além disso, as características de localização das estações devem ser utilizadas na correção dos estimadores, conforme estudo apresentado no item 5.4. Para esse fim, se faz necessário conhecer a função $K'_A(\theta)$ para cada estação da tabela 3.1.1, cujo levantamento já se encontra em desenvolvimento.

Todos os problemas acima relatados carecem ainda de conclusões definitivas. Há necessidade de em trabalhos posteriores dar-se maior ênfase a estes tópicos.

Optou-se, por enquanto, pelo critério do fator de forma comum para todo o território Nacional, seguindo desta maneira o procedimento indicado no projeto de Norma de Vento do IRAM, na Argentina, e o proposto nas especificações em estudo para a Europa Ocidental, da "European Convention for Constructional Steelworks" (ECCS).

6.1 Cálculo do fator de forma único

Adotando o fator de forma único, apenas as séries de

ventos máximos anuais que não apresentaram anomalias concorreram para o cálculo do mesmo. As estações respectivas, em número de 20, indicam-se na tabela 3.2.1 mediante um asterisco. Calculou-se o valor médio ponderado, com os pesos representados pelo número de anos de registros, resultando o valor $\gamma_{mp}=6.369$.

6.2 Velocidades básicas de referência

A função de distribuição de Frechet, como sabemos, se expressa através da seguinte equação:

$$F(x) = e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma}}$$

Tornando-a explícita para V obtemos:

$$V = \beta / (-\ln F)^{1/\gamma} \quad (6.2.1)$$

No ítem 5.3 vimos que:

$$F = 1 - \frac{1}{R} \quad (6.2.2)$$

Substituindo (6.2.2) em (6.2.1) resulta a expressão que torna possível determinar ou prever a velocidade para qualquer período de recorrência, elemento importante para a Engenharia Estrutural.

Com o fator de forma único calculado no ítem anterior, e mediante auxílio das velocidades características β_i (tabela 4.2.1), construiu-se o mapa representado na figura 6.2.1 contendo as isopletas correspondentes às velocidades básicas do vento para um período de recorrência $R=50$ anos^(*).

São velocidades para o tipo de exposição 1, isto é, terreno aberto e plano, à altura de referência $Z_0 = 10m$.

(*): Recebeu-se recentemente um trabalho¹⁹ que contém o levantamento de dados coletados em estações meteorológicas do Instituto Agronômico de Campinas. Informações no apêndice B.

Para outros tipos de exposição ou outras alturas sobre o terreno existem fatores que permitem corrigir adequadamente a velocidade básica do vento.

Se quisermos calcular velocidades correspondentes a distintos níveis de probabilidade bem como períodos de recorrência, a tabela 6.2.1 apresenta o fator S que deve ser multiplicado pela velocidade básica.

TABELA 6.2.1
Coeficiente de correção S

| $m \backslash P_m$ | 0.10 | 0.20 | 0.50 | 0.63 | 0.75 | 0.90 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | 0.86 | 0.76 | 0.64 | 0.60 | 0.57 | 0.53 |
| 10 | 1.10 | 0.98 | 0.82 | 0.78 | 0.74 | 0.68 |
| 25 | 1.28 | 1.13 | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.79 |
| 50 | 1.42 | 1.26 | 1.06 | 1.00 | 0.95 | 0.88 |
| 100 | 1.58 | 1.42 | 1.18 | 1.11 | 1.06 | 0.98 |

Esta tabela foi elaborada da seguinte forma: seja $F(x)$ a função de distribuição da velocidade máxima anual do vento. A probabilidade de que a velocidade máxima em m anos seja inferior a x é igual a $[F(x)]^m$, e a probabilidade P_m de que x seja igualada ou excedida no mesmo período resulta:

$$P_m = 1 - [F(x)]^m \quad (6.2.3)$$

$$F(x) = (1 - P_m)^{1/m} \quad (6.2.4)$$

Combinando (6.2.2) com (6.2.3) e (6.2.4) obtemos:

$$P_m = 1 - (1 - \frac{1}{R})^m \quad (6.2.5)$$

$$R = 1 / \left[1 - (1 - P_m)^{1/m} \right] \quad (6.2.6)$$

Para $m \geq 10$ anos, P_m tende para um valor limite igual a 0.63. Este fato permite utilizar a tabela 6.2.1 na determinação de velocidades para outros períodos de recorrência,

tomando $R = m$. Como exemplo, temos para V_{100} :

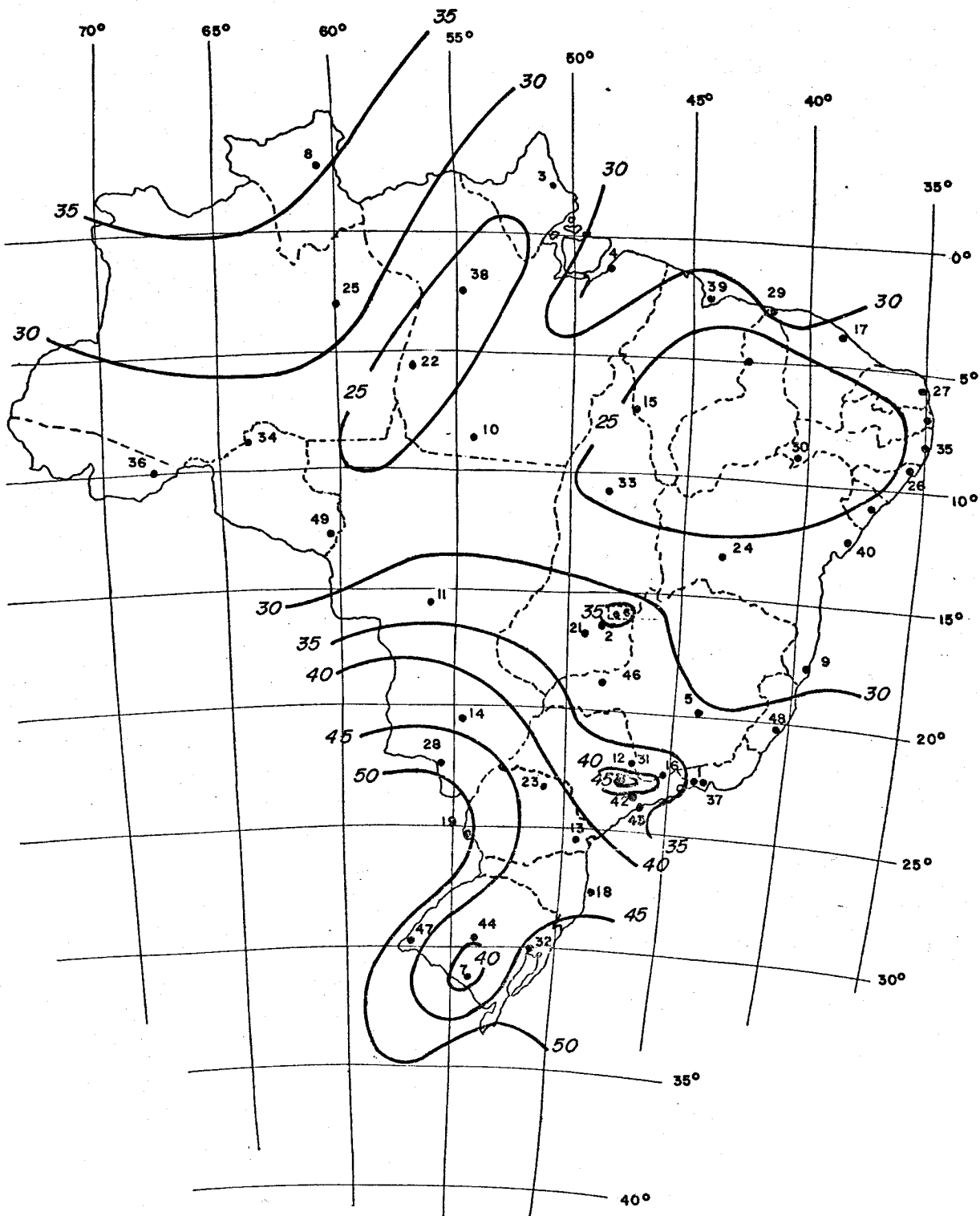
$$V_{100} = 1.11 V_{50}$$

com V_{50} extraído do mapa da figura 6.2.1.

Por outro lado, para $m < 10$ anos a expressão 6.2.5 apresenta valores bastante diferentes do nível de probabilidade $P_m = 0.63$.

Dever-se-ã neste caso, calcular o valor efetivo de P_m e extrair da tabela 6.2.1 o coeficiente correspondente, permitindo avaliar a velocidade desejada.

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO (em m/s)



V50 - MÁXIMA VELOCIDADE MÉDIA MEDIDA SOBRE 3 SEGUNDOS, QUE PODE SER EXCEDIDA, EM MÉDIA UMA VEZ EM 50 ANOS, A 10m SOBRE O NÍVEL DO TERRENO EM LUGAR ABERTO E PLANO

FIG. 6.2.1

7. Ventos originados em trovoadas

7.1 Modelo para a distribuição das velocidades máximas anuais

Apesar da grande ênfase dada aos estudos da climatologia do vento nos últimos anos, restrito é o conhecimento das características dos ventos originados em trovoadas, tanto no que se refere a intensidade, frequência e direção dos mesmos, bem como ao perfil vertical de velocidades.

Supõe-se atualmente, um perfil vertical de velocidades médias do vento praticamente uniforme (exceto muito próximo ao solo), e para o sentido e direções predominantes das rajadas o mesmo do deslocamento geral da tormenta. Quanto à distribuição das velocidades máximas anuais, utiliza-se aquela dos demais casos de ventos.

Na prática, não é fácil obter medições das características acima citadas quando do desenvolvimento de uma trovoadas, havendo portanto precariedade de dados a respeito.

Gomes e Vickery¹⁵, em estudo recente, procuraram elaborar um modelo matemático para a predição de velocidades máximas em trovoadas, baseando-se para tal em dados relativos à intensidade dos ventos na Austrália.

A distribuição das velocidades máximas anuais estaria relacionada simplesmente com a frequência média anual de trovoadas, denominada \bar{n}_s . Eis o modelo sugerido:

$$U = V_{m0} + (1/a_m) \ln \bar{n}_s \quad (7.1.1)$$

onde V_{m0} e $1/a_m$ correspondem, respectivamente, ao valor modal (ou fator de escala) das velocidades e à dispersão, obtidas da função de Fisher-Tippet I que se formula na seguinte forma:

$$P(<V_m) = \exp\left[-\exp[-a_m(V_m - V_{m0})]\right] \quad (7.1.2)$$

Esta função seria ajustada às velocidades máximas do vento que ocorrem durante as trovoadas registradas em cada estação. U responde ao fator de escala das velocidades máximas anuais.

Como o ajuste foi realizado para 33 estações meteorológicas (da Austrália), correspondem a cada uma distintos valores de V_{m0} e a_m . Tomou-se então para a expressão (7.1.1) as médias dos valores de V_{m0} e a_m contidos na tabela do apêndice B da referência 15. Encontrou-se deste modo:

$$U = 12.66 + 3.76 \ln \bar{n}_s \quad (7.1.3)$$

Interessa porém na prática, para a Engenharia Estrutural a determinação da velocidade de projeto para um período de recorrência R . Gomes e Vickery¹⁵, sugerem da mesma forma para esta velocidade, uma expressão semelhante a 7.1.1:

$$V_R = U + (1/a_m) \ln R \quad (7.1.4)$$

ou
$$V_R = U + 3.76 \ln R \quad (7.1.5)$$

7.2 Avaliação do modelo

Levando-se em conta a grande incidência de trovoadas no País, propôs-se a seguir avaliar o modelo apresentado no ítem anterior, baseando-se num levantamento que contém o registro diário de ocorrências de trovoadas e respectivas velocidades máximas de rajadas para Porto Alegre, durante o período 1966-75. Como exemplo, a tabela 7.2.1 apresenta o levantamento dos meses de janeiro para o período citado.

Surgiu porém certa dificuldade para se obter os dados necessários ao estudo, pois o levantamento indica a duração (em horas) das tormentas ocorridas e rajadas máximas, sem porém identificar que tipo de tormenta se desenvolvera. Assim temos, por exemplo, registrados 7 horas consecutivas de trovoadas, o que logicamente não pode corresponder a uma trovoadá típica, con

TABELA 7.2.1

Ocorrência de trovoadas e respectivas velocidades máximas de rajadas durante os meses de janeiro em Porto Alegre, no período 1966-75. (*)

| DIA | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| ANO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1966 | 2 | 8 | 12 | - | - | - | 3 | 4 | 3 | - | 1 | - | 1 | 1 | 3 | 4 | - | 5 | 1 | 7 | 4 | - | 3 | - | 5 | - | 2 | 4 | 10 | - | - | |
| 1967 | 9 | 10 | 5 | - | - | - | 7 | 4 | 1 | - | - | 12 | 5 | 10 | 4 | 4 | - | 1 | 43 | 3 | - | - | - | - | 2 | 8 | - | - | - | - | - | |
| 1968 | 4 | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 | 6 | 5 | 2 | - | 2 | 2 | - | 2 | - | 30 | 2 | 2 | - | - | 2 | 6 | 4 | 6 | 3 | - | 25 | - | |
| 1969 | 8 | - | - | 6 | - | - | 4 | - | 2 | - | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 5 | 10 | - | 1 | - | - | 8 | 4 | |
| 1970 | 3 | 8 | 6 | 1 | 3 | 4 | - | 5 | - | - | - | 2 | 3 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1971 | - | - | - | 2 | - | - | 3 | - | - | 2 | 4 | - | - | - | - | 7 | - | - | 2 | 1 | 3 | 4 | 1 | - | 3 | 5 | 7 | 8 | 4 | 5 | - | - |
| 1972 | - | 9 | 2 | 3 | - | - | 4 | - | - | - | 3 | 7 | 9 | 7 | 7 | 9 | 5 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | - | 3 | 9 | 4 | - | 1 | 2 | - |
| 1973 | - | 1 | - | - | 2 | - | 10 | - | - | 3 | 6 | 13 | 3 | 40 | - | - | - | - | - | - | 26 | - | 3 | - | - | - | - | - | - | 2 | - | - |
| 1974 | - | - | 4 | - | - | - | - | - | 7 | 3 | - | - | - | 25 | - | - | - | 7 | 2 | 4 | 5 | 9 | 5 | - | 4 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| 1975 | - | - | - | - | - | - | 2 | - | 4 | 1 | - | - | - | - | 4 | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - |

(*): Valor superior: horas de trovoadas
 Valor inferior: rajada máxima (em nós)

forme descrito no capítulo 2. E ainda, de acordo com a definição de rajada da FAB (cap.3), surgiram casos em que determinado mês do ano não havia rajada alguma registrada.

Adotaram-se portanto os seguintes critérios:

- a) Correspondem a trovoadas típicas locais aquelas cujos registros de ocorrência indicam até 3 horas de duração;
- b) Utilizar-se-ia o valor mínimo de 30 km/h para os meses com ausência de registros de rajadas, tomando por base os valores mínimos de rajadas registrados pelas estações da FAB (tabela 3.1.3).

Desta maneira confeccionou-se a tabela 7.2.2, que já contém as médias mensais de ocorrências de trovoadas \bar{n}_m , as médias mensais das rajadas máximas \bar{V}_m e as rajadas máximas mensais absolutas V_{abs} , para o período citado.

Pode-se observar estes elementos nos gráficos das figuras 7.2.1-2.

TABELA 7.2.2

| MESES | \bar{n}_m | \bar{V}_m | V_{abs} | \bar{V}_m | V_{abs} |
|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | km/h | | m/s | |
| Janeiro | 6.2 | 56 | 86 | 15.6 | 23.4 |
| Fevereiro | 4.8 | 52 | 108 | 14.4 | 30.0 |
| Março | 5.0 | 38 | 90 | 10.4 | 25.0 |
| Abril | 2.9 | 35 | 60 | 9.7 | 16.7 |
| Maiο | 2.0 | 41 | 90 | 11.3 | 25.0 |
| Junho | 2.8 | 47 | 80 | 13.2 | 22.2 |
| Julho | 2.5 | 42 | 64 | 11.7 | 17.8 |
| Agosto | 2.7 | 53 | 76 | 14.7 | 21.1 |
| Setembro | 3.9 | 54 | 86 | 15.1 | 23.4 |
| Outubro | 5.1 | 49 | 80 | 13.7 | 22.2 |
| Novembro | 4.8 | 59 | 100 | 16.4 | 27.8 |
| Dezembro | 4.5 | 64 | 120 | 17.8 | 33.3 |

Trovoadas em Porto Alegre
Período: 1966-1975

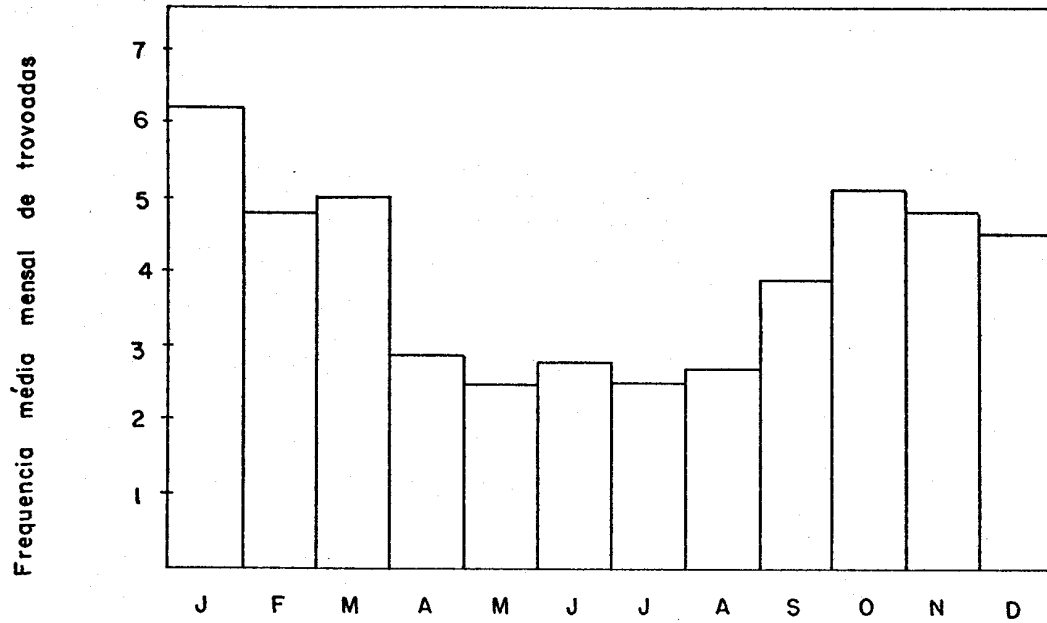


Figura 7.2.1

V (m/s)

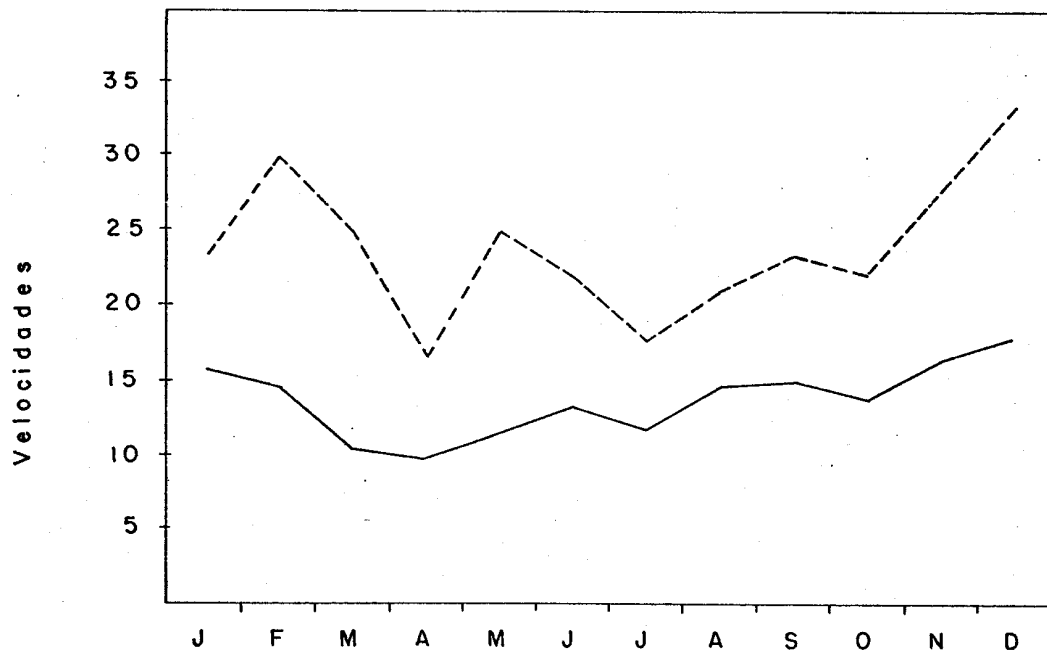


Figura 7.2.2

- Médias das rajadas máximas mensais
 - - - - - Rajadas máximas mensais absolutas

Da tabela 7.2.2 tira-se que a frequência média anual de trovoadas para Porto Alegre é $\bar{n}_s = \sum_{i=1}^{12} \bar{n}_{m_i} = 47.3$, cujo valor se enquadra razoavelmente em mapas universais de frequências médias anuais na região do Rio Grande do Sul (Ver ref.19).

Em seguida, empregou-se o método dos mínimos quadrados para o ajuste da distribuição de Fisher-Tippet I à série de rajadas máximas, obtendo-se os seguintes resultados:

$$1/a_m = 3.46 \text{ (m/s)}$$

$$V_{m_0} = 23.91 \text{ m/s}$$

A dispersão $1/a_m$ se aproxima bastante do valor médio extraído do apêndice B (ref.15), que é de 3.76.

Para uma mesma série de velocidades, o fator de escala U da função de Fisher-Tippet I e a velocidade característica β da função de Frechet, apresentam valores praticamente iguais. Sugere-se, portanto, que β possa ser estimado pela mesma expressão (7.1.3).

Assim sendo, teremos para β o seguinte valor ($\bar{n}_s = 47.3$) :

$$\begin{aligned} \beta = U &= 12.66 + 3.76 \ln 47.3 \\ &= 27.16 \text{ m/s} = 98 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Do mesmo modo, a velocidade do vento para um período de recorrência $R = 50$ anos calculada pela 7.1.5, resulta:

$$V_{50} = 27.16 + 3.76 \ln 50 = 42 \text{ m/s}$$

Conforme metodologia aplicada no capítulo 4 e critério descrito no capítulo 6, obteve-se para Porto Alegre:

$$\beta = 91.1 \text{ km/h}$$

$$V_{50} = 1.85 \beta = 168.5 \text{ km/h} = 46.8 \text{ m/s}$$

Observa-se portanto, que os valores encontrados através dos modelos em estudo se aproximam bastante daqueles determinados nos capítulos 4 e 6. Isso permite a priori concluir que as expressões 7.1.3 e 7.1.5 podem realmente servir como uma maneira de

avaliar velocidades máximas de rajadas produzidas por trovoadas, para um determinado período de recorrência.

Por outro lado, convém ressaltar que estamos na presença de apenas um exemplo para avaliar o modelo matemático proposto, o qual não se considera suficientemente representativo. Sugere-se neste sentido, realizar o mesmo levantamento de dados para as demais estações e aplicar o seguinte procedimento:

- a) Formar uma série única com as velocidades máximas de rajadas registradas em todas as estações, durante a ocorrência de trovoadas;
- b) Efetuar o ajuste da distribuição de Fisher-Tippet I à série anterior;
- c) Com os valores encontrados para V_{m0} e a_m , formular o modelo semelhante à expressão 7.1.1 e compará-lo à expressão 7.1.3.

Poder-se-á então avaliar mais corretamente o modelo apresentado.

7.3 Comentários

Um dos principais problemas inerentes ao presente estudo se deve à utilização, por Gomes e Vickery¹⁵, da distribuição de Fisher-Tippet I para o ajuste da série de rajadas máximas e a formulação do modelo matemático. Porquanto, os resultados obtidos nos capítulos 4 e 6 deste trabalho se baseiam na distribuição de Frechet.

Deste fato surgem dúvidas quanto à aplicação imediata das expressões (7.1.1) e (7.1.4) para obter valores comparáveis aos que se encontram utilizando a função de Frechet e a metodologia empregada nos capítulos 4 e 6. Haveria portanto a necessidade de se determinar equações que relacionassem os parâmetros de ambas as funções, permitindo então aplicar diretamente os resultados de uma distribuição à outra.

Admitiu-se a hipótese de que o fator de escala U e a velocidade característica $\hat{\beta}$ sejam praticamente iguais para uma mesma série de dados. Surge ainda porém a dificuldade de se relacionar a dispersão $1/a_m$ e o fator de forma $\hat{\gamma}$. Não é pos-

sível, a princípio, determinar uma expressão envolvendo ambos os parâmetros.

A referência 15 não contém os dados utilizados por Gomes e Vickery. Haveria então a possibilidade de avaliar os parâmetros $\hat{\beta}$ e $\hat{\gamma}$ da distribuição de Frechet fazendo uso dos mesmos dados e posteriormente, tentar exprimir os resultados em modelos semelhantes às equações (7.1.1) e (7.1.4), fazendo-se um estudo comparativo.

8. Comentários finais

Pelo exposto até agora no trabalho, pode-se verificar o grau de dificuldade em se avaliar corretamente a velocidade básica de referência do vento para aplicação em projetos estruturais, em virtude da série de fatores que concorrem para sua determinação.

Pesquisas adicionais se fazem necessárias para dar continuidade aos estudos aqui apresentados. Principalmente pelo fato da grande extensão do território Nacional que, conforme figura 6.2.1, apresenta uma acentuada variação nas velocidades, mais notadamente na região Sul.

Devem ser realizados estudos mais aprofundados dos problemas associados às séries de máximas velocidades anuais, relatadas no capítulo 5, com especial atenção para as influências do tipo de tormenta e heterogeneidade da rugosidade superficial. Sugere-se para este último, a confecção de modelos topográficos reduzidos, baseados no levantamento das características de localização real das estações. Seriam testados em túnel de vento, permitindo desta forma avaliar adequadamente os fatores corretivos para os parâmetros da função de distribuição de probabilidade $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$.

Recomenda-se ainda a coleta de maior quantidade de dados relativos às velocidades máximas no País, e à ocorrência de fenômenos extraordinários localizados. Estes últimos poderão ser úteis na elaboração de critérios específicos para avaliar a velocidade básica do vento em uma determinada região.

Apêndice A

Outras fontes de dados

Os resultados constantes da figura 6.2.1 tiveram por base os dados obtidos em registros de velocidades medidas através de observações diretas (observações de superfície).

Existem atualmente no Brasil, já em considerável quantidade, anemôgrafos que permitem um registro contínuo de velocidades do vento. Sugere-se, para trabalhos posteriores, uma compilação de dados a partir dos anemogramas, o que permitirá dar uma maior consistência aos resultados atuais.

A seguir apresenta-se uma relação de fontes de informações de que se tem notícia atualmente, bem como indicações sobre as mesmas:

1. Ministério da Agricultura

1.1 Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), Rio de Janeiro.

- Possui uma rede nacional de estações dotadas de anemôgrafos
- Existem registros microfilmados, que podem ser solicitados ao DNMET (RJ). Segundo informação do DNMET de São Paulo nunca houve tratamento destes dados.

2. Instituto Agronômico

2.1 Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo

2.2 Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária

2.3 Seção de Climatologia Agrícola.

- Mantém uma rede de anemôgrafos no estado de São Paulo, com registros bem recentes.

3. Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo

- Dispõe de registros desde 1922, porém se desconhece a natureza do registro (contínuo ou descontínuo), e de algum tratamento a esses dados.

4. Departamento de Portos, Rios e Canais do Estado do Rio Grande do Sul.

Apêndice B

Estações meteorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (SP)

Os dados coletados em estações do Instituto Agrônomo de Campinas (tabela B2), extraídos da referência 20, encontram-se reproduzidos na tabela B1. Tratam-se de dados obtidos através da análise de registros contínuos em anemógrafos (anemogramas).

Foram processados utilizando a distribuição de Frechet, com o ajuste mediante o método da máxima verossimilhança. Os parâmetros $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$ assim estimados resultaram praticamente os mesmos encontrados por Silveira Pinto²⁰, que fez uso para o ajuste das séries o método dos mínimos quadrados.

Com as velocidades características $\hat{\beta}$ e o fator de forma único para todo o país determinado no capítulo 6 ($\hat{\gamma} = 6.369$), calcularam-se as velocidades para o período de recorrência $R = 50$ anos, empregando a equação (6.2.1).

Verificou-se que os resultados se ajustaram bem às curvas indicadas na figura 6.2.1, apenas observando que a concentração de velocidades em torno de Campinas abrange uma região mais ampla, conforme mostra o mapa da figura B1. Isto implicou em pequena correção no mapa da figura 6.2.1, para a região citada.

A tabela B3 contém os parâmetros $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$, estimados para cada estação do IAC, e as correspondentes velocidades para o período de recorrência de 50 anos (em m/s).

Finalmente, a figura B2 indica o mapa adotado para o projeto da nova norma NB-5 (1977). Já leva em conta a correção feita para a região de Campinas, bem como, os critérios de finidos pela comissão encarregada do projeto. Os mesmos consistem em considerar como velocidade básica de referência mínima o valor $V_{50} = 30$ m/s, e eliminar a curva de $V_{50} = 40$ m/s no estado do Rio Grande do Sul.

TABELA B2

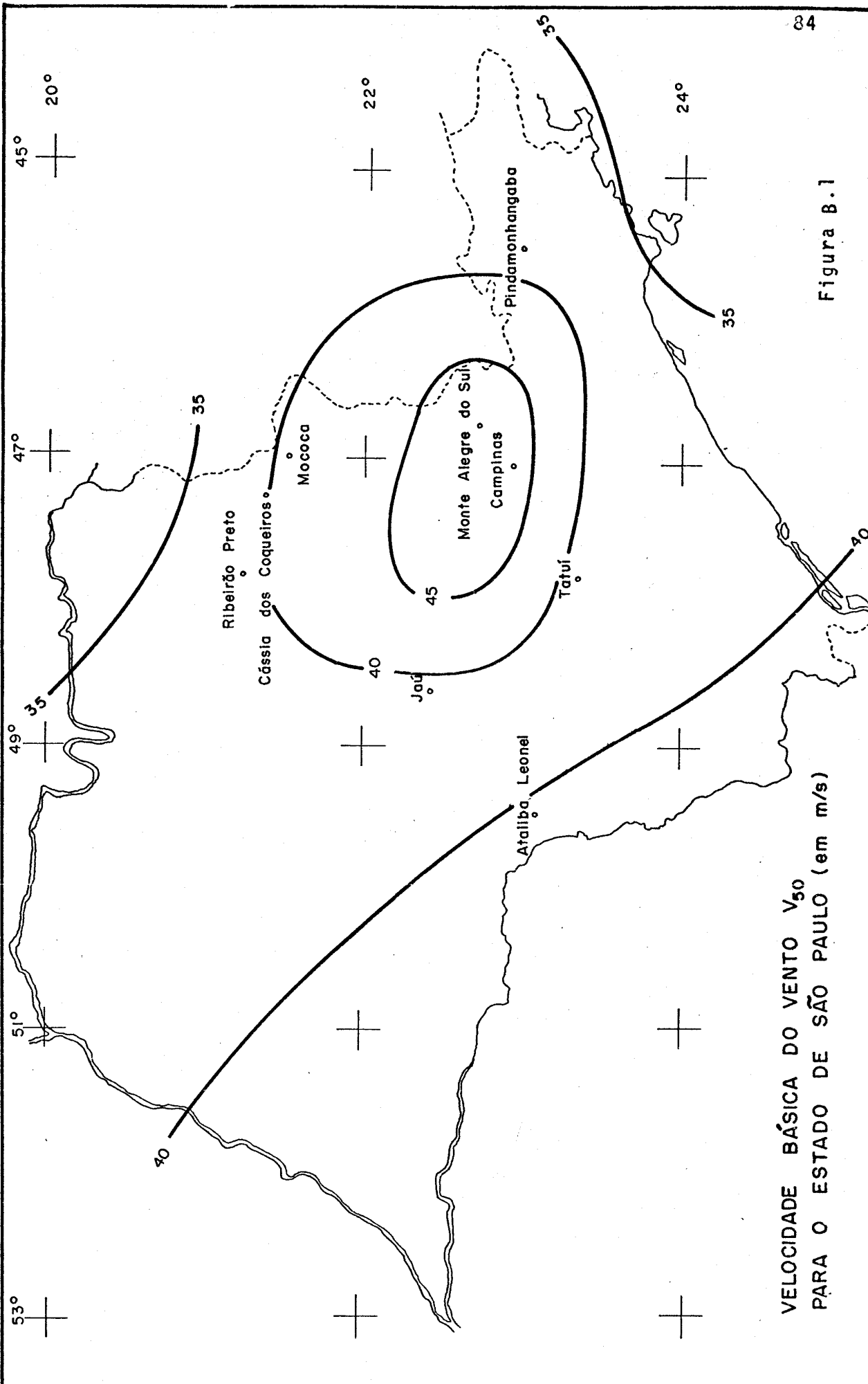
ESTAÇÕES DO INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS

| ESTAÇÃO | LAT. (S) | LONG. (W) | ALTITUDE (m) |
|----------------------|----------|-----------|--------------|
| ATALIBA LEONEL | 23910' | 49920' | 589 |
| CAMPINAS | 22953' | 47903' | 674 |
| CASSIA DOS COQUEIROS | 21921' | 47910' | 1000 |
| JAÚ | 22917' | 48923' | 580 |
| MOCOCA | 21927' | 47921' | 665 |
| M. ALEGRE DO SUL | 22941' | 46930' | 777 |
| PINDAMONHANGABA | 22955' | 45925' | 570 |
| RIBEIRÃO PRETO | 21911' | 47943' | 621 |
| TATUI | 23951' | 47951' | 600 |

TABELA B3

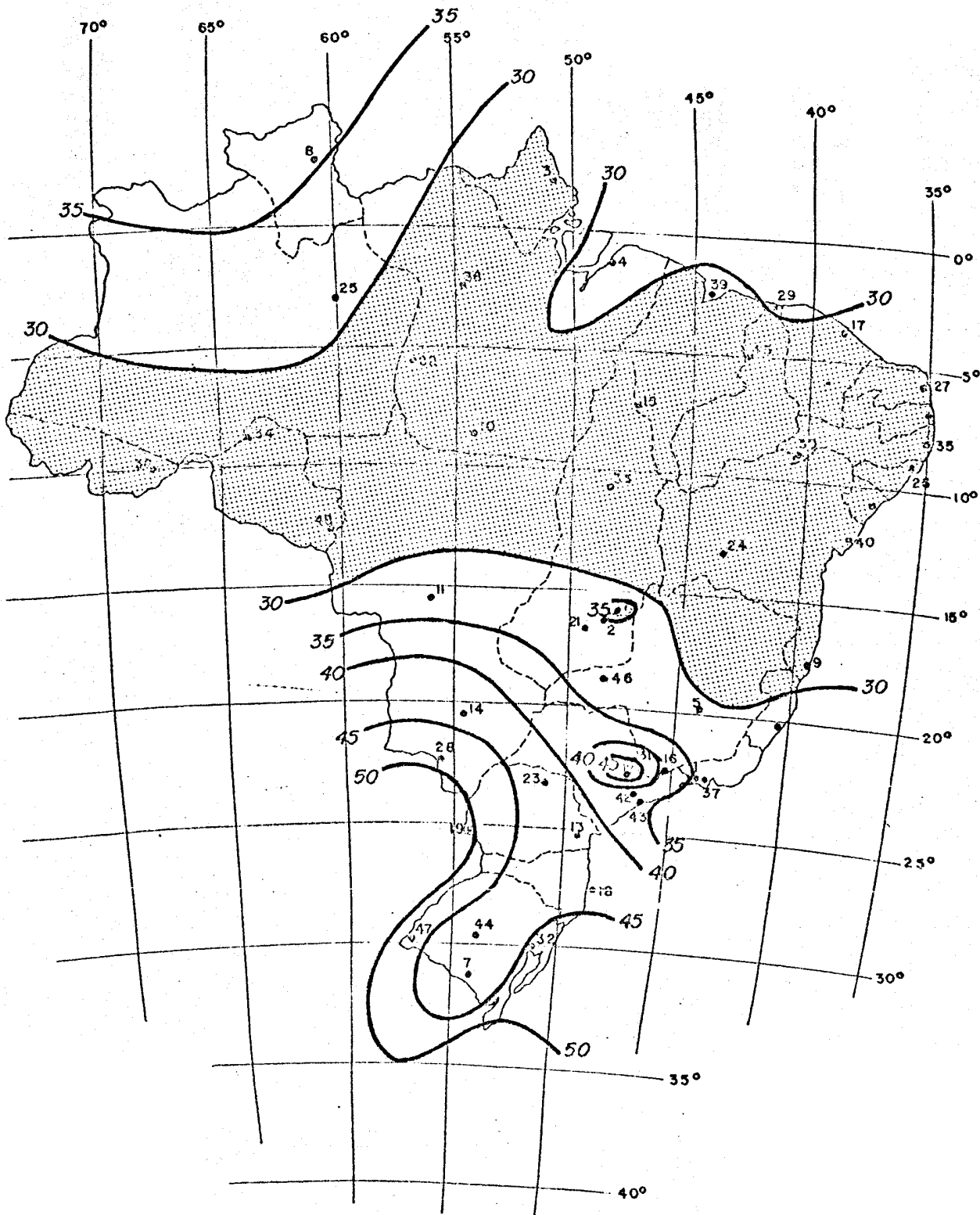
| ESTAÇÃO | A. REG. | $\hat{\gamma}$ | $\hat{\beta}$ (m/s) | V ₅₀ (*) (m/s) |
|--------------------|---------|----------------|------------------------|------------------------------|
| ATALIBA LEONEL | 12 | 4.085 | 22.54 | 41.70 |
| CAMPINAS | 18 | 7.219 | 17.52 | 46.20 |
| CAS. DOS COQUEIROS | 11 | 7.471 | 21.51 | 39.80 |
| JAÚ | 18 | 9.130 | 21.24 | 39.30 |
| MOCOCA | 18 | 10.642 | 22.94 | 42.40 |
| M. ALEGRE DO SUL | 9 | 5.238 | 26.09 | 48.30 |
| PINDAMONHANGABA | 19 | -3.030 | 17.59 | 32.50 |
| RIBEIRÃO PRETO | 18 | 6.864 | 21.44 | 39.70 |
| TATUI | 7 | 5.780 | 20.81 | 38.50 |

(*): Velocidade calculada adotando o fator de forma
único determinado no cap.6, $\gamma = 6.369$



VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_{50}
 PARA O ESTADO DE SÃO PAULO (em m/s)

Figura B.1



V_0 - MÁXIMA VELOCIDADE MÉDIA MEDIDA SOBRE 3 SEGUNDOS, QUE PODE SER EXCEDIDA EM MÉDIA UMA VEZ EM 50 ANOS, A 10m SOBRE O NÍVEL DO TERRENO EM LUGAR ABERTO E PLANO.

Figura B.2

BIBLIOGRAFIA

1. VIEIRA FILHO, J.M.S. Velocidades Maximas do Vento no Brasil. Porto Alegre, 1975. Tese de Mestrado, Univ. Federal do Rio Grande do Sul. 62 p.
2. BLAIR, T.A. & FITE, R.C. Weather elements, Fourth edition, U.S.A., Prentice Hall, Inc., 1961.
3. NIMER, E. Circulaao atmosferica. In: Paisagens do Brasil. 2. edicao, 4. tiragem. Rio de Janeiro, Depto. de documentaao e divulgaao geografica e cartografica. 1973. p. 33-7.
4. DAVENPORT, A.G. The relationship of wind structure to wind loading. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 15; Teddington, 1963. Proceedings. London, Her Magesty's Stationery Office, 1965. p. 54-102.
5. NEWBERRY, C.W. Discussion of paper 2. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. Proceedings. Univ. of Toronto Press, 1967. v.2, p. 389-92.
6. SACHS, P. Wind Forces in Engineering. Pergamon Press, Oxford, 1972.
7. VELLOZI, J. & COHEN, E. Gust response factors. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Division, New York, 94 (ST6): 1295-1313, jun. 1968.
8. THOM, H.C.S. New distributions of extreme winds in the United States. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Division, New York, 94 (ST7): 1787-1801, 1968.

9. THOM, H.C.S. Toward a universal climatological extreme wind distributions. In: INT.RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. Proceedings. Univ.of Toronto Press, 1968. p. 669-684.
10. RIERA, J.D. y REIMUNDÍN, J.C. Sobre la distribución de velocidades máximas de viento en la República Argentina. INFORME I-70-3, Lab. de Ensayo de Estructuras, Univ. Nacional de Tucumán, 1970.
11. VIOLLAZ, A.; RIERA, J.D. y REIMUNDÍN, J.C. Estudio de la distribución de velocidades máximas do viento en la Republica Argentina. INFORME I-75-1, Lab. de Ensayo de Estructuras, U.N.T., 1975.
12. CRAMER, H. Métodos matemáticos de estadística. 2ª edición. Madrid, Aguilar, 1960.
13. ANG, A. H-S.A. & TANG, W.H. Probability concepts in engineering planning and design. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1975. v.I, Basic principles.
14. THOMAN, D.R.; BAIN, L.J.; ANTLE, C.E. Inference parameters of the Weibull distribution. Technometrics, Aug.1969. v.11, nº 3, p.445-60 apud VIEIRA FILHO, J.M.S. (Ref. 1).
15. GOMES, L. and VICKERY, B.J. On thunderstorm wind gusts in Australia, with particular reference to Observatory Hill, Sidney. Research report nº R 277, Civil Eng. Labs., The University of Sidney Jan. 1976.
16. BAYNES, C.I. and DAVENPORT, A.G. Some statistical models for wind climate prediction. Tallahassee, Flórida. American Meteorological Soc., 4th Conf. on Prob. & Statistics in Atmospheric Science, nov. 1976.
17. "Wind in western Europe". Lisboa, 1973. Laboratorio Nacional de Engenharia. Proc. 34/13/4047.

18. BLESSMANN, J. Intervalo de tempo para o cálculo da velocidade básica do vento. Porto Alegre, Edições UFRGS, 1974, Série Engenharia Estrutural/3.
19. PINTO, H.S. Determinações dos intervalos de recorrência de rajadas máximas do vento no estado de São Paulo. Botucatu, 1973. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu.
20. THOM, H.C.S. Frequency of maximum wind speeds. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Division, New York, v.80, 11pp., 1954.
21. THOM, H.C.S. Distributions of extreme winds in the United States. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Division, New York, 86(ST4): April, 1960.
22. DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. Proceedings. Univ. of Toronto Press, 1967. v.1, p. 19-82.
23. DAVENPORT, A.G. Wind loads on structures. Ottawa, National Research Council of Canada, 1960(Technical Paper of the Division of Building Research, 88) apud Blessmann, J. (Ref. 18).
24. SHELLARD, H.C. The estimation of design wind speeds. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium 16, Teddington, 1963. Proceedings. London, Her Majesty's Stationery Office, 1965. p. 29-51.
25. RIERA, J.D. y REIMUNDÍN, J.C. Velocidad del viento para el diseño de estructuras en la República Argentina. INFORME I-70-4. Lab. de Ensayo de Estructuras, Univer. Nacional de Tucumán, 1970.

26. ANDERSON, R.S.; PERCIVALLE, L.R. and RICHMOND, M.C.
Meteorological evaluation of the proposed 750 KV
transmission line routes from Itaipu to São Paulo.
California, USA, Meteorology Research, Inc., 1975.
27. MANN, N.R. Point and interval procedures for the two-
parameter weibull and extreme value distributions.
Technometrics, maio 1968. v.10, nº 2, p. 31-256 apud
VIEIRA FILHO (Ref. 1)
28. CRITCHFIELD, H.J. General climatology. 2nd ed. New Delhi,
Prentice-Hall of India Private Limited, 1968. p. 121-5.
29. CERMAK, V.E. Applications of fluids mechanics to wind
engineering. Journal ASME. Fluids Engineering, 97
(11): 9-38, march 1975.
30. ARGENTIÈRE, R. A atmosfera. Coleção Ciência e Divulga-
ção, 1957.
31. MEYER, P.L. Introductory probability and statistical
applications. Washington, Addison-Wesley Publishing
Company, Inc., 1965.