



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA**  
**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST**  
**CURSO DE BACHARELADO EM METEOROLOGIA**

LEMOEL PIMENTEL DE BRITO

**Climatologia do regime de vento em Manaus a partir de dados observados**

Manaus – AM

2024

**LEMOEL PIMENTEL DE BRITO**

**Climatologia do regime de vento em Manaus a partir de dados observados**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Maria Betânia Leal de Oliveira.

Manaus - AM

2024

## Ficha Catalográfica

L574ee Pimentel de Brito, Lemoel  
Estudo observacional da ocorrência de rajadas em  
Manaus : Estudo observacional da ocorrência de rajadas  
em Manaus / Lemoel Pimentel de Brito. Manaus : [s.n],  
2024.  
74 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Meteorologia - Bacharelado -  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2024.  
Inclui bibliografia  
Orientador: Maria Betânia Leal de Oliveira

1. Rede de estações. 2. Eventos extremos. 3.  
Percentil. 4. Controle de qualidade. I. Maria Betânia Leal  
de Oliveira (Orient.). II. Universidade do Estado do  
Amazonas. III. Estudo observacional da ocorrência de  
rajadas em Manaus

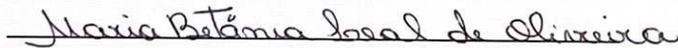
**Climatologia do regime de vento em Manaus a partir de dados observados**

LEMOEL PIMENTEL DE BRITO

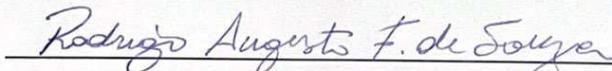
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em: 24 / 01 / 2024.

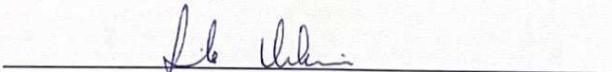
**Banca Examinadora**



Profa. Dra. Maria Betânia Leal de Oliveira  
Orientadora



Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza  
Examinador



Profa. Dra. Jamile Dehaini  
Examinadora

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus familiares, em especial ao meu pai Walter Borges de Brito, e aos meus queridos amigos da UEA do curso de Meteorologia e Professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus queridos pais Walter Borges de Brito, Maria Francisca Ferreira Pimentel de Brito e a meus irmãos, que me ajudaram e apoiaram nessa etapa da minha vida de formação profissional.

À Dra. Maria Betânia Leal de Oliveira, por toda a ajuda, compreensão e muita paciência, e a todas as oportunidades, que sem a senhora talvez eu nunca teria conseguido sozinho, obrigado professora.

Aos meteorologistas do SIPAM, principalmente à Dra. Jaci Saraiva.

À Universidade do Estado do Amazonas (UEA) que foi a instituição de ensino que me deu a oportunidade de concluir a graduação em Meteorologia na unidade Escola Superior de Tecnologia (EST).

Ao Laboratório de Instrumentação Meteorológica da UEA pela concessão de todos os dados utilizados, e também a todos os seus membros.

A todos os meus amigos da famosa B09 (LABICLIM) e da UEA no geral, e também os professores que sempre estavam dispostos a oferecer ajuda.

## EPÍGRAFE

“A chave de todas as ciências é inegavelmente o ponto de interrogação”.

Honoré de Balzac

## RESUMO

Em decorrência da sua localização geográfica, Manaus é suscetível a ventos fracos durante todo o ano. No entanto, a ocorrência de ventos fortes em um curto espaço de tempo, denominados de rajadas, que podem ou não ser associadas a precipitação extrema, causam danos severos à população, tornando imprescindível a previsão destes eventos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi analisar os registros de rajadas em Manaus, obtidos através de cinco estações meteorológicas automáticas instaladas em diferentes localidades da cidade as quais compõem a rede REMCLAM. Estes dados foram, inicialmente, submetidos a um controle de qualidade, desenvolvido neste estudo, e então analisados em termos de variabilidade espacial e temporal, bem quanto à intensidade. Neste último caso foi aplicada a técnica dos percentis para identificação do limiar a partir do qual tem-se os eventos extremos de rajadas. Estudos de caso foram realizados para verificar o comportamento das variáveis direção do vento, pressão atmosférica, umidade relativa e temperatura do ar nos instantes anteriores aos eventos extremos visando identificar um padrão e assim poder auxiliar os órgãos que atuam diretamente para minimizar os danos à população por fenômenos naturais, como a Defesa Civil. Com relação ao controle de qualidade de cada estação, uma quantidade de dados foi retirada em função de algum tipo de erro e gerou uma nova disponibilidade de dados. As distribuições da velocidade do vento e rajada variaram de forma simétrica e assimétrica, com diferença na intensidade entre áreas urbana e rural. As rajadas mais intensas em média ocorrem principalmente nos meses de transição de estação seca para chuvosa e estação chuvosa. Sua predominância varia de nordeste a sudeste dependendo do período chuvoso, seco e transições. Os eventos extremos de rajada, foram identificados adotando-se os limiares de 12,9 m/s e 8,1 m/s para área urbana e rural, respectivamente. As rajadas extremas foram de até 21,0 m/s (urbano) e 17,6 m/s (rural), com maior frequência nos meses janeiro e outubro. Estas ocorreram predominantemente no período das 10 às 17h. Acumulados diários de precipitação de até 124 mm estiveram associados à eventos de rajadas extremas, às quais também foram identificadas com a ausência de chuva no mesmo local de medida. Em casos de rajada muito extrema a temperatura do ar e pressão atmosférica apresentaram redução até uma hora antes da ocorrência da rajada. A direção variou bruscamente, sem a ocorrência de precipitação em alguns dias ou até mesmo sendo verificados tendo início até 3 horas antes do evento de rajada com precipitação iniciando três hora antes.

**Palavras-chave:** Rede de estações; Meteorologia; Rajadas extremas; Percentil; Controle de qualidade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceitual de circulação geral da atmosfera para os meses Janeiro (esquerda) e Julho (direita). Os círculos na cor preta indicam as posições das altas subtropicais do Atlântico Norte e Sul (ASAN e ASAS) para os referidos meses. FONTE: Adaptado de Lutgens e Tarbuck (2001). .....	17
Figura 2. Circulação de Brisa fluvial para Manaus. Fonte: Carvalho (2021). .....	18
Figura 3. Mapa de localização das estações meteorológicas que compõem a Rede Hobo, as quais foram utilizadas neste estudo. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	26
Figura 4. Fluxograma com etapas de desenvolvimento deste estudo. ....	27
Figura 5. Exemplo de formatações da coluna data/hora identificados para as estações: a) Bombeiros e b) CAL, nos dias 15 de dezembro de 2017 e 01 de janeiro de 2016, respectivamente. ....	28
Figura 6. Exemplos de alterações da coluna data/hora para a estação CAL nos dias: a) 23 de março de 2016; b) 12 de dezembro de 2019. ....	29
Figura 7. Exemplo de resultado após formatação da coluna data/hora, para a estação CAL no dia 12 de dezembro de 2019. ....	30
Figura 8. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação BOMBEIROS. ....	35
Figura 9. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação INPA. ....	36
Figura 10. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação MUSA. ....	36
Figura 11. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação POLICLÍNICA. ....	37
Figura 12. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação PONTE. ....	37
Figura 13. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação CALDEIRÃO. ....	38
Figura 14. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação EMBRAPA. ....	38
Figura 15. Disponibilidade de dados de velocidade do vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente. ....	40

Figura 16. Disponibilidade de dados de rajada de vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente.....	40
Figura 17. Disponibilidade de dados de direção do vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente.....	41
Figura 18. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação BOM.....	43
Figura 19. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação INPA. ....	44
Figura 20. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação MUSA. ....	45
Figura 21. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação POL.....	45
Figura 22. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação PON.....	46
Figura 23. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação CAL.....	47
Figura 24. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação EMBRAPA. ....	48
Figura 25. Variabilidade temporal da velocidade do vento média mensal (m/s) para o período de dados disponíveis para cada estação meteorológica.....	49
Figura 26. Variabilidade temporal da rajada de vento média mensal (m/s) para o período de dados disponíveis para cada estação meteorológica.....	50
Figura 27. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação BOMBEIROS.....	52
Figura 28. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação INPA. ....	53
Figura 29. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação MUSA. ....	54

Figura 30. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação POLICLINICA. ....	55
Figura 31. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação PONTE. ....	56
Figura 32. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação CALDEIRÃO. ....	57
Figura 33. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação EMBRAPA. ....	58
Figura 34. Box plot com os dados de rajadas extremas identificados para cada estação meteorológica. ....	59
Figura 35. Frequência de ocorrência das rajadas extremas para cada mês/ano com dados disponíveis de cada estação meteorológica. ....	60
Figura 36. Frequência de ocorrência das rajadas extremas, por horário, para cada estação meteorológica. ....	61
Figura 37. Box plot referentes aos dados de precipitação diária para os dias com ocorrência de rajadas extremas, para cada estação meteorológica analisada. ....	62
Figura 38. Característica das variáveis temperatura, pressão, direção e precipitação em até 5 horas que antecederam a ocorrência de rajadas muito extremas para estação MUSA. ....	64
Figura 39. Característica das variáveis temperatura, pressão, direção e precipitação em até 5 horas que antecederam ocorrência de rajadas muito extremas para estação EMB. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo das siglas das estações e suas respectivas alturas de instalação. ....	26
Tabela 2. Informações dos dados antes e após aplicação do controle de qualidade aos dados de velocidade, rajada e direção do vento: Número de dados brutos analisados (N), e porcentagens de dados afetados por cada critério aplicado (C1, C2 e C3). ....	39
Tabela 3. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figuras de 18 a 24, para a variável velocidade do vento média diária. ....	42
Tabela 4. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figuras de 18 a 24, para a variável rajada máxima diária. ....	42
Tabela 5. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figura 34, para os extremos de rajadas máximas diárias. ....	60
Tabela 6. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam na Figura 37, para os acumulados diários de precipitação em dias com ocorrência de rajadas extremas. ....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
°	Graus
ASAN	Alta Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CALDEIRÃO	Campo Experimental do Caldeirão
CQ	Controle de Qualidade
DD:MM:AA	Dia:Mês:Ano
DIR	Direção do vento
EMBRAPA Agropecuária	Campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa
EMS	Estação meteorológica de superfície
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
H	Hora
hh:mm:ss	hora:minuto:segundo
IIQ	intervalo interquartil
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas do Amazonas
L	Leste
lim_m	Limite mínimo
lim_s	Limite máximo
m.s <sup>-1</sup>	Metros por segundo
Máx	Máximo
Med	Mediana
MUSA	Museu da Amazônia
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroeste
O	Oeste
OMM	Organização Meteorológica Mundial
P25	Percentil 25%

P75	Percentil 75%
PRESS	Pressão Atmosférica
Q1	Primeiro quartil
Q2	Segundo quartil ou mediana
Q3	Tercero quartil
REMCLAM	Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia
RMD	Rajada máxima diária
S	Sul
SE	Sudeste
SIMEPAR	O Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SO	Sudoeste
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
Tar	Temperatura do Ar
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
VMD	Velocidade média diária

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	Objetivos específicos .....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Caracterização do regime de vento em Manaus.....	16
3.2	Rajadas de vento e técnicas para a identificação de extremos.....	19
3.3	Controle de qualidade de dados .....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	25
4.1	Dados.....	25
4.2	Metodologia.....	27
4.2.1	Formatação da coluna data/hora .....	28
4.2.2	Controle de qualidade aos dados de vento .....	30
4.2.3	Processamento dos dados .....	32
5	RESULTADOS .....	33
5.1	Controle de qualidade de dados .....	33
5.2	Características gerais da distribuição dos dados de vento .....	41
5.2.1	Variabilidade temporal e espacial dos dados de vento.....	48
5.3	Eventos extremos de rajada.....	58
5.4	Relação com as variáveis DIR, Tar, Press e Prec em instantes anteriores .	63
6	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Como resultado dos efeitos da circulação geral da atmosfera (Vianello *et al.*, 1991; Varejão, 2006; Reboita *et al.*, 2012) e da circulação local (Molion e Dallarosa, 1990, Oliveira e Fitzjarrald, 1993, Senna *et al.*, 2008; Saraiva, 2010) adicionado com as características de localização da cidade mais adentro do continente e pelas extensas áreas de floresta percorrida pelo vento, Manaus é caracterizada por ventos fracos durante todo o ano, com valores médios mensais não ultrapassando 2,5 m/s. Este valor é muito abaixo do que é verificado para Natal - RN, localizada na região costeira do Brasil, considerada o maior potencial eólico brasileiro, onde vento médio mensal é de até 5,1 m/s (INMET, 2009). Por outro lado, rajadas de vento intermitentes são comuns na região, que podem estar associadas com ocorrência de precipitação elevada em um curto período de tempo, potencializando os danos causados à população (Barbosa, 2014; Espinoza, 2014; Coelho, 2017).

Seja para eventos extremos de vento ou de precipitação, variáveis com maior potencial para perdas de vida, ou até mesmo para a ocorrência combinada destes (Ferreira e Nascimento, 2016), o que potencializada os dados à população, estudos têm sido desenvolvidos no sentido de identificar limiares a partir dos quais pode-se considerar o evento como tal, utilizando para tanto técnicas estatísticas. Dentre estas, tem-se a técnica dos percentis (Xavier e Xavier, 1999; Ananias *et al.*, 2010; Loureiro *et al.*, 2014) que tem sido aplicada localmente para registros de precipitação em diferentes escalas temporais (Tanaka *et al.*, 2014; Espinoza, 2014) bem como para identificação de rajadas extremas (Coelho, 2017). Outra ferramenta é o box plot, que torna possível não só a identificação de limiares, mas também a relação entres diferentes variáveis (Tukey, 1977; Morettin *et al.*, 2017). Como por exemplo tem-se um estudo desenvolvido para Manaus visando determinar limiares de acumulados de precipitação desencadeiam a ocorrência de deslizamentos (Barbosa, 2017), uma ferramenta fundamental para a antecipação destes a partir do monitoramento contínuo das variáveis através de estações meteorológicas.

No entanto, para aplicação de técnicas estatísticas torna-se imprescindível o monitoramento contínuo do tempo através de estações meteorológicas automáticas, o que possibilita o estudo de eventos extremos e a antecipação destes, informações essenciais para a atuação de órgãos que atuam diretamente para minimizar os danos à população por fenômenos naturais. Neste sentido, projetos têm sido desenvolvidos no sentido de ampliar cada vez mais esta rede de monitoramento, que associado com o avanço da tecnologia, a utilização de estações meteorológicas automáticas permite uma maior frequência de amostragem dos dados e facilidade na organização e armazenamento destes (Tanner, 1990), bem como a instalação em locais de difícil acesso e possibilidade de integração com um sistema de transmissão automáticas de dados (Ferraz, 2010).

Por outro lado, o uso prolongado destes equipamentos possibilita a ocorrência de falhas nos dados ocasionadas por interrupção na alimentação do sistema e até

inconsistências que podem ser erros grosseiros, sistemáticos ou aleatórios (Galvani, 2001; Cabral, 2004; Helene *et al.*, 1991; Sentelhas, 1997). Assim, para uma análise correta destas variáveis faz-se necessário a aplicação de controle de qualidade ao conjunto de dados para identificar possíveis erros ou dados espúrios e assim garantir uma melhor credibilidade em sua utilização, principalmente quando estas informações se referem a eventos extremos, os quais causam severos danos à população. Independentemente do tipo de plataforma utilizada para coleta de dados, estes precisam passar por um processo de verificação antes de serem disseminados uma vez que falhas na transmissão, mau funcionamento dos sensores, problemas de calibração e até mesmo vandalismo podem influenciar nos registros (Padillha *et al.*, 2011). Neste sentido, na bibliografia são apresentados diferentes métodos que testam a qualidade, e avaliam se os dados possuem algum tipo de erro ou inconsistência (WMO, 1993; Pittigliani, 2001; Chagas *et al.*, 2006; Feng, 2004; Zahumenský 2004; Jiménez, 2010). Por sua vez, diferentes especificações técnicas referentes às diferentes plataformas disponíveis, torna necessário que os critérios de controle de qualidade sejam adaptados às características de precisão, intervalo de medida, resolução das medidas, entre outras.

Diante do exposto, este estudo possui com objetivo principal desenvolver e aplicar um controle de qualidade de dados aos registros de vento realizados em cinco diferentes locais de Manaus, entre os anos 2012 e 2021, e então analisar os eventos extremos desta variável em termos de variabilidade espaço-temporal e ocorrência de extremos de precipitação, bem como em relação à outras variáveis medidas simultaneamente, como: pressão atmosférica, temperatura e direção do vento. Dessa forma será possível contribuir com informações de antecipação a estes eventos extremos que possam ser utilizadas para tomadas de decisão por órgãos como a Defesa Civil.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste estudo foi aplicar um controle de qualidade e analisar os dados de vento registrados através de uma rede de estações meteorológicas instaladas em Manaus.

### **2.1 Objetivos específicos**

Este estudo científico teve como objetivos específicos:

- Desenvolver critérios e aplicar controle de qualidade para os dados de vento registrados em Manaus;
- Identificar os eventos extremos de rajada;
- Avaliar a variabilidade espaço-temporal destes extremos durante o período de estudo;

- Relacionar a ocorrência de rajadas extremas com a ocorrência de precipitação, pressão atmosférica, direção do vento, e temperatura do ar.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para contextualização do assunto a ser abordado na pesquisa, tem-se a seguir uma revisão bibliográfica que contempla: a caracterização do regime de vento em Manaus, indicando os fatores determinantes em diferentes escalas espaciais e temporais; rajadas de ventos e critérios para identificação uma vez que entender o comportamento destes eventos extremos, que causam danos severos à população, pode auxiliar nas ações a serem realizados por órgãos que atuam diretamente com a população visando a preservação e vidas; e o último tópico refere-se ao controle de qualidade de dados visto que a evolução tecnológica permite o registro de um número cada vez mais elevado de dados, o que é fundamental para monitoramento das variáveis meteorológicas, sendo necessário que estes passem por uma verificação antes de serem disponibilizados para os usuários.

#### **3.1 Caracterização do regime de vento em Manaus**

O regime de vento em Manaus é determinado pela intensificação/desintensificação dos centros de altas subtropicais do Atlânticos norte (ASAN) e sul (ASAS), os quais são semipermanentes e alteram sua posição como resultado do aquecimento diferencial da superfície da Terra ao longo do ano, conforme apresentado na Figura 1. A partir destes, surgem os ventos alísios os quais atingem a região Amazônica (Vianello *et al.*, 1991; Varejão, 2006; Reboita *et al.*, 2012), caracterizados por ventos cuja direção varia de nordeste/sudeste, de acordo com o período do ano. A maior intensidade dos centros de alta pressão está relacionada com a estação de inverno e com isso tem-se que a ASAN/ASAS encontram-se mais intensa nos meses de inverno do hemisfério norte/sul (Hastenrath e Lamb, 1977; Fonseca *et al.*, 2009). Como resultado, a direção resultante do vento em Manaus varia de 64° a 99° (INMET, 2009), verificados em janeiro e julho, os quais estão inseridos nos períodos de inverno dos hemisférios norte e sul respectivamente.

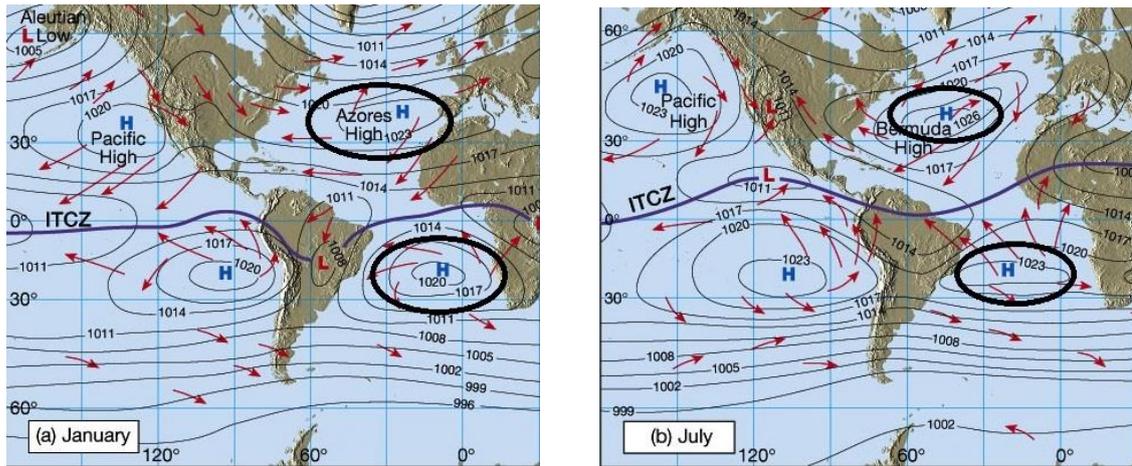


Figura 1. Modelo conceitual de circulação geral da atmosfera para os meses Janeiro (esquerda) e Julho (direita). Os círculos na cor preta indicam as posições das altas subtropicais do Atlântico Norte e Sul (ASAN e ASAS) para os referidos meses. *FONTE: Adaptado de Lutgens e Tarbuck (2001).*

Devido à localização geográfica de Manaus, os ventos alísios percorrem grandes extensões territoriais, sendo influenciado pelo efeito de fricção resultante da passagem deste por extensas áreas de floresta. Como resultado tem-se uma intensidade do vento muito inferior quando comparado com regiões costeiras no nordeste do Brasil, em especial os estados da Bahia e Rio Grande do Norte, os quais foram os maiores responsáveis pela geração de energia eólica em 2022 (ABEEOLICA, 2022). Temos então, que em termos de intensidade do vento, Manaus é caracterizada por uma velocidade média anual de 2,5 m/s, resultado da variação entre as médias mensais 2,3 e 2,8 m/s referentes aos meses maio de setembro, nessa ordem (INMET, 2009).

Barbosa (2014) ao analisar a variabilidade espaço-temporal do vento em Manaus, utilizando dados coletados através de uma rede de estações meteorológicas, verificou uma variabilidade da direção do vento análoga à climatologia local. No caso da velocidade do vento, alterações foram observadas entre as zonas da cidade, atribuídas as diferentes características de cobertura da superfície. Para estações instaladas próximas da superfície, a obstrução do vento resultou em direção distinta do padrão climatológico e intensidades inferiores às observadas em estações instaladas em posições acima de 30 metros em relação à superfície.

No entanto, os estudos de Molion e Dallarosa (1990), Oliveira e Fitzjarrald (1993), Saraiva (2010) e Senna *et al.*, (2008) apontaram uma alteração da direção predominante do vento para Manaus, em relação aos padrões de circulação de grande escala, para os períodos diurno e noturno. Esta alteração foi atribuída à atuação de uma circulação local, chamada de brisa fluvial, que se sobrepõe à circulação de grande escala. Segundo Carvalho (2021), a proximidade de Manaus com extensos rios, gera uma circulação semelhante ao que ocorre em regiões litorâneas (brisas marítimas e terrestres), como resultado do contraste térmico entre rio – terra, chamado de circulação de brisa fluvial. Durante o dia, tem-se um maior aquecimento da superfície da terra em relação à superfície do rio, tornando este ar mais leve, que ao

subir gera uma área de baixa pressão. Devido às diferenças de pressão em superfície entre o continente e o rio, os ventos são deslocados em direção ao continente, como pode ser visualizado na Figura 2. No período noturno, esta dinâmica é alterada, visto que a terra tende a se esfriar mais rápido que o corpo de água. Desta forma a baixa pressão é formada sobre o rio e o vento se desloca da terra para o rio.

A comparar a precipitação medida em quatro postos pluviométricos próximos à Manaus, Molion e Dallarosa (1990) verificaram maiores diferenças entre dois locais distantes cerca de 100 metros, sendo a formação de células convectivas intensas no local de maior à atuação da circulação de brisa fluvial. Em 1993, Oliveira e Fitzjarrald (1993) comprovaram que Manaus é submetida a uma circulação de baixo nível na atmosfera, mais intensa na estação seca, ocasionada devido ao contraste de temperatura entre o rio e a floresta que foi de 3 °C durante o dia e 6 °C no período noturno. Como consequência disso, os autores verificaram que há um fluxo de nordeste na direção do rio durante o período da noite até o amanhecer, enquanto durante o período da tarde até o anoitecer o fluxo é de sudoeste em direção à floresta. ao contraste de temperatura entre o rio e a floresta que foi de 3 °C durante o dia e 6 °C à noite.



Figura 2. Circulação de Brisa fluvial para Manaus. Fonte: Carvalho (2021).

Alterações na direção do vento em Manaus em relação à grande escala foram verificados por Senna *et al.*, (2008). Nos meses de inverno do hemisfério sul, quando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está localizada em sua posição mais ao norte, ventos de leste-sudeste no período diurno foram predominantes. No entanto no período noturno predominam ventos de nordeste indicando que a circulação local superou a grande escala, dominando o escoamento neste período. Os autores verificaram ainda que a velocidade média do vento em Manaus durante o período diurno foi três vezes maior ao verificado no período noturno, e mais intensos no período seco da região, atribuído à atuação conjunta da grande escala e escala local

na mesma direção (durante o dia) e ao maior contraste térmico entre o rio e a superfície terrestre, respectivamente.

Saraiva (2010), também sugeriu evidências de circulação de brisa fluvial em Manaus ao analisar o fluxo de vento predominante sobre a região Amazônica. Este verificou ventos de sudoeste na primeira metade do dia, para os meses de verão austral nos quais, de acordo com o padrão de circulação global é de nordeste, indicando a predominância de uma circulação de menor escala sobre a região. Da mesma forma, Freitas (2005), também observou alterações nos padrões de velocidades e direção do vento a traves da modelagem numérica em São Paulo no período de inverno, em análise a influência da urbanização sobre o campo do vento, ele identifica a presença da circulação de brisa marítima e terrestre devido a diferenças no gradiente de temperatura causada entre área urbanizada e litoral, identificando através do campos simulados de divergência e convergência.

### **3.2 Rajadas de vento e técnicas para a identificação de extremos**

Apesar da predominância de ventos fracos em Manaus, tem-se a ocorrência de rajadas intermitentes que são definidas por uma variação brusca de velocidade do vento (Varejão, 2006), que pode ser acompanhada por uma variação, igualmente brusca, na direção do vento (Pereira *et al.*, 2007), em função de mudança de sentido da componente horizontal do gradiente de pressão causadas por aproximação de uma tempestade, por exemplo.

Este tipo de fenômeno meteorológico representa grande risco à população nos mais variados setores: geração de energia, transporte (terrestre, aéreo, fluvial e marítimo), construções, edificações, tombamento de árvores, dentre outros. No caso do transporte aéreo, este fenômeno pode ocorrer em todas as fases de voo, sendo mais significativo nas fases de pouso e decolagem devido à limitação de altitude e de tempo para manobra das aeronaves (Monteiro *et al.*, 2005).

De acordo com Ferreira e Nascimento (2016), as rajadas de vento podem estar associadas com a ocorrência de chuva do tipo convectiva. No entanto, estas são caracterizadas como localizadas e não são mantidas por várias horas consecutivas sobre o mesmo lugar mesmo resultando em elevados índices de precipitação, conforme o estudo de Engerer *et al.* (2008). Resultado semelhante foi verificado por Moller (2001), o qual identificou rajadas superiores a 25 m/s podem ser observadas durante a ocorrência de tempestades convectivas severas. Dessa forma tem-se que a atuação conjunta destes eventos extremos causa danos ainda mais severos para a população.

Assim, torna-se necessária a identificação destes eventos extremos e sua avaliação em termos de variabilidade temporal e/ou espacial de forma a contribuir com informações que possam ser utilizadas, por órgãos que atuam na preservação de vidas, para o planejamento de ações. A literatura propõe diferentes metodologias para

classificação da velocidade do vento quanto à intensidade. A Escala Beaufort foi desenvolvida originalmente pelo irlandês Francis Beaufort, que foi capitão e hidrógrafo na Marinha Real Britânica, como qualitativo da velocidade do vento de acordo com o efeito sobre a superfície do mar e nas velas dos veleiros usados na navegação marítima na sua época. Uma adaptação desta escala para a superfície terrestre é apresentada em Pereira *et al.* (2007), cuja força do vento pode ser categorizada de acordo com o efeito do vento sobre a fumaça, árvores e edifícios, gerando uma escala de percepção que se tem da movimentação atmosférica. Neste caso, a velocidade do vento é categorizada em 11 escalas, que vão desde o nível 0, que corresponde a vento calmo (inferior a 2 km/h) até o nível 10 que indica ventos do tipo tornado, os quais causam danos generalizados e possuem velocidade superior a 100 km/h.

Espinoza (2014), ao realizar um estudo de casos para eventos extremos de precipitação registrados através de uma rede de estações meteorológicas instaladas em Manaus, verificou uma rajada de 51,1 km/h no dia 30/09/2013, a qual pode ser classificada como um vento de categoria 7 (vento forte) de acordo com a escala Beaufort. Este evento causou grandes impactos, prejuízos e danos na cidade e esteve associado com acumulado diário de precipitação de 107,0 mm em um período de apenas 01h50min, enquanto são esperados 73,7 mm de chuva para todo o mês de setembro. Como consequência, vários pontos da zona centro-sul da cidade tiveram prédios com estruturas danificadas, ruas alagadas, e quedas de árvores que atingiram a rede elétrica.

Devido ao regime de vento de Manaus, caracterizados por baixa velocidade do vento durante todo o ano (INMET, 2009), os registros de vento ficam concentrados nos níveis mais baixos da escala Beaufort, não sendo uma alternativa viável para o estabelecimento de critérios de classificação. Assim, torna-se imprescindível a utilização de outros critérios de classificação que possam ser aplicados diretamente para os dados coletados nas estações com o intuito de facilitar a divulgação destes eventos de forma qualitativa para a população, facilitando o entendimento, bem como para a tomada de decisão pelos órgãos responsáveis.

Um dos critérios de classificação utilizados comumente para a identificação de limiares de eventos extremos é a técnica dos percentis (Xavier e Xavier, 1999; Loureiro *et al.*, 2014), que se baseia na divisão da série ordenada de dados em cem partes iguais. Na sequência, encontra-se um número de ordem para cada valor de precipitação, o qual é dividido pelo número total de dias da série, estabelecendo o percentil para cada intervalo de precipitação. Assim torna-se possível adotar um percentil que irá definir o limiar para caracterização dos valores extremos da variável analisada. Por ser baseada na distribuição de frequência acumulada, quanto maior o número de dados disponíveis, melhor é a aproximação da função de probabilidade que descreve o fenômeno (Ananias *et al.*, 2010).

Utilizando dados da rede de estações meteorológica instalada em Manaus, Espinoza (2014) aplicou a técnica dos percentis para classificação dos registros de precipitação acumulado em 10 minutos, visando aplicação tanto para classificação

durante a ocorrência da chuva bem como para a elaboração de boletins voltados para a sociedade. Os resultados indicaram os limiares 1,6 mm, 4,0 mm, 8,4 mm, 12,8 mm e 18,3 para o estabelecimento dos critérios muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte extremos. Com este estudo foi possível identificar que os eventos extremos podem ter pouca duração, mas causar danos e impactos marcantes durante a sua passagem, sendo mais frequentes no período da tarde, e nos meses de outubro e novembro.

Também aplicando a técnica dos percentis, Tanaka *et al.* (2014) fizeram uma análise da frequência dos eventos de precipitação igual ou superior a 1,0 mm/hora, utilizando dados de estações meteorológicas situadas em Manaus e nas proximidades. Os autores obtiveram um critério para classificação dos eventos de chuva separados em seis intervalos, de acordo com os quais os eventos com acumulados acima de 40,0 mm/hora são considerados extremos, sendo este obtido ao aplicar à série dados o percentil de 95%.

Coelho (2017) ao utilizar a escala Beaufort para classificar as rajadas máximas diárias registradas em Manaus em uma rede de estações verificou que estas se concentram predominantemente entre as escalas 3 e 5 mesmo para estações localizadas em alturas de até 40 metros acima da superfície. Diante disso, a autora desenvolveu um critério de classificação, aplicando-se a técnica dos percentis aos dados de rajadas máximas diárias registradas nas estações. A classificação foi definida com níveis de intensidade que variaram de fraco a extremo, sendo esta última definida pelo percentil de 99% que resultou no limiar 16,8 m/s que na escala Beaufort corresponde ao nível 8. Estes foram mais frequentes nos meses outubro e novembro, sem registros para os meses fevereiro, abril e dezembro, quando ocorre a atuação da zona de convergência intertropical, sistema caracterizados pela presença de nuvens convectivas.

Outra opção para classificação do vento adaptada para os dados locais, é o diagrama de caixa (box plot), descrito pela primeira vez por John Tukey (1977), o qual é uma ferramenta utilizada para resumo de medidas de dados, que além de identificar os dados discrepantes, também fornece uma ideia da posição, dispersão e assimetria (Morettin *et al.*, 2017). O box plot foi sendo formado por uma caixa cujas linhas inferior e superior que a delimitam correspondem aos percentis de 25 e 75%, cuja diferença representa a dispersão dos dados. No interior da caixa é indicada a mediana, que se refere ao percentil de 50%, sendo um indicativo de posição e simetria dos dados. Saindo da caixa tem-se as linhas superior e inferior que indicam os valores máximos e mínimo, respectivamente. Os valores discrepantes são representados por pontos acima destes limites.

Esta ferramenta considera a própria distribuição dos dados e a sua aplicabilidade na determinação de eventos extremos e é relevante em estudos visando a antecipação de desastres naturais (Santos, 2019). Como por exemplo, tem-se o estudo de Barbosa (2017), que utilizou diagramas de caixa para avaliar a relação entre a ocorrência de deslizamento de terra em Manaus com a ocorrência de

precipitação, visando determinar um limiar de acumulado de chuva para períodos de 24, 48, 72 e 96 horas que desencadeia estes eventos nas diferentes zonas da cidade.

Independentemente da técnica aplicada, tem-se que a caracterização do regime de vento e de outras variáveis para determinado local demandam do monitoramento contínuo destas, o que é possível através estações meteorológicas. Assim, diversos projetos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar não só a variabilidade temporal destas variáveis para um ponto da cidade, o que já é realizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia, mas sim estabelecer uma rede de monitoramento que permita o entendimento da distribuição espacial destas variáveis. Frente a isso tem-se ainda que com o avanço da tecnologia, as estações meteorológicas convencionais foram gradativamente substituídas por modelos automáticos, o que permitiu uma maior frequência de amostragem dos dados e facilidade na organização e armazenamento destes (Tanner, 1990). A instalação em locais de difícil acesso e possibilidade de integração com um sistema de transmissão automáticas de dados também são razões para esta substituição (Ferraiz, 2010).

### **3.3 Controle de qualidade de dados**

Desde o início da instalação de estações automáticas em substituição estações convencionais, estudos têm sido realizados no sentido comparar as medidas dos elementos meteorológicos realizadas pelos dois modelos de plataformas (Huband *et al.*, 1984; Fisch & Santos, 1997; Sentelhas *et al.*, 1997). Os resultados destes identificaram, em geral, boa concordância entre as medidas dos elementos meteorológicos realizadas por estações convencionais e automáticas, especialmente para o caso de medidas de temperatura e umidade relativa do ar (Sousa *et al.*, 2003; Teixeira *et al.*, 2003) mesmo diferenças significativas nos tipos de sensores, abrigos e frequência de medidas utilizados.

Sejam oriundos de estações convencionais ou automáticas, os dados meteorológicos antes de serem utilizados para fins de pesquisa científicas e até mesmo e divulgação de produtos para a comunidade em geral, precisam passar por um processo de verificação, mesmo no caso do uso de estações automáticas uma vez que embora mais precisos que os dados oriundos de estações convencionais, podem ser afetados por diversos fatores, tais como: falhas na transmissão, mau funcionamento dos sensores, problemas de calibração e até mesmo vandalismo (Padilha *et al.*, 2011).

Adicionalmente, o uso de estações automáticas em substituição aos modelos convencionais buscou os erros oriundos de leitura, interpretação e digitação de dados (Galvani, 2001), no entanto ainda há a possibilidade de ocorrência de erros sistemáticos, aleatórios ou grosseiros (Cabral, 2004). Os erros sistemáticos estão ligados a acurácia (exatidão da medida), e estão relacionados a calibração dos equipamentos/sensores, uso e manuseio incorreto, e falha conceitual. Os erros

aleatórios ou estatísticos estão associados à variabilidade natural dos processos físicos, são causados por variações externas aleatórias ou do sistema. Por fim os erros grosseiros ocorrem devidos à falta de atenção, pouco treino ou falta de perícia do operador (Helene *et al.*, 1991; Cabral, 2004; Sentelhas, 1997). Como exemplos destes erros, podemos citar: Incorreto posicionamento do “zero” da escala, afetando todas as leituras feitas com esse instrumento (erro sistemático); mudança repentina da temperatura devido à passagem de uma nuvem sobre o local (erro aleatório); uma troca de algarismos ao registrar um valor lido (erros grosseiros).

Na bibliografia são apresentados diferentes métodos que testam a qualidade, e avaliam se os dados possuem algum tipo de erro ou inconsistência, dentre os quais tem-se os aplicados pela Organização Meteorológica Mundial – OMM, órgão que estabelece normas para interpretação dados obtidos em estações meteorológicas bem como os procedimentos necessários para obtenção destes a nível mundial e o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, que tem dentre suas missões coordenar e operar as redes de observações meteorológicas e de transmissão de dados no Brasil. Além disso, órgão regionais tem implementado o controle de na qualidade de dados visando ajudar tanto na manutenção da rede quanto para a disseminação destes para usuários (Padilha *et al.* 2011).

A Organização Mundial de Meteorologia - OMM (WMO, 1993) estabelece uma série de critérios e recomendações no seu Guia do Sistema Global de Processamento de dados. Neste guia a OMM especifica que existem dois tipos principais de verificação de controle de qualidade, a verificação manual e automática. A verificação manual deve ser usada em conjunto com métodos simples e bastante diretos, enquanto na verificação automática, as técnicas podem ser mais complexas e mais completas. Um dos vários métodos descritos no guia é a “Verificações de limite de erro bruto” (Gross-error limit checks), que pode ser utilizada para dados de estações convencionais e automáticas, e permite a detecção de erros observacionais muito grosseiros através de verificações em relação a certos valores-limite fixos. Outra forma de verificar é avaliando a variabilidade dos dados em relação a uma estação de referência, de forma a manter o mesmo padrão.

No caso do INMET, o controle de qualidade dos dados desta rede de estações meteorológicas de superfície, é feito através de um sistema de qualidade automático centralizado em sua sede em Brasília, o qual não é descrito na literatura. Da mesma forma, o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), um modelo de controle de qualidade foi desenvolvido pela própria empresa para submeter os seus dados hidrometeorológicos (Pittigliani, 2001), sendo composto por quatro testes (ranger, step, persistence, spatial). Após os testes os dados recebem flags indicando a qualidade dos dados. O projeto SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia, estabeleceu testes e critérios aos dados radiométricos e fotométricos com base no que é estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial, visando estabelecer um nível de confiabilidade para os dados

coletado bem como servir como referência para a necessidade de manutenção e ajustes nos sensores de uma estação específica (Chagas *et al.*, 2006).

Alguns dos métodos de controle (manual ou automático) bastante utilizados em dados de estações meteorológicas de superfície são aqueles que identificam valores fora de um determinado intervalo, e o padrão de evolução temporal das variáveis registradas. Feng (2004) testou a confiabilidade das variáveis meteorológicas de uma rede de estações automáticas chinesa, aplicando um controle de qualidade de dados para identificar possíveis erros nas medidas, utilizando como base valores extremos ou limite físicos das variáveis. Outro controle aplicado por este autor é chamado de verificação de 'linha plana', que identifica dados do mesmo valor para pelo menos sete dias consecutivos (não aplicado a dados de precipitação zero). Nos dois casos, os dados que atendem aos critérios são identificados e sinalizados para que possam ser avaliados e excluídos se necessário. No caso verificação de 'linha plana', todos os dados consecutivos são sinalizados como suspeitos valores, exceto o primeiro valor.

Segundo Zahumenský (2004), para a meteorologia o controle consiste no exame de dados com o objetivo de encontrar os tipos de erros sistemático, aleatório, grandes erros (Large) e erros micrometeorológicos. Ele descreve que a verificação automática da validade dos dados é necessária para monitorar a qualidade dos dados dos sensores antes de seu uso no cálculo dos valores dos parâmetros meteorológicos. Segundo este autor objetivo principal do controle de qualidade dos dados observacionais é a detecção de dados ausentes, de erros e possíveis correções de erros, e garantir a confiabilidade e a precisão. Um dos critérios descrito é a verificação de valor plausível, onde o objetivo é verificar se os valores dos dados instantâneos estão dentro dos limites de alcance aceitáveis. Os limites diferem dos parâmetros meteorológicos e dependem das condições climáticas da época do ano e região.

Por sua vez, Jiménez (2010) utilizou um método de verificação de variações temporais anormalmente altas nos registros de velocidade do vento, através do cálculo da diferença entre dois registros consecutivos. No caso de diferenças superiores a um valor limite onde o autor estabelece 10 m/s, a partir disso o segundo registro é considerado inválido. O valor limite adotado depende de vários fatores, e o autor utilizou como critério a análise do histograma das diferenças absolutas para cada série temporal de velocidade do vento, o que não é adequado para avaliar os registros que são seguidos ou precedidos por um valor ausente porque a diferença obviamente não pode ser calculada.

Diante do exposto, tem-se que determinar critérios de controle de qualidade de dados para dados meteorológicos, embora siga as orientações estabelecidas pela OMM, não é uma tarefa fácil uma vez que cada modelo de equipamento automático para monitoramento das variáveis que caracterizam o estado da atmosfera apresenta diferentes especificações técnicas, seja de precisão, intervalo de medida, resolução das medidas, entre outras, adicionada às diferenças de condições climáticas entre pontos distintos. Adicionalmente, quando se trata da avaliação de extremos de medidas de variáveis meteorológicas, sobretudo aqueles que afetam diretamente a

população com danos severos, como as rajadas de vento, faz-se necessário identificar se aquele dado é real ou um erro do sistema. Por isso a importância de aplicação de controle de qualidade a série de dados antes da sua disseminação para os mais variados fins.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Dados**

Os dados utilizados nesse trabalho são provenientes de estações Meteorológicas automáticas de superfície (EMS) que foram instaladas em Manaus, a partir de 2013, durante a execução do Projeto Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia - REMCLAM/FINEP/UEA. Estas estações são equipadas, basicamente, com sensores para medidas de: pressão atmosférica, temperatura e umidade do ar, cujos registros correspondem a cada 5 minutos; precipitação, registrada na forma de acumulados por 5 minutos; velocidade do vento, composta por média e seu valor máximo (rajada) em intervalos de 5 minutos; e no caso da direção do vento temos uma amostragem no horário de gravação dos dados. Devido à influência dos elementos de superfície nas medidas, principalmente para os registros de vento que serão analisados neste estudo, utilizaremos os dados coletados nas estações meteorológicas que se encontram em torres e topo de prédios, bem como estações localizadas em áreas rurais, cujas localizações encontra-se indicada na Figura 3.

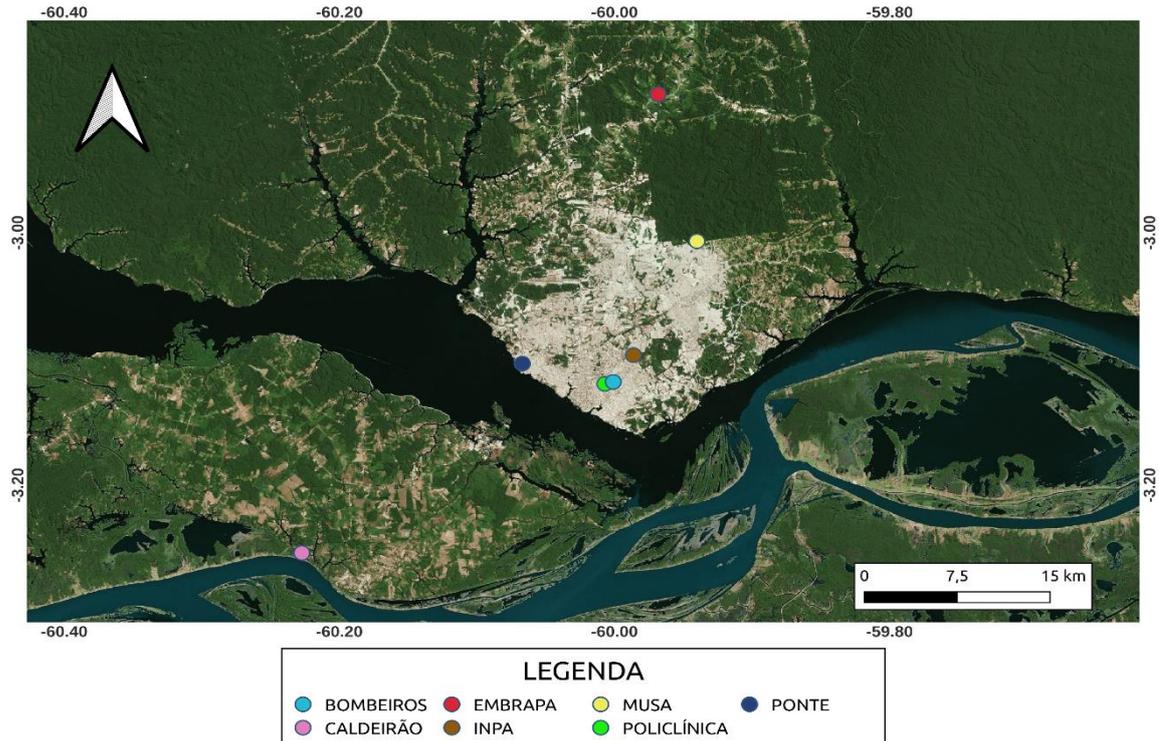


Figura 3. Mapa de localização das estações meteorológicas que compõem a Rede Hobo, as quais foram utilizadas neste estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 1 são listadas as estações com suas respectivas siglas e altura de instalação, em metros.

Tabela 1. Siglas das estações e suas respectivas alturas de instalação.

<b>Estação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Altura (m)</b>
BOMBEIROS	BOM	30
INPA	INPA	33
MUSA	MUSA	20
POLICLÍNICA	POL	40
PONTE	PON	10
CALDEIRÃO	CAL	2
EMBRAPA	EMB	2

Estas estações encontram-se nomeadas de acordo com sua localização: BOMBEIROS (BOM), fixada no topo de uma torre de 30 metros nas dependências da sede do Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas; INPA, instalada em uma torre de 33 metros no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; MUSA, instalada em uma torre de 20 metros no Museu da Amazônia; POLICLINICA (POL), localizada

aproximadamente a 40 metros de altura, em um mastro de 2 metros fixado no topo do prédio da Policlínica Odontológica da Universidade do Estado do Amazonas; PONTE (PON), instalada em uma torre de 10 metros nas proximidades da Ponte Rio Negro; e duas estações instaladas em um tripé de 2 metros, dentro de cercado meteorológico localizados nas duas unidades da Embrapa em Manaus, que são Campo Experimental do Caldeirão da Embrapa Ocidental (CALDEIRÃO ou CAL) e Campo experimental do km 29 da rodovia AM-010 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA ou EMB).

## 4.2 Metodologia

As etapas de desenvolvimento deste estudo estão indicadas no fluxograma apresentado na Figura 4, as quais compõem: formatação da coluna data/hora, desenvolvimento e aplicação de controle de qualidade de dados, e processamento dos dados para análise. Estes serão descritos na sequência a seguir.

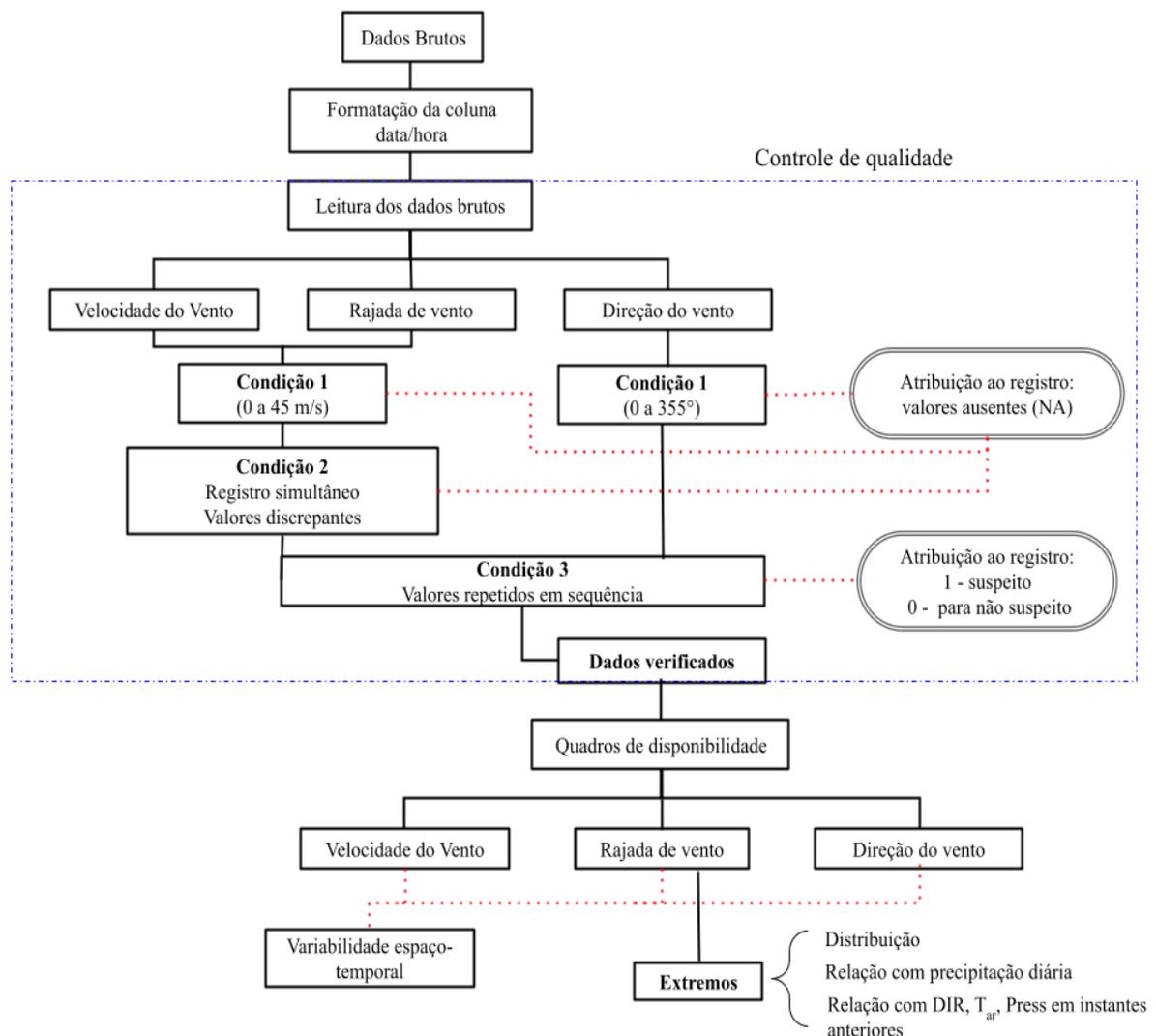


Figura 4. Fluxograma com etapas de desenvolvimento deste estudo.

#### 4.2.1 Formatação da coluna data/hora

Os arquivos de dados das estações que compõem a Rede Hobo contêm 14 colunas, com registros a cada 5 minutos, com a sequência de informações: número de linhas, data e hora, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, direção do vento, velocidade do vento, rajada máxima, pressão atmosférica, bateria. Algumas estações ainda possuem arquivos com colunas adicionais: radiação solar, umidade do solo, e temperatura do solo, como é o caso da EST. No entanto, para cada estação o arquivo de dados tem-se uma sequência aleatória das colunas/informações, que depende da ordem de instalação dos sensores, visto que se trata de um modelo de estação *'plug and play'*, que à medida que vai conectando o sensor o mesmo já é automaticamente identificado.

Diante disso, primeiramente foram selecionadas as variáveis relacionadas ao vento para cada uma das estações indicadas na Figura 3: rajada máxima, velocidade e direção do evento, além da coluna que identifica a data e hora. Por motivos técnicos não especificados pelo fabricante, a formatação da data/hora para este tipo de estação automática pode variar entre as unidades instaladas (Figura 5), bem como alterações na formatação também ocorrem após restabelecimento da comunicação em razão da interrupção da alimentação ou quando houve Interrupção do sinal GSM de transmissão de dados, como pode ser visualizado na Figura 6. Dessa forma, fez-se necessário a realização de procedimentos para uniformizar a formatação desta coluna data/hora, utilizados os aplicativos Excel e LibreOffice, e assim poder seguir com as etapas de realização deste estudo.

(a)	(b)
Time	Time
12/15/17 12:25:00	01/01/16 12h0min0s
12/15/17 12:30:00	01/01/16 12h5min0s
12/15/17 12:35:00	01/01/16 12h10min0s
12/15/17 12:40:00	01/01/16 12h15min0s
12/15/17 12:45:00	01/01/16 12h20min0s
12/15/17 12:50:00	01/01/16 12h25min0s
12/15/17 12:55:00	01/01/16 12h30min0s
12/15/17 13:00:00	01/01/16 12h35min0s
12/15/17 13:05:00	01/01/16 12h40min0s
12/15/17 13:10:00	01/01/16 12h45min0s
12/15/17 13:15:00	01/01/16 12h50min0s
12/15/17 13:20:00	01/01/16 12h55min0s

Figura 5. Exemplo de formatações da coluna data/hora identificados para as estações: a) Bombeiros e b) CAL, nos dias 15 de dezembro de 2017 e 01 de janeiro de 2016, respectivamente.

Para padronizar a coluna data/hora para todas as estações e período de dados disponíveis, foi adotado como padrão a formatação do tipo DD/MM/AA e hh:mm:ss, com a criação de duas colunas adicionais, uma para data e outra para hora. A transformação dos formatos, foi feito utilizando a função “Texto para coluna”, onde se separou as datas das horas, em seguida através da mesma função na coluna das datas, se ajustou a ordem para DD/MM/AA, tomando cuidado pois o aplicativo Excel ou LibreOffice não conseguem diferenciar dois tipos de formatos diferentes na mesma coluna, ou seja, os valores de DD/MM e MM/DD podem conflitar. Para contornar isso foi utilizado primeiro a função “Texto para coluna”, depois nas células transforma os valores para data no formato MM/DD e em seguida reutiliza a função trocando apenas a ordem da formatação para DD/MM/AA. Para a hora foram identificados três tipos de formatos: hh:mm:ss, hh“h”: mm“min”: ss“s”, e horas no formato 12h e 24h. Para o ajuste dessa coluna, se utilizou a função “localizar e substituir”, substituindo os caracteres “h”, “min” e “s” por “vazio”, em seguida ajustando as células para o formato hh:mm:ss. Para converter o formato 12h, repetiu-se primeiro valor de horas, levando em contato a mudança de dia, ou seja, noite ou manhã, somando mais 5 minutos a esse primeira hora tendo cuidado com valores não registrados, mais uma correção de ½ segundo. A Figura 7 apresenta um exemplo de alteração da formatação realizada para a estação CAL, no dia 12/12/2019, quando ocorreram tanto alterações da formação da data e hora quanto nos minutos de gravação dos dados.

(a)	(b)
Time	Time
03/23/16 08h50min0s	12/12/19 10h45min0s
03/23/16 08h55min0s	12/12/19 10h50min0s
03/23/16 09h0min0s	12/12/19 10h55min0s
03/23/16 09h5min0s	12/12/19 11h00min0s
03/23/16 09h10min0s	12/12/19 11h05min0s
03/23/16 09h15min0s	12/12/19 11h10min0s
3/23/16 11:40:00	12/12/2019 11:16
3/23/16 11:45:00	12/12/2019 11:21
3/23/16 11:50:00	12/12/2019 11:26
3/23/16 11:55:00	12/12/2019 11:31
3/23/16 12:00:00	12/12/2019 11:36
3/23/16 12:05:00	12/12/2019 11:41

Figura 6. Exemplos de alterações da coluna data/hora para a estação CAL nos dias: a) 23 de março de 2016; b) 12 de dezembro de 2019.

Time	Data	Hora
12/12/19 10h45min0s	12/12/2019	10:45:00
12/12/19 10h50min0s	12/12/2019	10:50:00
12/12/19 10h55min0s	12/12/2019	10:55:00
12/12/19 11h00min0s	12/12/2019	11:00:00
12/12/19 11h05min0s	12/12/2019	11:05:00
12/12/19 11h10min0s	12/12/2019	11:10:00
12/12/2019 11:16	12/12/2019	11:15:00
12/12/2019 11:21	12/12/2019	11:20:00
12/12/2019 11:26	12/12/2019	11:25:00
12/12/2019 11:31	12/12/2019	11:30:00
12/12/2019 11:36	12/12/2019	11:35:00
12/12/2019 11:41	12/12/2019	11:40:00

Figura 7. Exemplo de resultado após formatação da coluna data/hora, para a estação CAL no dia 12 de dezembro de 2019.

## 4.2.2 Controle de qualidade aos dados de vento

Com base nas especificações técnicas contidas no manual dos equipamentos: anemômetro do Fabricante ONSET Computer, modelo S-WSA-M003, que fornece medidas tanto da velocidade média do vento em intervalos de 5 minutos quanto a velocidade máxima neste intervalo, nomeada como rajada; e do anemômetro do Fabricante ONSET Computer, modelo S-WDA-M003, dedicado apenas para amostrar a direção do vento no instante de gravação do registro, bem como uma inspeção visual prévia dos dados amostrado, foram estabelecidos critérios de controle de qualidade de dados (CQ) visando identificar possíveis erros nas séries de dados, os quais são especificados a seguir por variável analisada.

### 4.2.2.1 Velocidade e Rajada máxima

Condição 1- Identificação de valores fora do intervalo de medida do equipamento, que de acordo com o manual do fabricante é de 0 a 45 m/s, os quais foram substituídos por valores ausentes.

Condição 2 - Comparação entre as medidas de velocidade e rajadas de vento para identificação de: ausência de dados em uma das variáveis no mesmo instante, uma vez que a ausência de um dessas variáveis gera uma inconsistência pois estes registros referem-se ao funcionamento do mesmo equipamento e por isso foram substituídos por valores ausentes; e pela permanência de valores discrepantes mesmo inferiores ao limite máximo de medida do equipamento, identificados comparando-se os registros de velocidade do vento e a rajada de vento, pois a

primeira corresponde a uma média dos valores amostrados em 5 minutos e a rajada é o maior valor desta variável neste intervalo de tempo.

Condição 3 - Valores sequencialmente iguais, o que pode indicar equipamento inoperante. Após identificados, estes foram avaliados individualmente para identificação de possíveis erros uma vez que esta situação pode ocorrer nas horas da madrugada quando o vento é muito fraco e não consegue ser captado pelo anemômetro. No entanto em algumas situações foram identificados dados sequencialmente iguais apenas para uma das variáveis o que é caracterizado diretamente como erro sendo necessária a substituição destes por valores ausentes.

#### **4.2.2.2 Direção do vento**

Seguindo o que foi aplicado para a velocidade e rajada do vento, foram adotados critérios semelhantes para verificação dos dados de direção do vento, com exceção ao critério 2 que não se aplica à esta série de dados visto que o equipamento mede apenas uma variável:

Condição 1- Valores fora do intervalo 0 a 355°, os quais foram substituídos por valores ausentes, uma vez que estes limites se encontram definidos no manual como faixa de operação para o equipamento.

Condição 3- Valores sequencialmente iguais, que assim como para a velocidade e rajada do vento, após identificados, foram avaliados individualmente para identificação de possíveis erros uma vez que esta situação também pode ocorrer nas horas da madrugada quando o vento é muito fraco e não alterar a posição do sensor de direção do vento.

Para aplicação do procedimento de controle de qualidade (CQ) de dados, foram desenvolvidas linhas de comandos (scripts), utilizando a linguagem R em conjunto com a IDE (integrated development environment) Rstudio, as quais contém um conjunto de condições definidas a partir dos critérios selecionados para cada variável. Estas condições têm por função aceitar ou rejeitar determinado valor registrado, ou seja, a condição avalia cada dado registrado e verifica suas características dependendo dos critérios.

Dessa forma, após a padronização da coluna data/hora nas planilhas de dados de cada estação, foi executado o script desenvolvido para controle de qualidade e dados, o qual é composto pelas etapas a seguir, de acordo com o fluxograma que consta na Figura 4: primeiro foi realizada a leitura dos dados e após isso a primeira condição foi aplicada aos dados de velocidade do vento, rajada de vento e direção, a qual refere-se aos critérios de limites máximos e mínimos estabelecidos no manual ou limites físicos da variável testada. Em seguida, utilizando o quadro de dados gerado pela condição 1, foi aplicada a condição 2, a qual identifica se ocorrem valores de velocidade e de rajada ao mesmo instante, visto que se trata do mesmo equipamento para medida destas duas variáveis. No caso de falha em algumas destas variáveis, foi considerado uma inconsistência. Esta condição 2 também incluiu a identificação

de valores anormalmente altos que passaram pela condição 1, utilizando para tanto a comparação entre a velocidade do vento e a rajada, pois a velocidade do vento é registrada a partir de uma média de 5 minutos e a rajada é o maior valor neste intervalo de tempo. Por fim, a condição 3 foi aplicada ao quadro de dados das variáveis velocidade do vento, rajada de vento e direção, a qual verificou valores seguidos repetidos em uma frequência superior a 6 vezes. Vale salientar que a aplicação da condição 3 gera indicadores e estes precisam então ser avaliados manualmente pois alguns dessas atribuições podem ser valores sujeitos de conter erro e outra não, e podem ser confundidas com valores extremos, e requerem cuidados ao ser analisadas. Já no caso das condições 1 e 2 os valores são automaticamente substituídos por valor ausente.

### 4.2.3 Processamento dos dados

A partir das planilhas de dados verificados, resultante da aplicação do controle de qualidade, foram gerados quadros com a disponibilidade de dados para cada variável e estação, para fins de consulta. Na sequência, deu-se o processamento dos dados de velocidade, rajada e direção do vento, para obtenção da velocidade do vento média diária, rajada máxima diária e direção predominante do vento, adotando-se os procedimentos estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial - OMM (WMO, 1989) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), para o cálculo das médias históricas de uma região. Valores diários foram calculados apenas para dias com 85% dos dados, ou seja, com no mínimo 245 registros por dia pois os dados utilizados nestes estudos possuem frequência de 5 minutos.

Para análise da distribuição da velocidade do vento média diária e rajada máxima diária foram utilizadas as ferramentas diagramas de caixa (Box plot) e histograma de densidade de frequência. O diagrama de caixa foi proposto por Tukey (1977) para descrever as características de uma distribuição. De acordo com Neto (2017), o Box plot é um recurso visual que resume os dados para exibir a mediana, quartis, valores pontuais máximos ( $lim_s$ ) e mínimos ( $lim_m$ ), tendência central, dispersão e simetria de dados agrupados. Os quartis correspondem à divisão da série ordenada em 4 partes iguais, utilizando para tanto os limiares definidos pelos percentis de 25% (primeiro quartil), 50% (segundo quartil) e 75% (terceiro quartil). Por sua vez, a técnica dos percentis se baseia na divisão da série ordenada de dados em cem partes iguais, e então adota-se um percentil que irá definir limiares para divisão da série de dados. Como por exemplo temos o segundo quartil, que corresponde ao percentil de 50%, o qual divide a série em duas partes iguais, determinando assim a mediana dos dados. Neste diagrama temos ainda que a diferença entre os percentis de 75 e 25% (IIQ) que caracteriza a distribuição dos 50% dados em torno da mediana, indicando as características de dispersão e simetria da distribuição. No caso do histograma de densidade de frequência tem-se a frequência dos dados por intervalo de classe dividida pelo tamanho da classe.

Para fins de análise da variabilidade espaço-temporal, a partir dos valores diários foram calculados também os valores mensais de velocidade do vento, rajada e direção predominante, através da média aritmética da intensidade média do vento e das rajadas máximas diárias referentes a cada mês/ano, apresentadas na forma de gráfico de variabilidade temporal. No caso da direção predominante do vento, esta foi calculada a partir das frequências de intervalos de classe com comprimento de  $22,5^\circ$ , ou seja, o intervalo de  $337,6 - 22,5^\circ$  para Norte (N);  $25,6^\circ - 67,5^\circ$  para Nordeste (NE);  $67,6^\circ - 112,5^\circ$  para Leste (E);  $112,6^\circ - 157,5^\circ$  Sudeste (SE);  $157,6^\circ - 202,5^\circ$  Sul (S);  $202,6^\circ - 247,5^\circ$  Sudoeste (SO);  $247,6^\circ - 292,5^\circ$  Oeste (O),  $292,6^\circ - 337,5^\circ$  Noroeste (NO). O vento predominante foi então definido como aquele com maior frequência (acima dos 20%), e neste caso foi apresentado através de gráficos do tipo rosa dos ventos. No caso dos valores mensais, foram descartados os meses com dados faltantes em 3 dias consecutivos ou 5 dias alternados.

Para identificação dos extremos de rajadas foi aplicada a técnica dos percentis sendo que neste caso adotou-se o limiar definido pelo percentil de 90%, determinado para dois grupos de estações: urbanas e rurais. Esta divisão foi necessária devido às diferenças de altitudes de instalação do anemômetro entre as estações, já detalhadas no item 5.1. Após identificados, estes eventos extremos de rajadas foram então analisados quanto à frequência de ocorrência mensal e horária. Neste último caso, consideramos a separação do dia em quatro períodos: madrugada (0:00 às 05:59 h), manhã (06:00 às 11:59 h), tarde (12:00 às 17:59 h) e noite (18:00 às 11:59 h).

Os extremos de rajadas também foram analisados em termos de frequência de ocorrência e em relação à precipitação acumulada para os dias associados, visando identificar a relação entre rajadas extremas e chuvas extremas.

Um segundo percentil de 90% foi aplicado à série de dados de extremos de rajadas para os dois grupos de estações: urbanas e rurais. Após identificação destes eventos muito extremos fez-se uma análise da variabilidade horária da direção do vento (DIR), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), pressão atmosférica (Press), e precipitação (Prec) para um período de até 05:00 h antecedentes a estes eventos.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Controle de qualidade de dados**

Nas Figuras de 8 a 14 tem-se apresentadas as séries de dados para as estações BOM, INPA, MUSA, POL, PON, CAL e EMB, respectivamente, antes e após aplicação do controle de qualidade de dados aos registros de velocidade do vento, rajada de vento e direção do vento, em uma frequência de 5 minutos, referentes ao período disponíveis para cada estação. O número de dados analisados para cada estação, para os quais foi aplicado o controle de qualidade, bem como o número de dados influenciados por cada critério, para cada variável, são apresentados na Tabela 2. O espaço sem valores nas Figuras 8 a 14, para os dados brutos e

consequentemente para os dados com CQ, expresso pela descontinuidade dos dados em um longo período, é referente principalmente por falhas no sistema de alimentação e/ou interrupção no sistema de comunicação. Os resultados indicaram que apenas as estações PON e EMB (Figuras 12 e 14) não apresentaram valores identificados como erros ou suspeitos, embora a série de dados disponível para estas estações contenha 245.797 e 404.579 registros para cada variável analisada, respectivamente, o que equivale a um período de dados de cerca de 2 anos e 123 dias, e quase 4 anos, nessa ordem.

No caso da estação BOM (Figura 8), que possui menor quantidade de registros, apenas um valor precisou ser removido para as variáveis U e RAJ, e nenhum para DIR. Este valor único se enquadrou no critério 2 (C2) e apresentou magnitude 2,5 m/s para RAJ, que embora esteja dentro da faixa de operação do equipamento, foi identificado como possível erro devido apresentar valor numérico em RAJ e valor ausente (NA) em U, na mesma linha de tempo, ou seja, uma inconsistência de dados, levando em conta o modo como o sistema determina estas variáveis, que é utilizando o mesmo equipamento.

Para a estação INPA (Figura 9), 8,6% dos dados de U analisados precisaram ser removidos, 11,5% para a RAJ e nenhum de DIR. Houve diferença no número de dados filtrados pelo C1, que foi de 1% para U e de 3,9% para RAJ, diferença atribuída à quantidade de registros fora do intervalo de operação do equipamento, possivelmente devido a um erro no sistema uma vez que estas variáveis são registradas pelo mesmo sensor. Tanto para U quanto RAJ, 2,9 e 4,7% dos dados atenderam aos critérios C2 e C3, respectivamente, referentes a valores ausentes na mesma linha de tempo para U ou RAJ, ou repetidos seguidos com mais 30 minutos de duração, o que ocorrem principalmente no final do ano de 2015, o que pode ser observado na figura de CQ, que mostra uma perda significativa dos dados de U e RAJ nesse período. Vale destacar que os principais valores identificados por C1, foram do tipo – 888,9 e 63,7 m/s, enquanto a faixa de operação do sensor é de 0 a 45 m/s, e que a partir de 25/10/2015 o valor de 63,7 m/s se repetiu várias vezes seguidos por valores aparentemente elevados, porém abaixo dos critérios definidos de C1, como por exemplo 30 m/s.

Para o conjunto de dados da estação MUSA (Figura 10), assim como foi verificado para as estações INPA e BOM, o controle de qualidade não identificou valores de DIR com erros, enquanto para U e RAJ teve-se a mesma quantidade de dados excluídos por C2 e C3, sendo o maior número de dados excluídos correspondente ao C3 (12,1%), referente a valores de 0,0 m/s repetidos em sequência, para U e RAJ. Este valor normalmente ocorre no período da madrugada ou quando não ocorre movimento de ar (vento), porém, neste caso, foram identificados em uma sequência para o período de 27 dezembro de 2019 de até o final da série de dados. Tanto para C1 quanto C2, menos de 1% dos dados de U e RAJ precisou ser removido, com diferença entre as variáveis apenas para C1, atribuído ao valor – 888,9 m/s, que aparece com maior frequência.

Para a POL (Figura 11), apenas 3 e 2 dados de U e RAJ atenderam aos critérios C1 e C2, nessa ordem, sem ocorrências para o critério 3. Já no caso da direção do vento, o C1 detectou 864 dados com erros (0,2 % dos dados analisados), correspondentes ao valor -888,9 m/s e, portanto, fora do intervalo de operação do equipamento. No caso da estação CAL (Figura13), foi identificado a maior quantidade de dados detectados pelo C1 para U e DIR, em comparação com as demais estações. No entanto, devido à também maior disponibilidade de dados, correspondeu a apenas 0,4% do conjunto de dados verificados para estas variáveis, o que se manteve também para o caso de RAJ. Para esta estação, apenas 57 dados atenderam ao C2, por causa de NA atribuídos por C1, ou seja, são valores de U e RAJ que não estão registrados na mesma hora por causa da remoção de - 888,9 m/s, sendo identificado como um dado suspeito de conter erro.

Diante do que foi apresentado, tem-se que as variáveis U e RAJ apresentaram quantidades semelhantes de dados filtrados pelo controle de qualidade, devido à utilização do mesmo equipamento para medida das duas variáveis sem afetar a direção do vento, que possui medida independente. Uma interrupção no sistema de alimentação ou transmissão irá afetar todas as medidas da estação, mas travamento do sensor ou danificação deste como ocorre com o anemômetro irá afetar simultaneamente as medidas de U e RAJ.

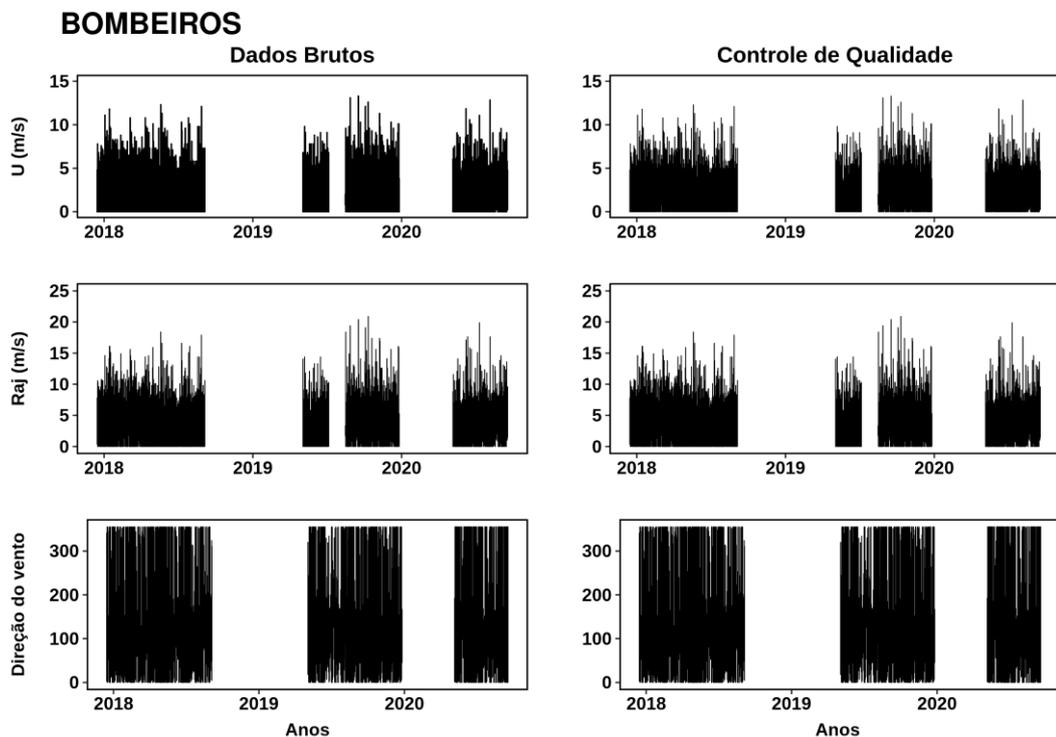


Figura 8. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação BOMBEIROS.

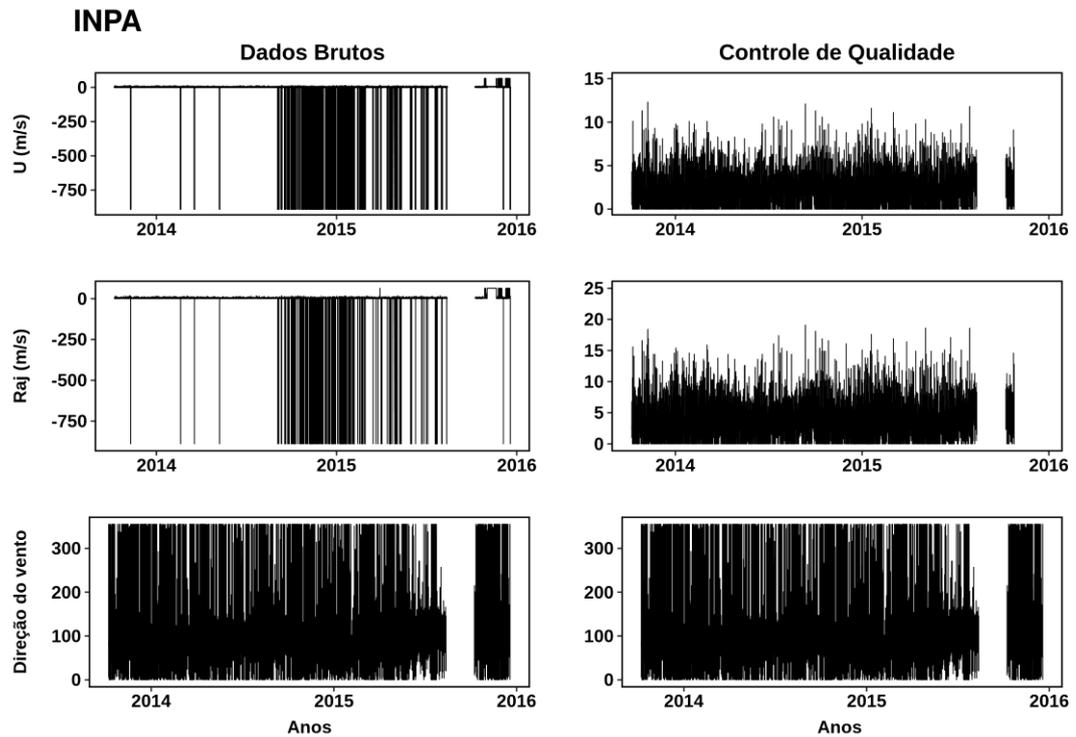


Figura 9. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação INPA.

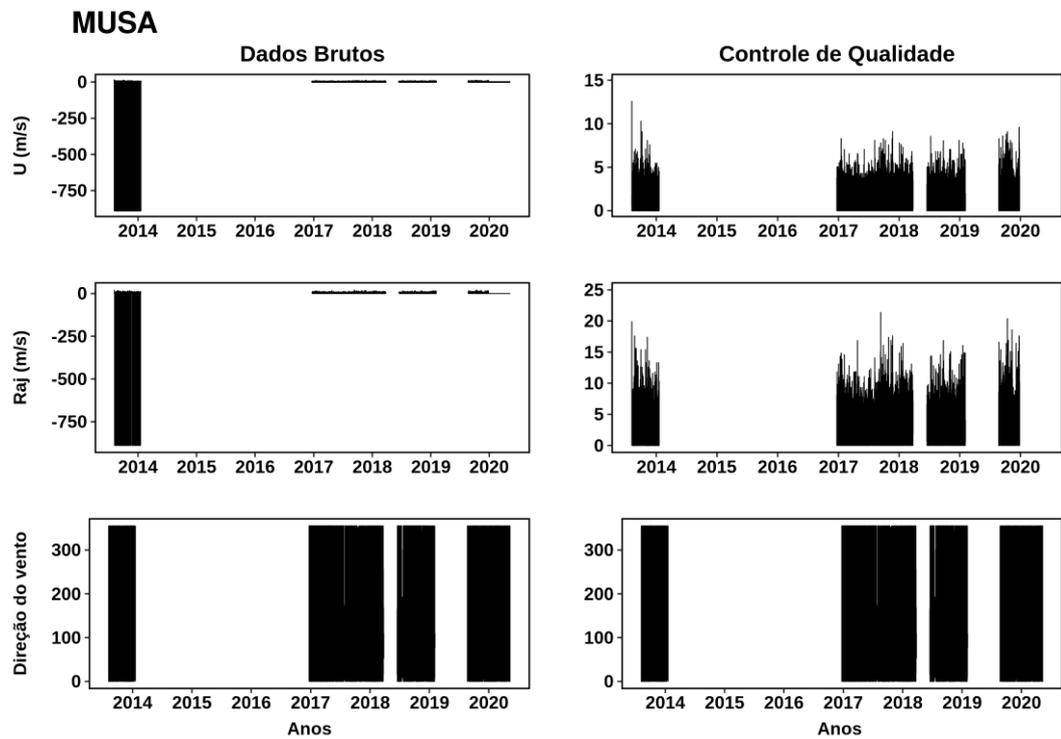


Figura 10. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação MUSA.

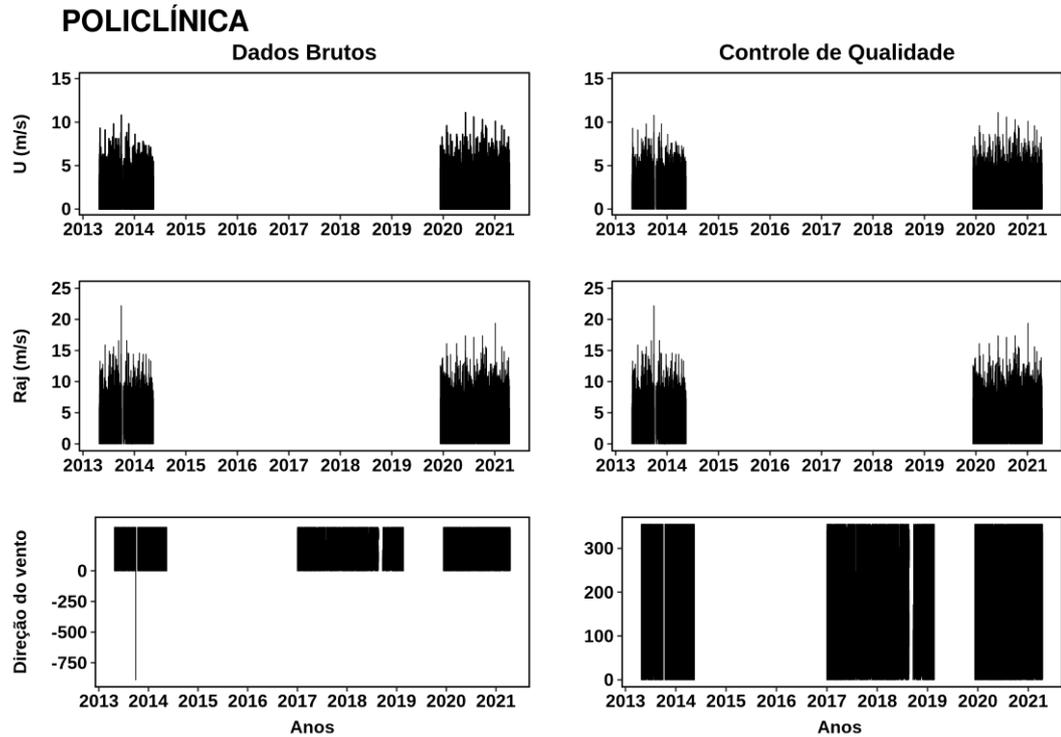


Figura 11. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação POLICLÍNICA.

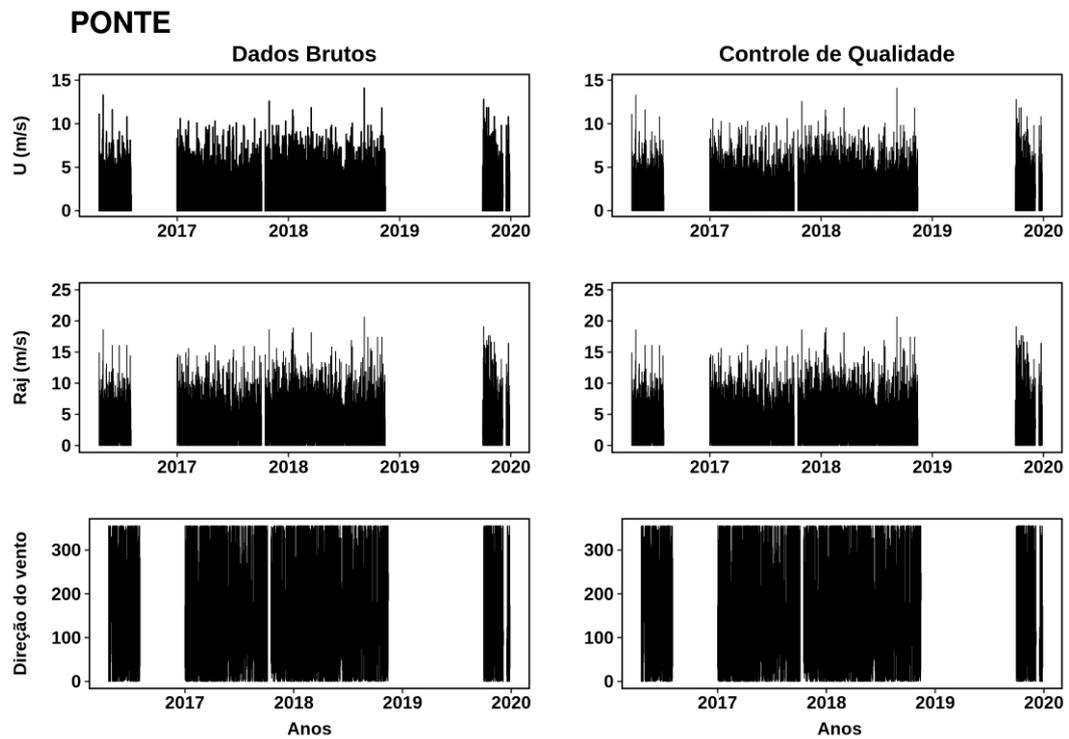


Figura 12. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação PONTE.

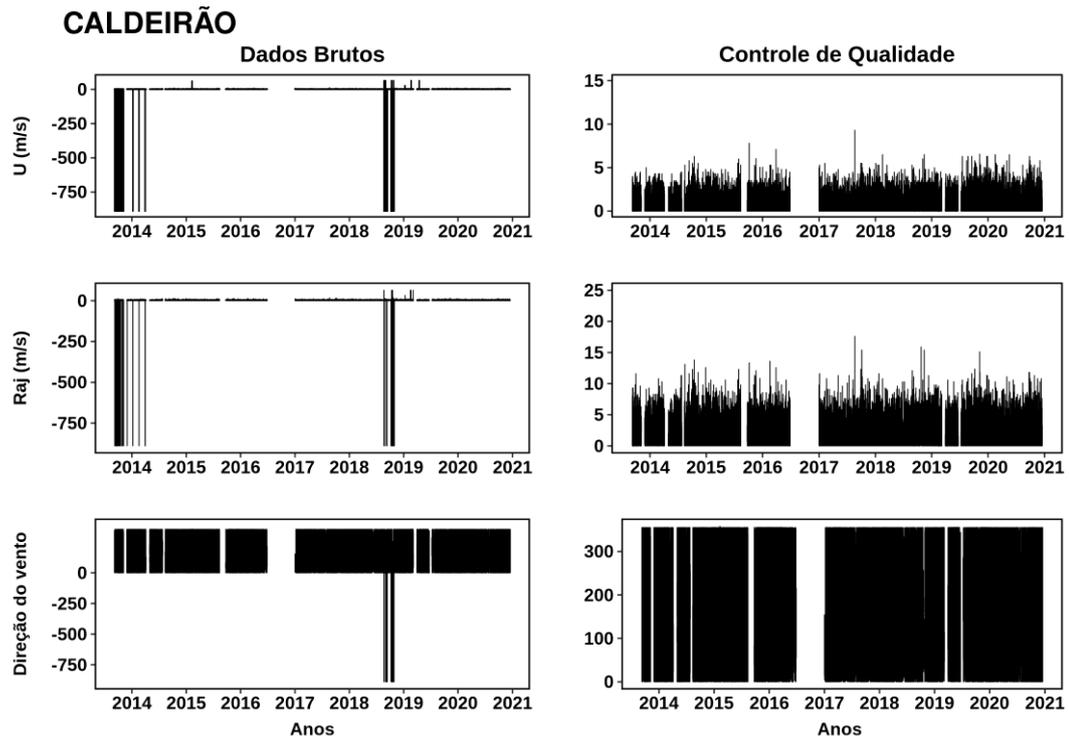


Figura 13. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação CALDEIRÃO.

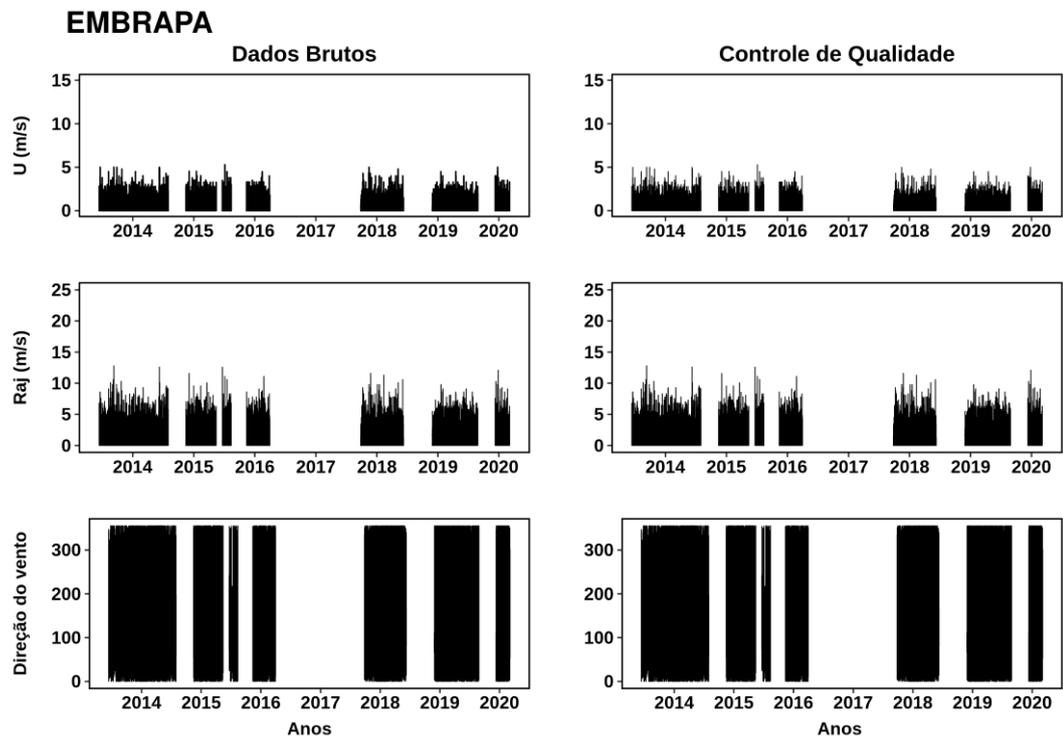


Figura 14. Séries temporais antes (dados brutos) e após o controle de qualidade de dados, para a estação EMBRAPA.

Tabela 2. Informações dos dados antes e após aplicação do controle de qualidade aos dados de velocidade, rajada e direção do vento: Número de dados brutos analisados (N), e porcentagens de dados afetados por cada critério aplicado (C1, C2 e C3).

		BOM	INPA	MUSA	POL	PON	CAL	EMB
U (m/s)	N	170784	214855	321395	252519	245797	670162	404579
	C1	0	2192	383	3	0	2744	0
	C2	1	6240	43	2	0	57	0
	C3	0	10037	39003	0	0	0	0
Raj (m/s)	N	170785	214855	321395	252521	245797	670158	404579
	C1	0	8382	378	3	0	2735	0
	C2	1	6240	43	2	0	57	0
	C3	0	10037	39003	0	0	0	0
Dir (°)	N	182575	214855	321395	469215	245797	670168	404579
	C1	0	0	0	864	0	2666	0
	C3	0	0	0	0	0	0	0

Após o controle de qualidade de dados, foram elaborados gráficos com a disponibilidade de dados de velocidade do vento, rajadas e direção do vento (Figuras 15, 16 e 17), para uma resolução temporal de 5 minutos, os quais encontram-se representados para cada estação. Na cor vermelha, no caso de valor ausente e na cor verde tem-se o dado registrado (verificado). Este produto permite que os usuários interessados nestas variáveis consigam verificar o período disponível de dados para cada estação além da verificação de mais de um local com medidas sincronizadas.

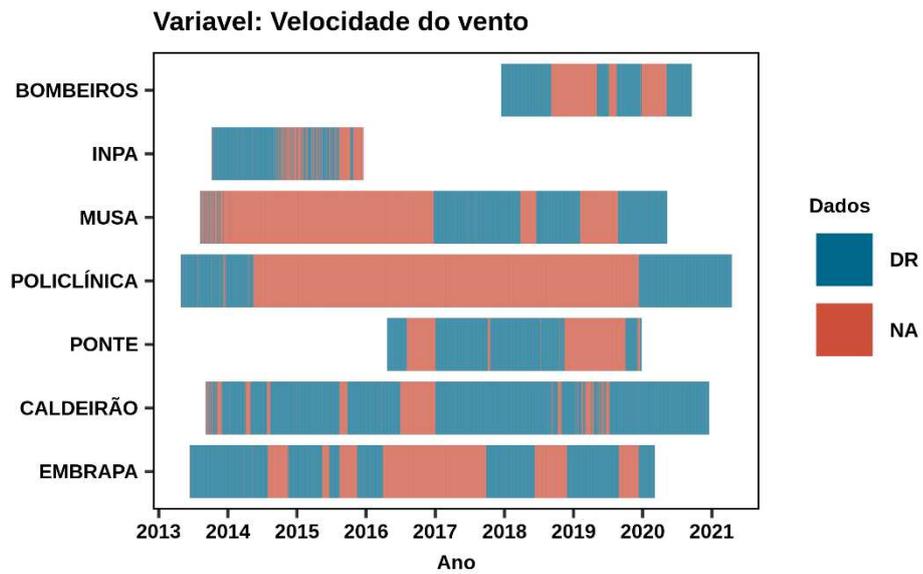


Figura 15. Disponibilidade de dados de velocidade do vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente.

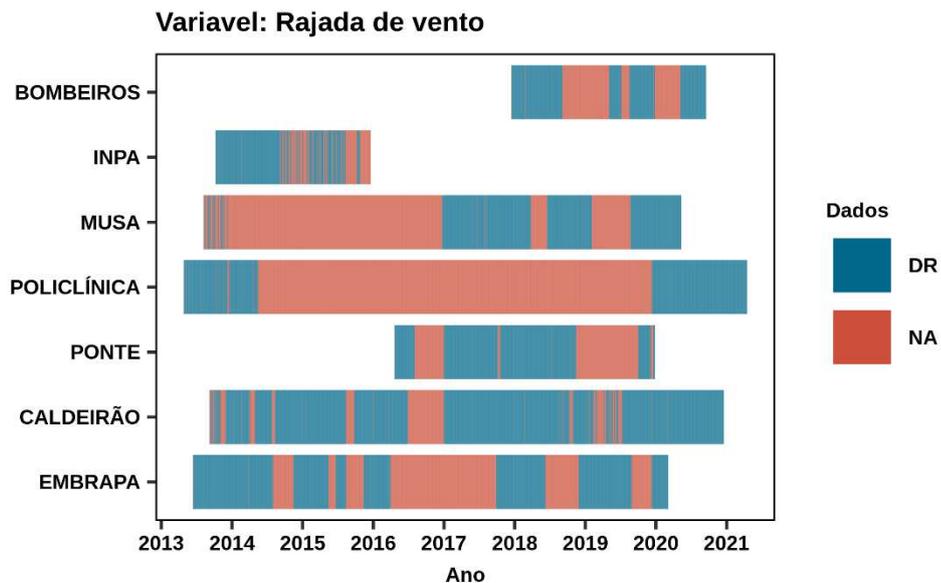


Figura 16. Disponibilidade de dados de rajada de vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente.

Foi possível verificar que cada estação apresenta períodos distintos de dados, o que se deve principalmente à data de instalação de cada estação. Tem-se ainda a ocorrência de falhas em todo o conjunto de dados motivado pela interrupção dos sistemas de alimentação e/ou transmissão dos dados, e até mesmo falhas em apenas um dos sensores, o que pode ser verificado pela diferente disponibilidade de dados entre as variáveis analisadas. Como por exemplo para este último caso tem-se a falha

de dados de U e RAJ na estação POL entre meados de 2014 a 2019, o que não ocorre para a variável DIR.

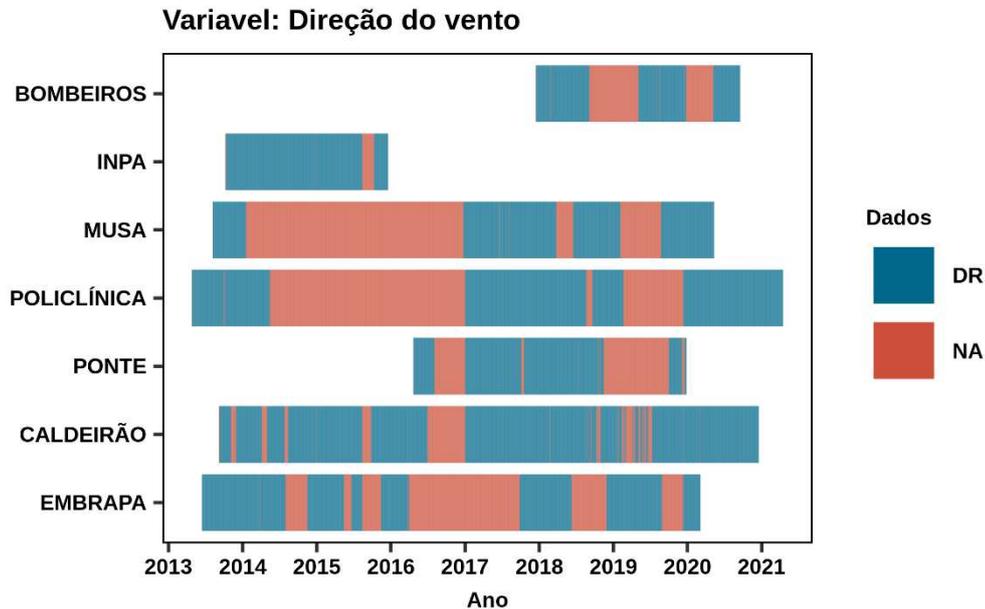


Figura 17. Disponibilidade de dados de direção do vento para cada estação meteorológica, em que DR é dado registrado e NA é valor ausente.

## 5.2 Características gerais da distribuição dos dados de vento

As distribuições das variáveis velocidade do vento médio diário (VMD) e rajada máxima diária (RMD) encontram-se apresentadas na forma de histograma em conjunto com a curva de densidade de frequência e box plot, para cada uma das estações meteorológicas analisadas neste estudo. As informações estatísticas referentes aos diagramas box plot encontram-se indicadas nas Tabela 3 (VMD) e Tabela 4 (RMD). De uma forma geral, tem-se que para as estações BOM, INPA, MUSA, POL e PON, localizadas em área urbana, observa-se uma distribuição simétrica para o VMD (Figuras de 18 a 22), dado pela característica do histograma e da curva de densidade, com os valores apresentando uma distribuição de frequência maior no entorno do pico da curva do que nos extremos, os quais são relativamente mais baixos. Em relação à RMD, a distribuição é predominantemente assimétrica à esquerda, ou seja, as frequências dos menores valores são superiores e o pico da curva de densidade mostra maior concentração de dados nessa região. Essas características de simetria podem ser visualizadas pelo box plot observando a proximidade da mediana, em relação ao primeiro e terceiro quartil (Q1 e Q3).

Tabela 3. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figuras de 18 a 24, para a variável velocidade do vento média diária.

Velocidade média diária (m/s)								
Estação	N	Mín	Lim_i	P <sup>1</sup> 25	Med	P <sup>1</sup> 75	Lim_s	Máx
BOM	588	0,2	1,0	1,5	1,8	2,2	3,2	3,7
INPA	545	0,2	0,7	1,2	1,6	2,1	3,4	3,9
MUSA	862	0,1	0,4	0,8	1,0	1,3	2,2	2,4
POL	856	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	2,4	3,6
PON	850	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	3,2	4,0
CAL	2219	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,3
EMB	1396	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0

Tabela 4. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figuras de 18 a 24, para a variável rajada máxima diária.

Rajada máxima diária (m/s)								
Estação	N	Mín	Lim_i	P <sup>1</sup> 25	Med	P <sup>1</sup> 75	Lim_s	Máx
BOM	588	4,8	5,9	7,8	9,1	10,8	15,3	20,9
INPA	545	4,3	5,3	7,6	9,1	10,8	15,6	18,6
MUSA	862	3,3	4,8	6,8	8,1	10,1	15	21,4
POL	856	4,8	6,0	7,6	8,6	10,3	14,5	22,2
PON	850	4,0	4,8	7,3	8,9	10,8	16,1	20,6
CAL	2219	1,8	3,3	4,8	5,8	7,1	10,5	17,6
EMB	1396	1,5	2,8	4,3	5,3	6,3	9,3	12,8

Em contraposição, nas áreas rurais, as estações meteorológicas CAL e EMB apresentaram padrões diferentes em comparação com as estações de áreas urbanas (Figuras 23 e 24), como evidenciado pela simetria das curvas de densidade de frequência. Além disso, é notável uma característica significativa em relação a VMD e RMD, que apesar de o vento médio diário ao longo da série apresentar valores relativamente baixos, os registros de rajadas continuam ocorrendo, porém com menor intensidade, o que pode ser atribuídos ao fato de que estas estações se encontram fixadas à superfície utilizando como suporte um tripé de apenas 3 metros de altura.

Fazendo uma análise individual para cada estação, tem-se que para a BOM, os intervalos de variação para VMD e RMD são 0,2 a 3,7 m/s e 4,8 a 20,9 m/s, respectivamente, com medianas de 1,8 e 9,1 m/s, nessa ordem, correspondendo aos intervalos de classe com maior densidade de frequência. É possível verificar no box plot que a concentração dos valores de velocidade no diagrama de caixa, entre Q1 e Q3, são 1 a 3,3 m/s e 7,8 a 10,8 m/s, e apresentam mediana da ordem de 1,8 e 9,1 m/s respectivamente, indicando que 50% dos dados estão distribuídos nesse intervalo. No caso de RMD, os valores extremos (outliers), representaram 7,9% dos dados (acima de 15,3 m/s), ressaltando que a maior proximidade da mediana com o limite inferior ou superior, indica que os valores apresentam maior variabilidade.

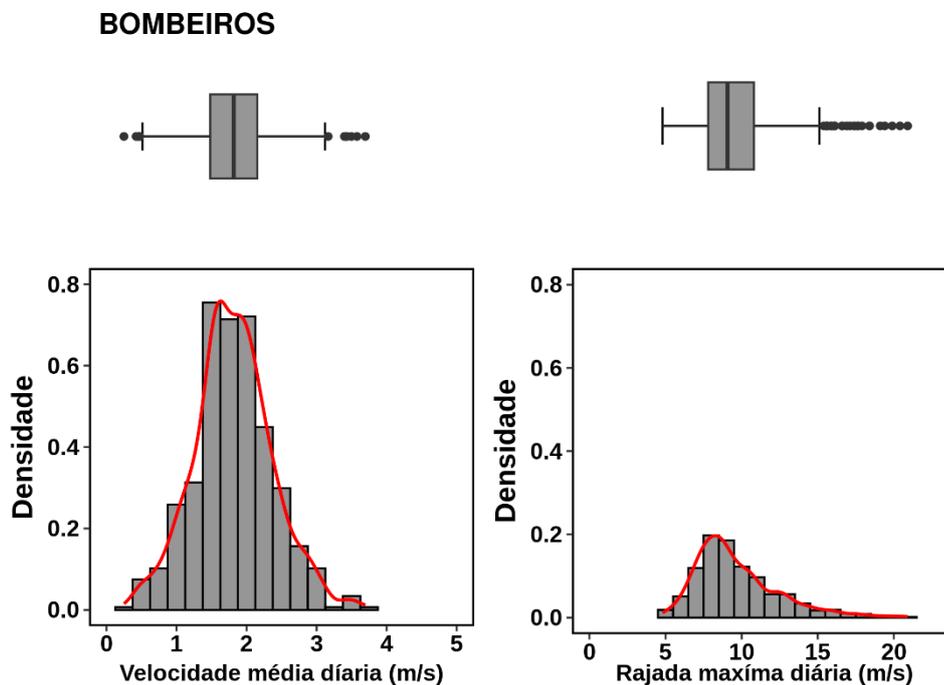


Figura 18. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação BOM.

A estação INPA (Figura 19) apresentou uma distribuição semelhante à BOM, com VMD variando de 0,2 a 3,9 m/s e RMD de 4,3 e 18,6 m/s, respectivamente, com as maiores frequências ocorrendo em torno de 1,8 m/s (cerca de 59,9% da frequência) e 9,0 m/s (cerca de 48,1% da frequência), evidenciadas pela mediana que é da ordem de 1,6 e 9,1 m/s. Neste caso, os outliers (extremos) de RMD estiveram mais próximos do limite superior do box plot com intensidade máxima verificada de 15,6 m/s.

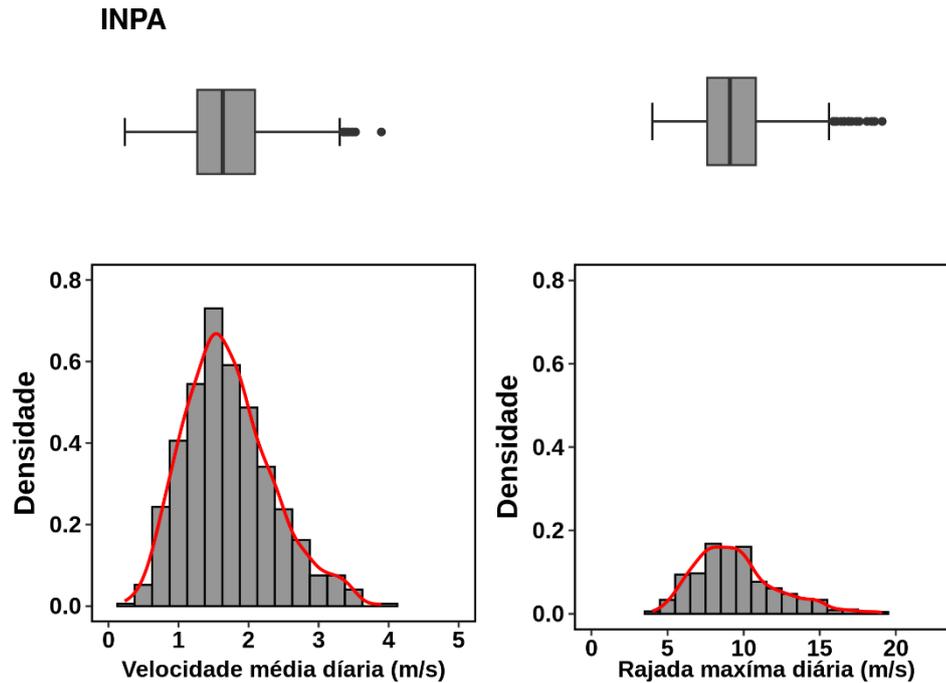


Figura 19. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação INPA.

No caso da MUSA (Figura 20), uma das principais características em comparação com as estações anteriores foi a predominância de valores menos intensos que BOM e INPA, com VMD de no máximo 2,4 m/s e mediana de 1,0 m/s. A RMD variou de 3,3 a 21,4 m/s, representando a maior amplitude de rajada máxima diária (18,1 m/s) em relação às demais estações, embora mediana tenha sido inferior a 8,1 m/s. Observa-se que o intervalo entre Q1 e Q3 no box plot, mostra uma variabilidade entre 0,8 e 1,3 m/s e de 6,8 a 10,1 m/s para RMD e RMD, representando 50% dos dados distribuídos nessas faixas, sendo que a mediana é 1(VMD) e 8,1 m/s (RMD) respectivamente. Os outliers estão distribuídos próximos do limite superior (com maior densidade), porém observa-se pontos mais distantes desse limite, que ressaltam eventos de rajadas extremamente fortes em relação às demais, evidenciados principalmente pela distância do limite superior em relação ao Q3.

A estação POL (Figura 21) apresentou valores semelhantes à BOM e MUSA, com variação de VMD entre 0,4 a 3,6 m/s e de RMD entre 4,8 a 22,2 m/s, porém com maior concentração de valores de até 1,6 e 10,3 m/s, e medianas 1,3 e 8,6 m/s, respectivamente. Por outro lado, os outliers tanto de VMD quanto de RMD apresentaram mesmas características de distribuição dos outliers da MUSA, com a ocorrência de valores mais afastados do limite superior.

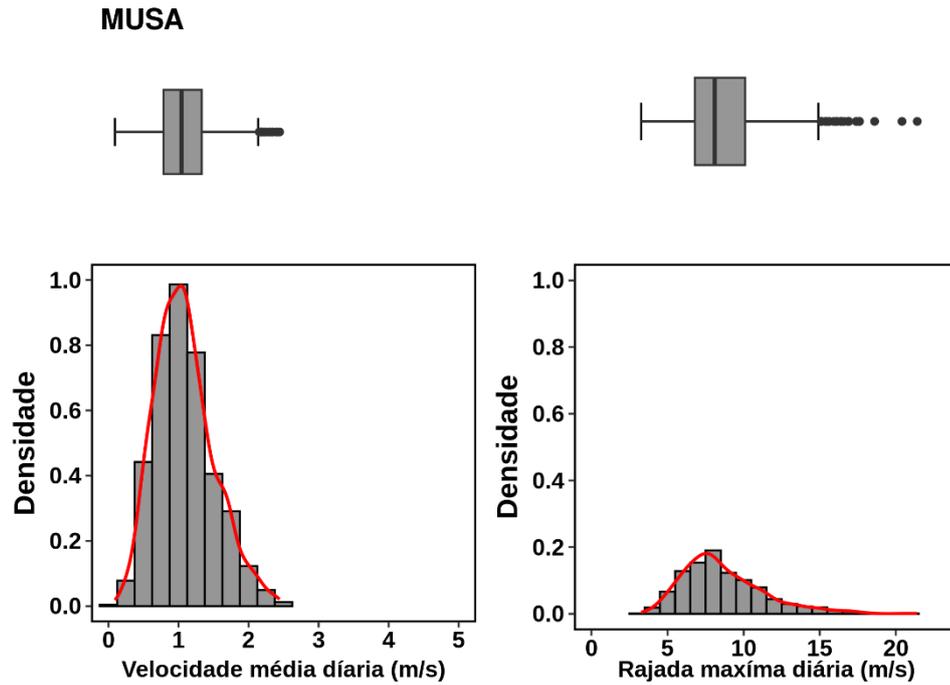


Figura 20. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação MUSA.

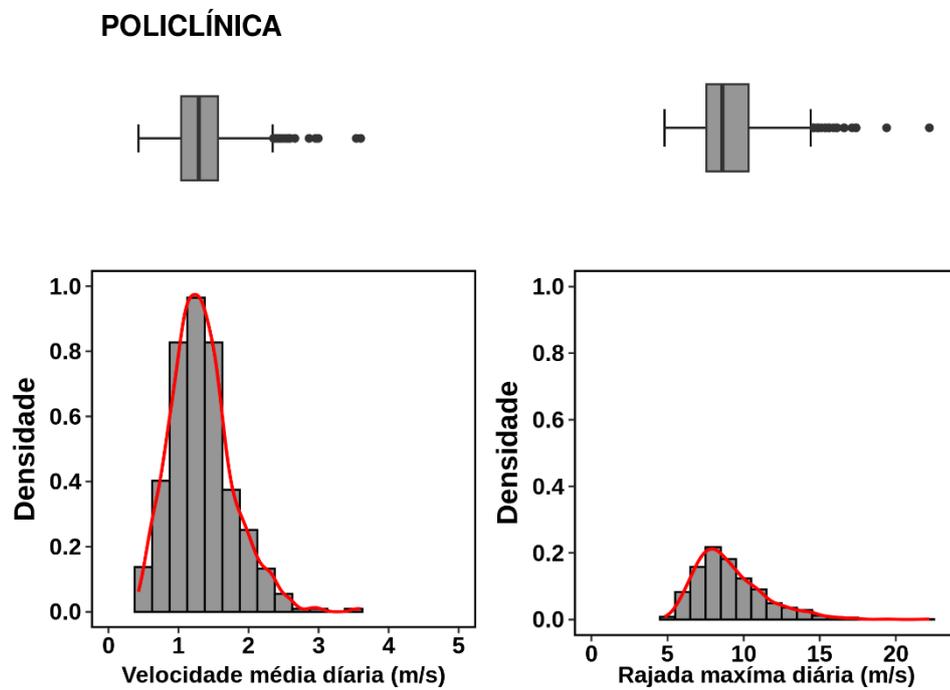


Figura 21. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação POL.

Para a estação localizada próxima à Ponte Rio Negro, denominada PON (Figura 22), a distribuição da VMD através do histograma e curva de densidade de frequência, bem como o box plot, apresentaram valores mínimos mais elevados do que as demais estações (Min=0,7 m/s), indicando a ocorrência de ventos relativamente mais fortes nesta localidade que pode ser atribuído à localização da estação no limite entre a superfície continental e o rio, sendo influenciado portanto pela circulação de brisa fluvial resultante do contraste de temperatura entre este dois ambiente (Matos, 2016). No entanto, o padrão de predominância de ventos menos intensos foi mantido assim como verificado para as demais estações, com maior frequência em torno de 1,8 m/s (Med) e os valores máximos foram semelhantes às estações BOM, INPA e POL. De acordo com o box plot, o primeiro, segundo e terceiro quartil e o Lim\_s foram iguais aos verificados para a estação BOM, porém com valores máximos de até 4,0 m/s. Para os dados de RMD, a distribuição foi semelhante às estações já analisadas, com variação de 4,0 a 20,6 m/s, com predominância dos dados entre 4,8 e 7,1 m/s (Q1 e Q3), sendo a maior frequência de dados em torno de 8,9 m/s (Med). Ao contrário do que foi verificado para VMD, esta estação apresentou valor mínimo inferior às estações BOM, INPA e POL. Por outro lado, o limite superior foi mais elevado (16,1 m/s) entre todas as estações, definindo assim os maiores valores de rajada extrema, embora o valor máximo tenha sido superior apenas à estação INPA. Com isso temos que mesmo com ventos fracos relativamente mais fortes, os mais elevados se mantem no padrão das demais localidades.

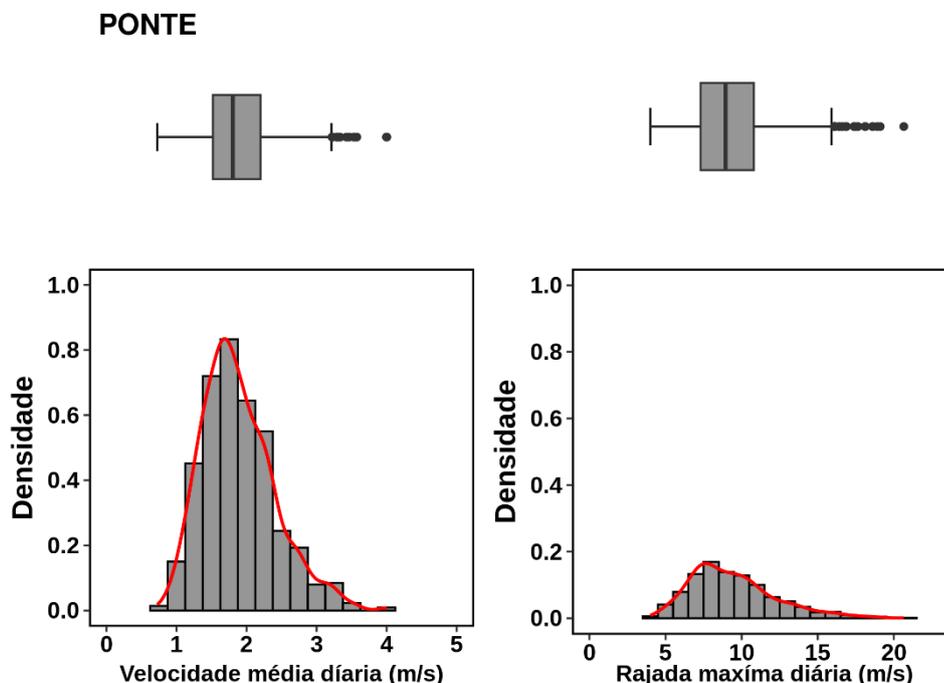


Figura 22. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação PON.

Como já foi mencionado, as estações CAL e EMB apresentam distribuição de vento distinta das demais estações analisadas neste estudo como resultado da instalação do anemômetro mais próximo da superfície nestas. Para a estação denominada CAL (Figura 23) tem-se que VMD apresentou variação de 0 a 1,3 m/s enquanto para a RMD, essa variação foi de 1,8 a 17,6 m/s. A curva de densidade de frequência apresentou uma dispersão dos valores em torno de 0,3 m/s (VMD), e 5,8 m/s (RMD), com predominância de vento de 0,2 a 0,5 m/s, e 4,8 a 7,1 m/s, respectivamente, dados pelo Q1 e Q3. Adicionalmente, tem-se que o limiar para identificação de extremos de rajada de acordo com o box plot foi de apenas 10,5 m/s.

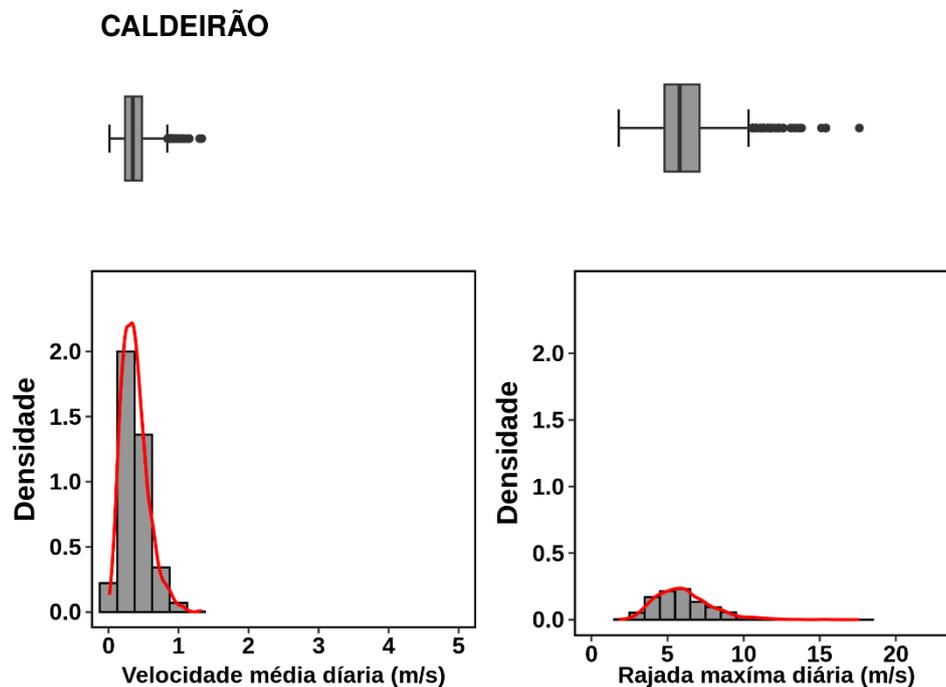


Figura 23. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação CAL.

Quanto à estação da EMB (Figura 24), os valores foram relativamente inferiores à CAL. VMD variou de 0 a 1 m/s e RMD de 1,5 a 12,8 m/s, com maior frequência em torno de 0,2 e 5,3 m/s, nessa ordem. O box plot indicou predominância de dados entre 0,1 e 0,3 m/s (VMD), e 4,3 e 6,3 m/s (RMD). No entanto, é importante observar que esses valores para as estações CAL e EMB ainda permanecem abaixo dos limiares considerados extremos na área urbana, revelando uma diferença notável entre os ambientes. Além disso tem-se ainda a diferença entre os limiares de extremos entre as estações localizadas ambas em área rural o que pode ser efeito das características no entorno de cada estação, sendo a EMB envolta por vegetação mais densa do que a CAL, contribuindo para frear o vento próximo da superfície.

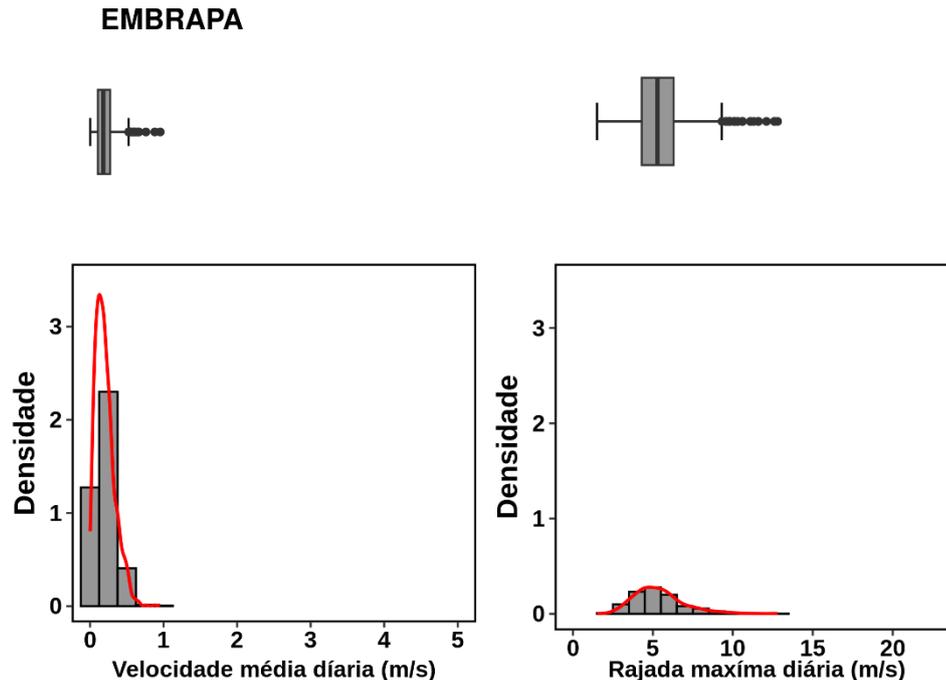


Figura 24. Histograma e curva de densidade de frequência e box-plot, para as variáveis: Velocidade média do vento (m/s) e rajada máxima diária (m/s), referentes à estação EMBRAPA.

### 5.2.1 Variabilidade temporal e espacial dos dados de vento

A distribuição das médias mensais de VMD é apresentada na Figura 25. De uma forma geral, observa-se claramente diferença nos valores entre área urbana e rural, as quais variaram de 0,8 a 2,8 m/s e 0,1 a 0,4 m/s, respectivamente. Os maiores valores foram verificados principalmente nos meses de agosto a outubro, os quais correspondem às estações seca e de transição da estação seca para a chuvosa, o que pode ser verificado com mais evidência para a estação CAL, com uma maior série de dados disponíveis em relação às demais estações, mesmo localizada em área rural e com valores inferiores à área urbana.

Para análise detalhada desta figura foram separados três períodos distintos de forma a tornar possível uma comparação dos dados de rajadas entre diferentes localidades. O primeiro compreende dados de 2013 a 2015, para o qual foi possível observar que, na área urbana, o vento é mais elevado na INPA (2,8 m/s) em comparação com POL (1,7 m/s), com diferenças de até 1,1 m/s, que por sua vez é superior ao da MUSA, onde nesta a VMD não ultrapassou 1,7 m/s. Uma possível razão para este comportamento é o fato da INPA está localizada em uma área de topografia mais elevada do que as demais resultando, portanto, numa menor interferência das características de superfície, e a estação MUSA está localizada na borda de uma área de floresta (Reserva Adolpho Duke), o que possivelmente atua como freio do vento nesta região.

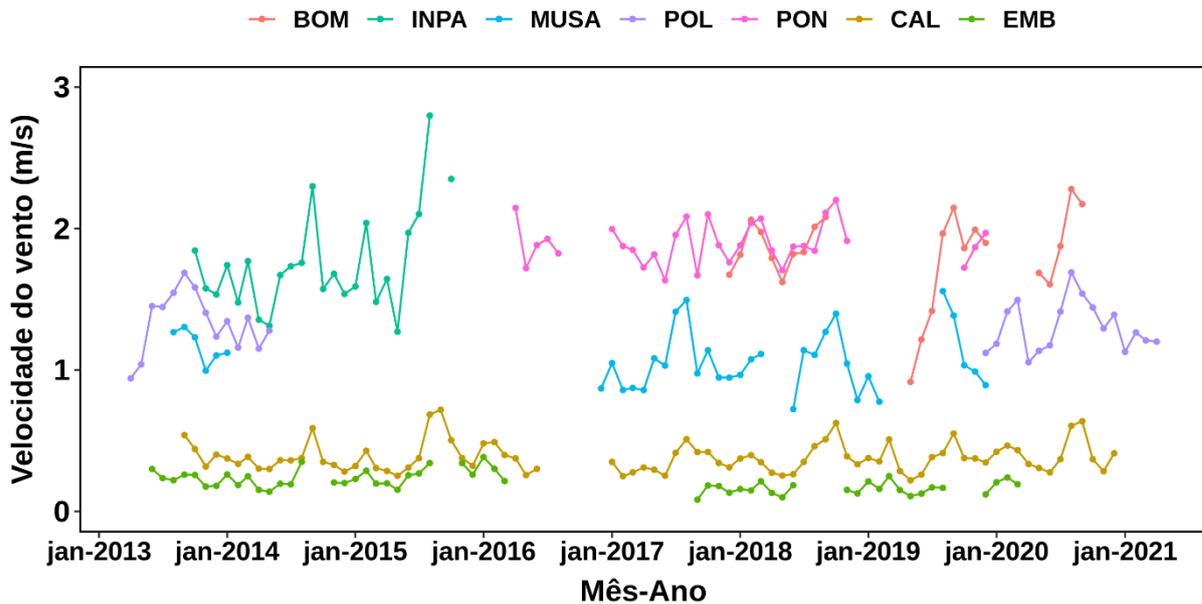


Figura 25. Variabilidade temporal da velocidade do vento média mensal (m/s) para o período de dados disponíveis para cada estação meteorológica.

Para o período de 2017 a 2019, quando houve mais dados disponíveis para a estação PON verificou-se que nesta a VMD foi semelhante à BOM (2,1 m/s) mesmo estando localizadas em zonas diferentes da cidade, com diferenças entre estas de no máximo 0,1 m/s (10/2018). Assim como verificado para o período anterior, a VMD na MUSA manteve-se com valores inferiores, não ultrapassando 1,6 m/s, o que resultou em diferenças em relação PON de até 0,6 m/s.

Por outro lado, em 2020, POL e BOM embora localizadas no mesmo bairro (Cachoeirinha, Zona Sul), apresentaram diferenças de até 0,6 m/s (08/2020), o que pode ser atribuído ao fato de que a estação POL encontra-se no topo de um prédio de aproximadamente 40 metros, sofrendo, portanto, interferência da estrutura deste, enquanto a BOM foi instalada no topo de uma torre triângula de cerca de 30 metros.

No contexto das estações de área rural (CAL e EMB), as diferenças entre elas são menores quando comparadas com as diferenças observadas entre as estações localizadas na área urbana, o que pode ser atribuído às semelhanças nas coberturas na superfície nestas regiões. No entanto, foi identificado ainda que as médias mensais de VMD foram superiores na CAL, com variação entre 0,2 e 0,7 m/s. enquanto na EMB, o máximo valor verificado foi de 0,4 m/s (janeiro). Estas diferenças podem ser explicadas pela vegetação menos densa na EMB e proximidade da CAL com o rio que a submete sob influência da circulação local de brisa fluvial, como já mencionado anteriormente, que adicionada ao padrão de vento local determinado pela circulação geral da atmosfera, faz com que o vento seja superior quando comparado com a também área rural EMB.

Para a média mensal da RMD (Figura 26), tem-se o mesmo padrão verificado para VMD, com valores inferiores de RMD na área rural, porém com menores diferenças entre as estações, indicando que as rajadas são intensas em todas as zonas na cidade. Assim como realizado para o VMD, as análises serão realizadas por períodos. De 2013 a 2015 INPA, POL e MUSA apresentaram em média RMD superiores a 9,0 m/s, com máximos de até 10,9 m/s, verificado na estação INPA em outubro de 2014. Para o período de 2017 a 2019, a RMD na PON e BOM atingiu máximos de 11,2 e 11,9 m/s (outubro) enquanto para a MUSA neste mesmo mês o registro foi de 10,5 m/s (mês). No entanto, o maior registro de RMD para a MUSA ocorreu em fevereiro de 2019 (11 m/s). Em 2020, uma comparação entre BOM e POL indica a ocorrência de valores próximos, porém relativamente mais intensos na BOM, assim como verificado para o VMD. Já para as estações localizadas em área rural, RMD superiores ocorreram na CAL com máximo de 7,5 m/s, enquanto para a EMB foi de até 6,7 m/s, ambos verificados em agosto de 2015.

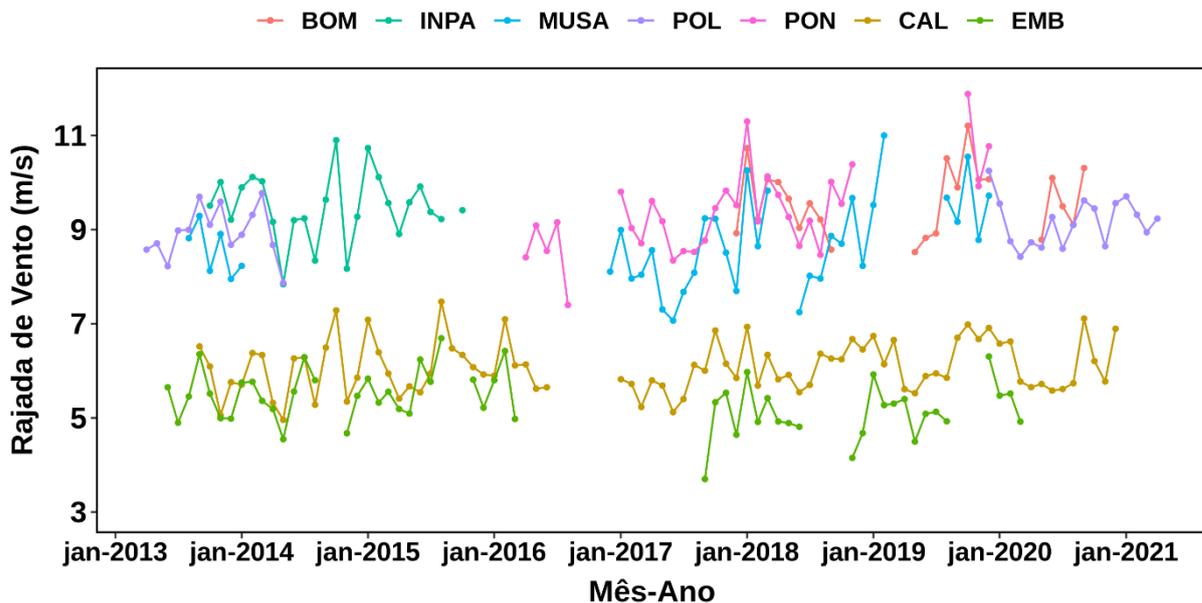


Figura 26. Variabilidade temporal da rajada de vento média mensal (m/s) para o período de dados disponíveis para cada estação meteorológica.

Destaque pode ser dados para os dias 17/01/2018, 07/10/2019, 20/10/2019 para os quais tem-se registros de mais de três locais simultaneamente. Em 17/01/2018 ocorreram rajadas de vento em horário próximo de 13:05h, com exceção da MUSA que começou 16:05h, e atingiram velocidades de até 13,6 m/s (MUSA), 15,1 m/s (BOM) e 18,9 m/s (PON). Já para o dia 07/10/2019, observou uma diferença de apenas 5 minutos da ocorrência das rajadas, com registros nas três estações na MUSA de 16,9 m/s, BOM de 17,4 m/s e PON de 17,6 m/s. E por fim o dia 07/10/2019

quando foram rajadas de 16,4 m/s na MUSA e BOM, e na PON de 16,1 m/s nos horários de 16:45h, 16:55 e 17:00h respectivamente.

Vale destacar que essas rajadas tiveram sua ocorrência nos meses de outubro e janeiro, meses de transição de estação seca para chuvosa e estação chuvosa nessa ordem, e em média mensal observa-se que são meses em que possuem os maiores valores de rajada, o que corresponde ao descrito por Coelho (2017). São meses em que os ventos provenientes da grande escala se somam à escala local, quando a ZCIT desloca-se mais ao sul em relação ao equador. Outra característica é a diferença de intensidade das rajadas da área rural e área urbana, que é fortemente influenciada pelo atrito e a altura de instalação da estação, assim como o que ocorre com a velocidade do vento.

A direção predominante do vento para cada estação é apresentada nas Figuras 27 a 33, na forma de rosa dos ventos. Para a estação do BOM (Figura 27) é possível verificar que a direção predominante do vento é de leste - nordeste (E-NE) nos meses de janeiro a março (estações chuvosas). Em abril e maio, predominam ventos de norte a sudeste, enquanto em junho a predominância é de sudeste (SE), que continua até agosto. Em setembro volta ao padrão de abril e maio, com ventos variando de norte a sudeste, e em outubro e novembro predominam ventos de sudeste e de leste-sudeste, nessa ordem.

Para a estação do INPA (Figura 28), a direção do vento é predominantemente de leste durante todos os meses do ano. Na MUSA (Figura 29), predominam ventos de nordeste-leste (NE-E) de janeiro a março, em abril e maio os ventos de norte e leste aumentam de frequência, até que em junho e julho predominam ventos de sudeste (SE). Em agosto os ventos de leste (E) voltam a se tornar mais frequentes e assim permanece até novembro, quando em dezembro torna-se predominante o de nordeste (NE). A direção predominante do vento na POL (Figura 30) segue o padrão verificado para a MUSA, enquanto para a PON (Figura 31), observou-se que de janeiro a maio a predominância é de vento de NE-E, alterando para sul em junho. Em julho tem-se uma distribuição predominante de ventos de nordeste, leste e sul, enquanto de agosto a dezembro predominam ventos de leste embora com frações significativas de sul e nordeste. Para as estações de área rural (Figuras 32 e 33), a distribuição ocorre de forma distinta, como predominância de ventos de nordeste-leste na EMB durante todo o ano, enquanto na CAL as maiores frequências variam de nordeste a sul.

Comparando as estações localizadas na região mais central da cidade, observa-se que no geral a direção predominante do vento corresponde a climatologia local (INMET, 2009), com ventos de NE, nos meses considerados mais chuvoso, as três estações apresentam predominância de NE e E, ou seja, ventos apresentam maior frequência acima de 20% de NE para SW e de E para O. Já nos meses de transição ocorre um uma reversão dos ventos, para E e SE, próximo ao padrão climatológico. Este comportamento também foi verificado por Carvalho (2022), que também identificou predominância de ventos de norte e leste tanto no período chuvoso quanto no seco. Para as estações do MUSA e PON, localizadas na borda da cidade, ou seja, regiões de interface entre cidade/floresta e cidade/rio, respectivamente,

possuem a predominância e intensidade do vento fortemente influenciadas pelas características da superfície sendo neste último caso a predominância da direção do vento como resultado da atuação da brisa fluvial (Matos, 2016).

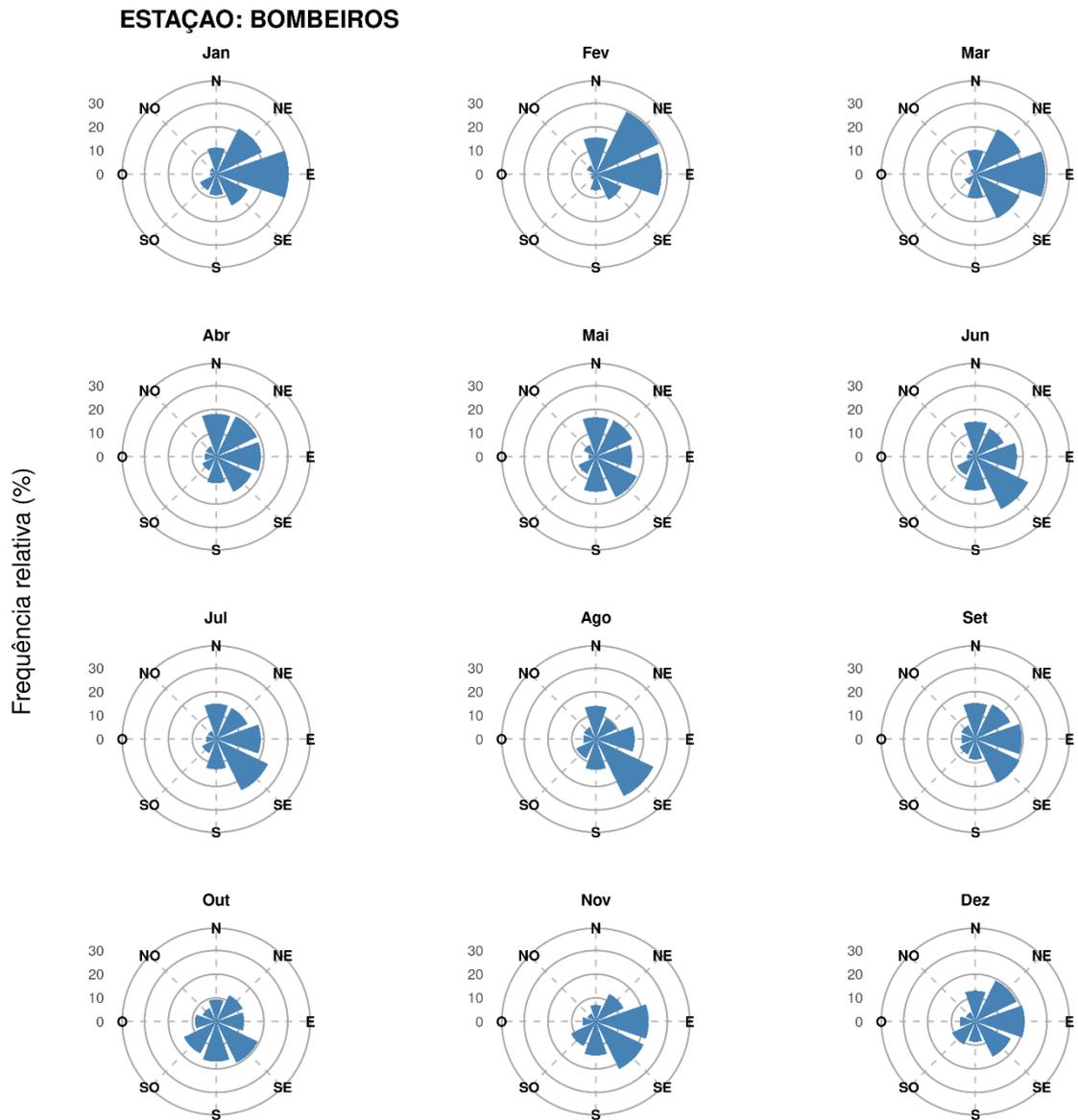


Figura 27. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação BOMBEIROS.

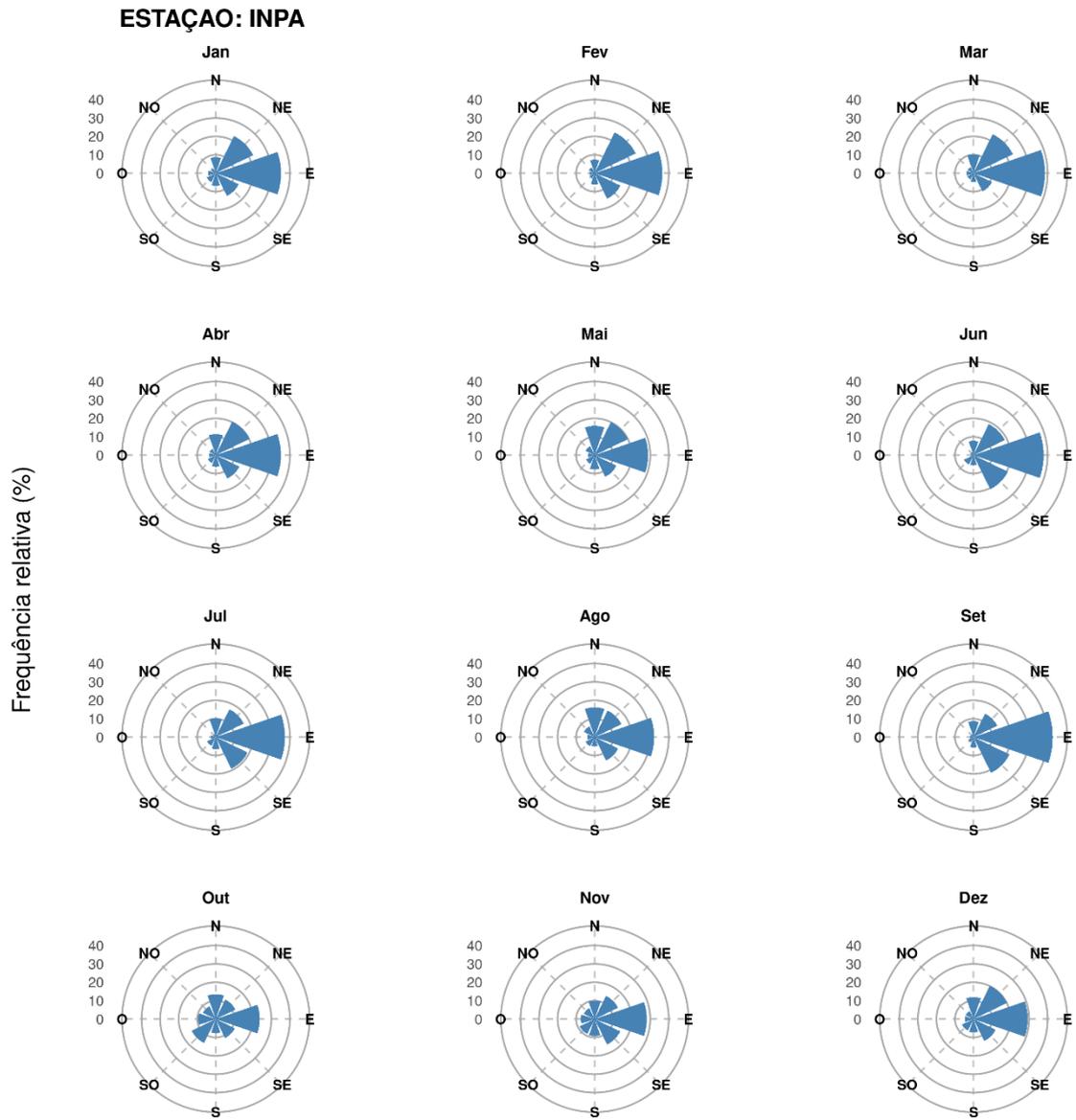


Figura 28. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação INPA.

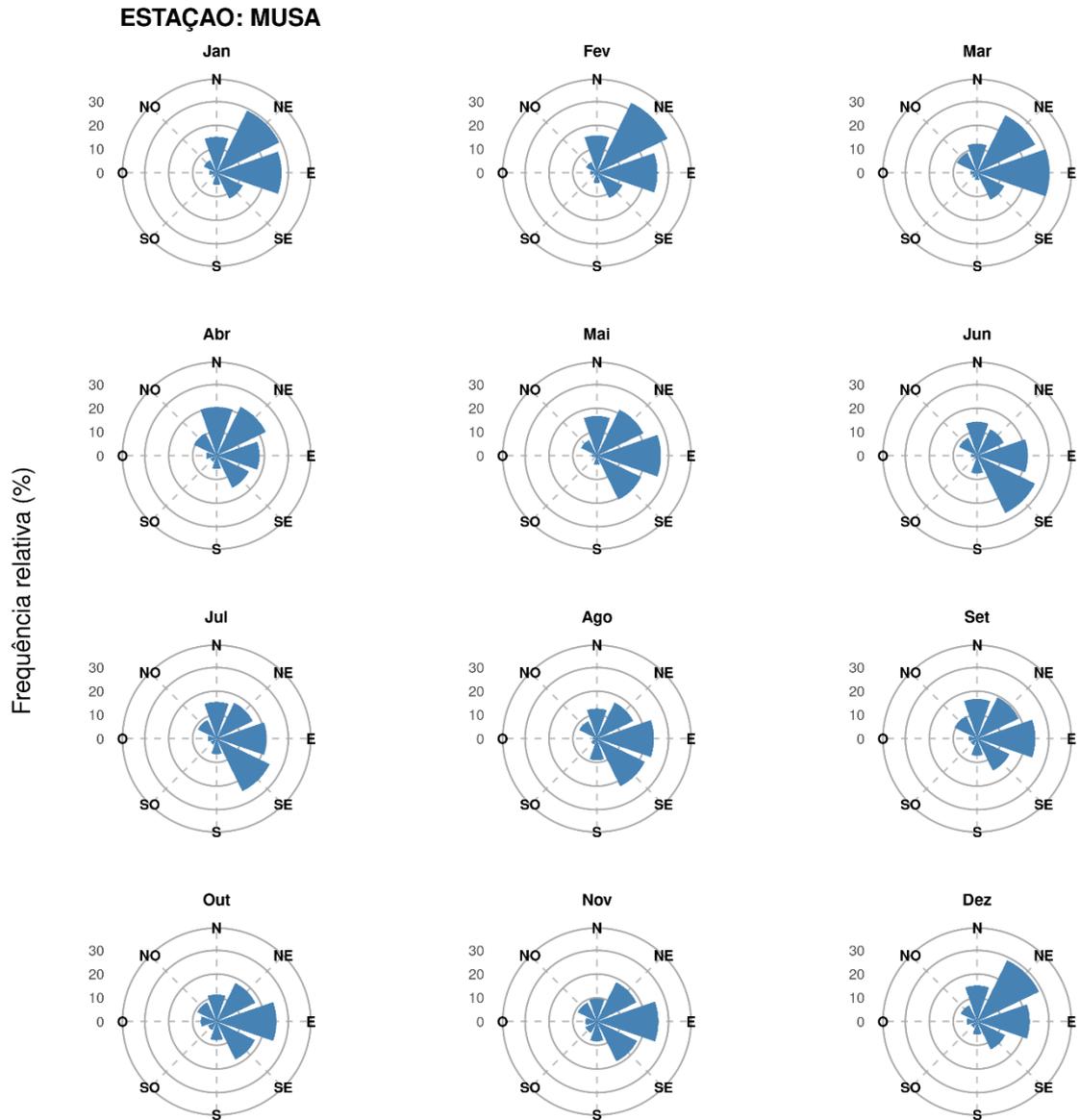


Figura 29. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação MUSA.

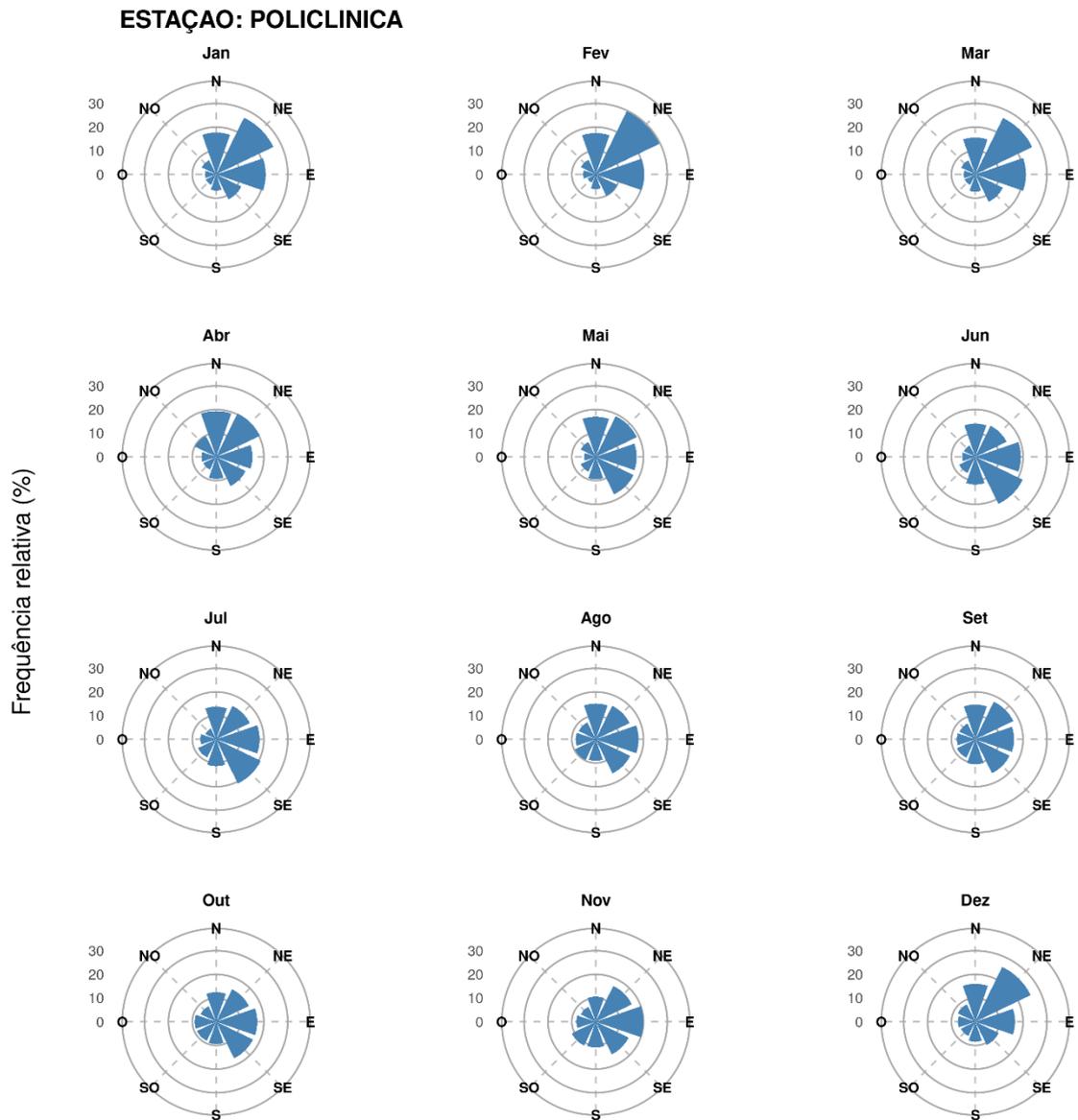


Figura 30. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação POLICLINICA.

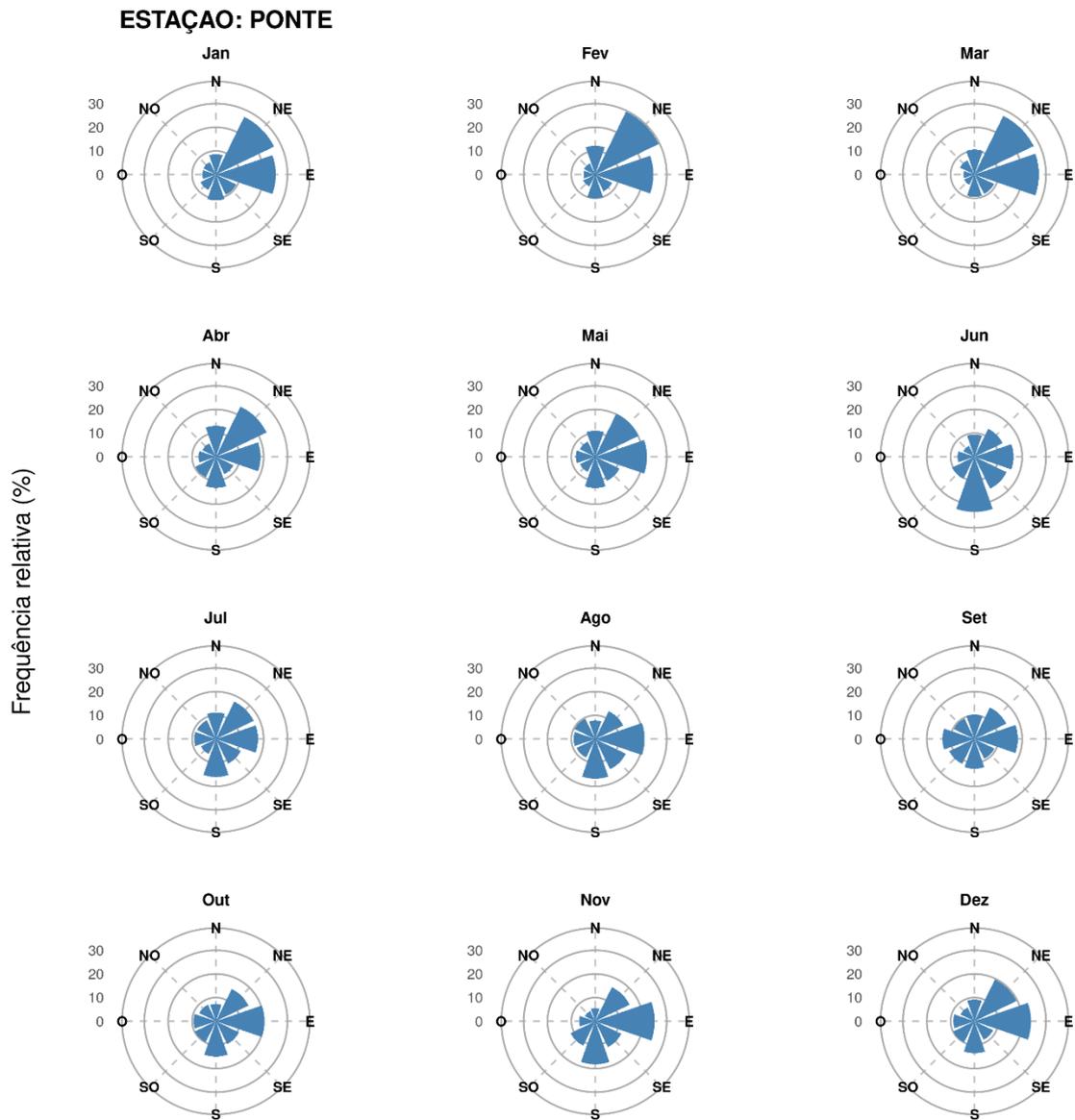


Figura 31. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação PONTE.

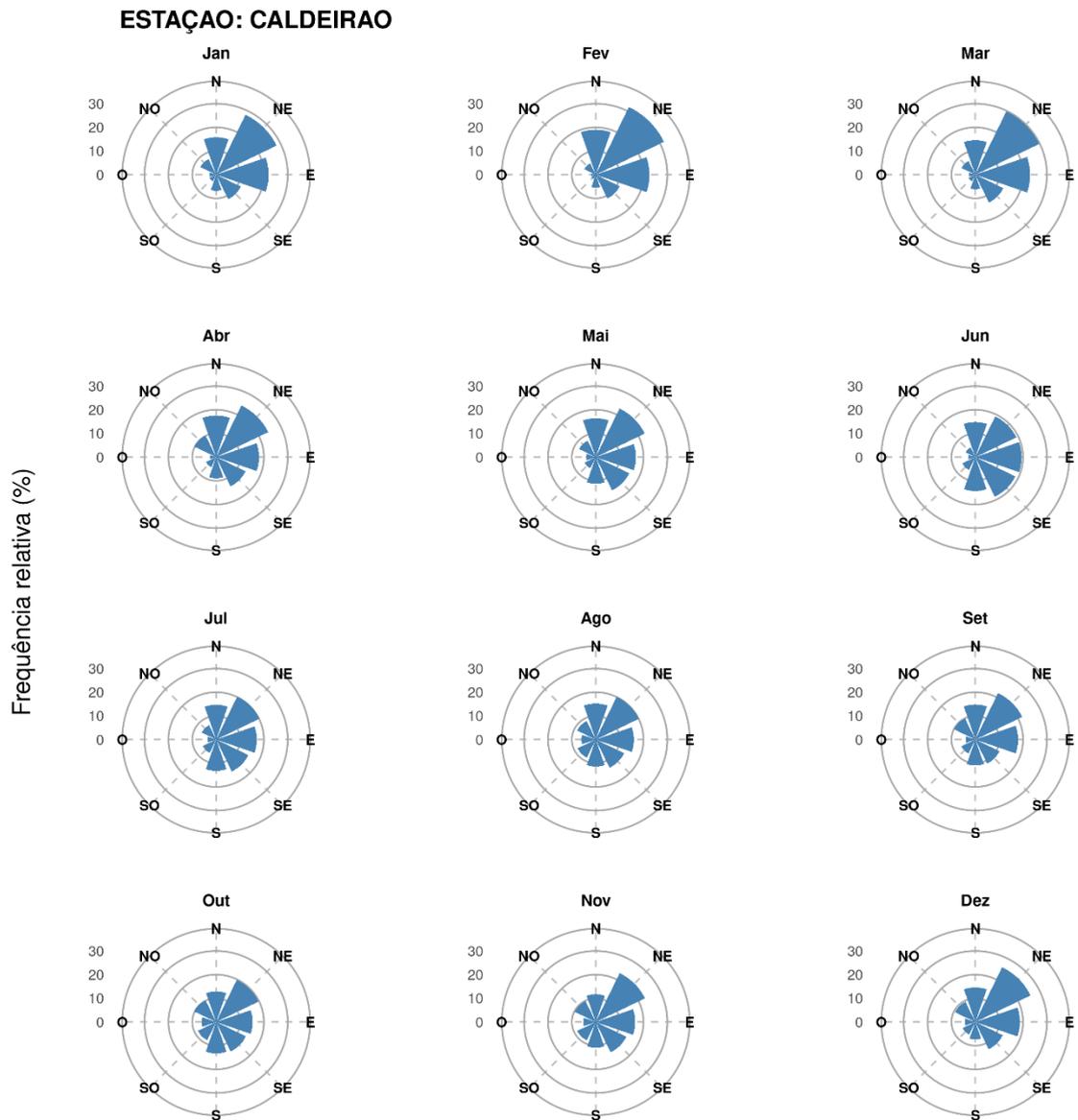


Figura 32. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação CALDEIRÃO.

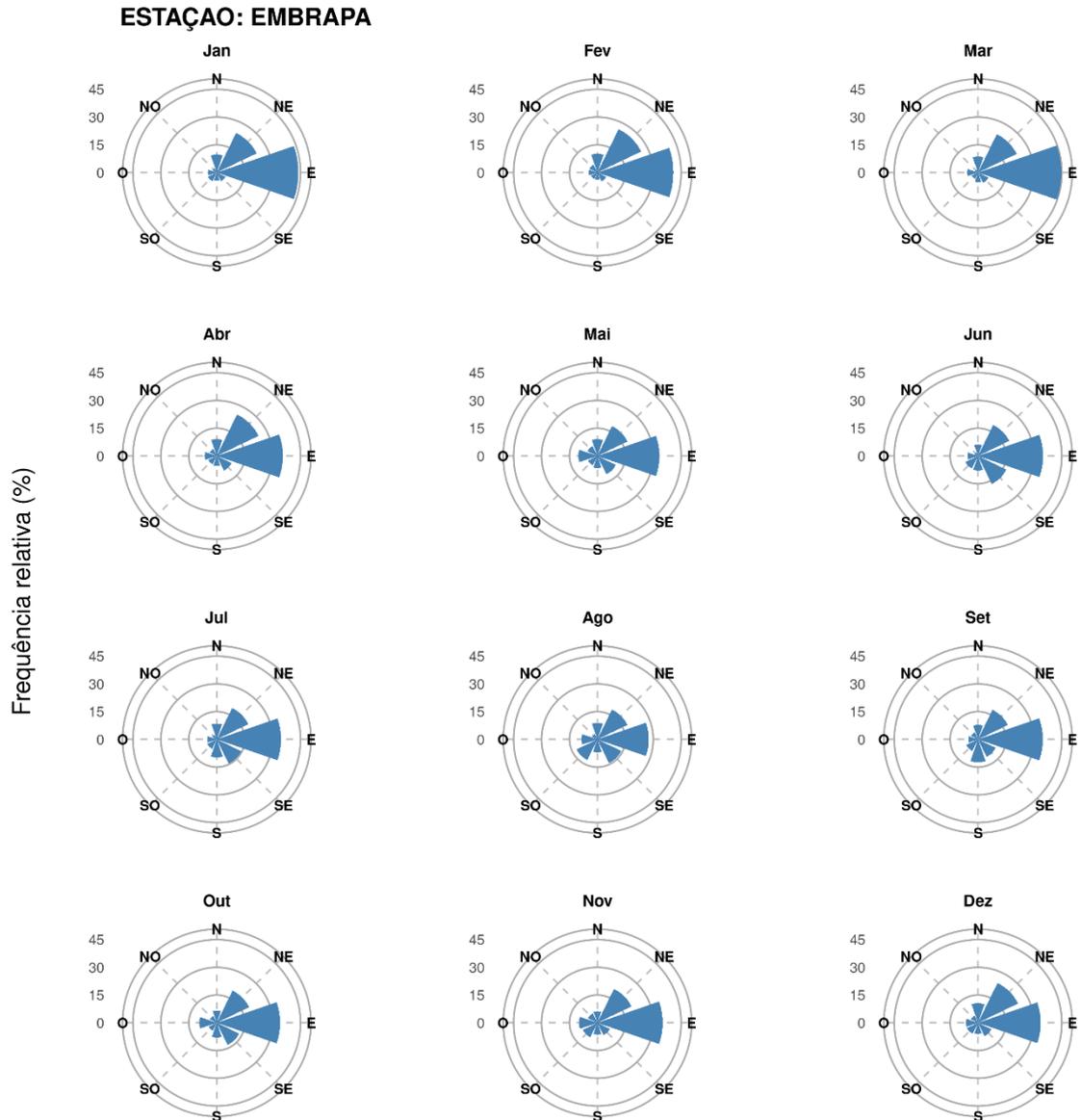


Figura 33. Rosa dos ventos referentes a cada mês com dados disponíveis para a estação EMBRAPA.

### 5.3 Eventos extremos de rajada

Nesta seção, serão analisados apenas as rajadas extremas diárias, uma vez que a ocorrência destas causam danos à população devido à interrupção de fornecimento de energia elétrica como resultado do tombamento de árvores, destelhamento de casas, deslocamento de estruturas que podem atingir à população, dentre outros. Assim, foram identificados os eventos de rajadas superiores ao percentil de 90% para área urbana e rural, cujos limiares identificados neste estudo foram 12,9 m/s e 8,1m/s respectivamente.

A figura 34 refere-se à variabilidade dessas rajadas por estação. De uma forma geral tem-se que extremos foram identificados em todas as estações analisadas, porém com intensidades distintas principalmente quando se compara área urbana com área rural. Na área urbana, outliers superiores a 20 m/s foram identificados, exceto para a estação do INPA (máximo valor verificado de 19,1 m/s). Os eventos de rajada mais frequentes possuem intensidade entre 13,3 e 16,1 m/s, valores que correspondem ao menor e maior quartil da distribuição. Para as estações BOM, MUSA e PON, a distribuição é semelhante, ressaltando que INPA e POL possuem uma menor variabilidade em comparação as três. Nas estações de área rural (CAL e EMB), devido às velocidades naturalmente menores em comparação com a área urbana, a variabilidade é relativamente menor. No entanto, ao compará-las entre si, observamos que suas distribuições são semelhantes, com valores variando predominantemente entre 8,3 e 9,8 m/s, porém com um número maior de outliers na CAL o que pode ser atribuído à maior disponibilidade de dados, bem como a proximidade com o rio, favorecendo a influência da brisa fluvial na circulação local. A tabela 5 apresenta um resumo das principais estatísticas descritivas para essa variável de rajada extrema.

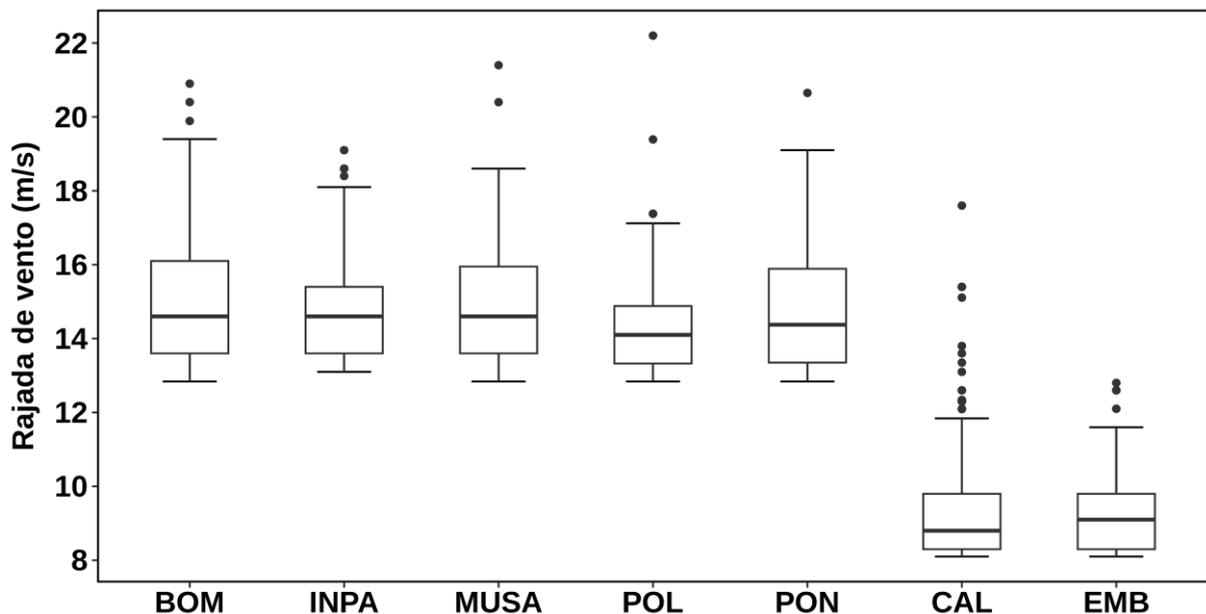


Figura 34. Box plot com os dados de rajadas extremas identificados para cada estação meteorológica.

Tabela 5. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam nas Figura 34, para os extremos de rajadas máximas diárias.

Estação	N	Lim_i	P <sup>1</sup> 25	Med	P <sup>1</sup> 75	IIQ	Lim_s	Máx
BOM	72	12,1	13,6	14,6	16,1	2,5	19,9	20,9
INPA	83	12,1	13,6	14,6	15,4	1,8	18,1	19,1
MUSA	80	12,1	13,6	14,6	16	2,4	19,5	21,4
POL	67	12,2	13,3	14,1	14,9	1,6	17,2	22,2
PON	106	11,8	13,3	14,4	15,9	2,6	19,7	20,6
CAL	327	7,6	8,3	8,8	9,8	1,5	12,1	17,6
EMB	92	7,1	8,3	9,1	9,8	1,5	12,1	12,8

A distribuição por mês dessas rajadas extremas apresentada na figura 35, indica um pico de maiores frequências em janeiro, como resultado deste ser o mês com maior quantidade de dados para todas as estações.

Tendo em vista que a série de dados é maior, é possível identificar um padrão com 13%(EMB), 16% (BOM) e 12% (INPA), dos dados em janeiro, abaixo de 10% de fevereiro a agosto enquanto em outubro tem-se um segundo pico. Este comportamento também foi verificado para POL, na qual a maioria da frequência de dados ocorreu em outubro, assim como verificado por Coelho (2017).

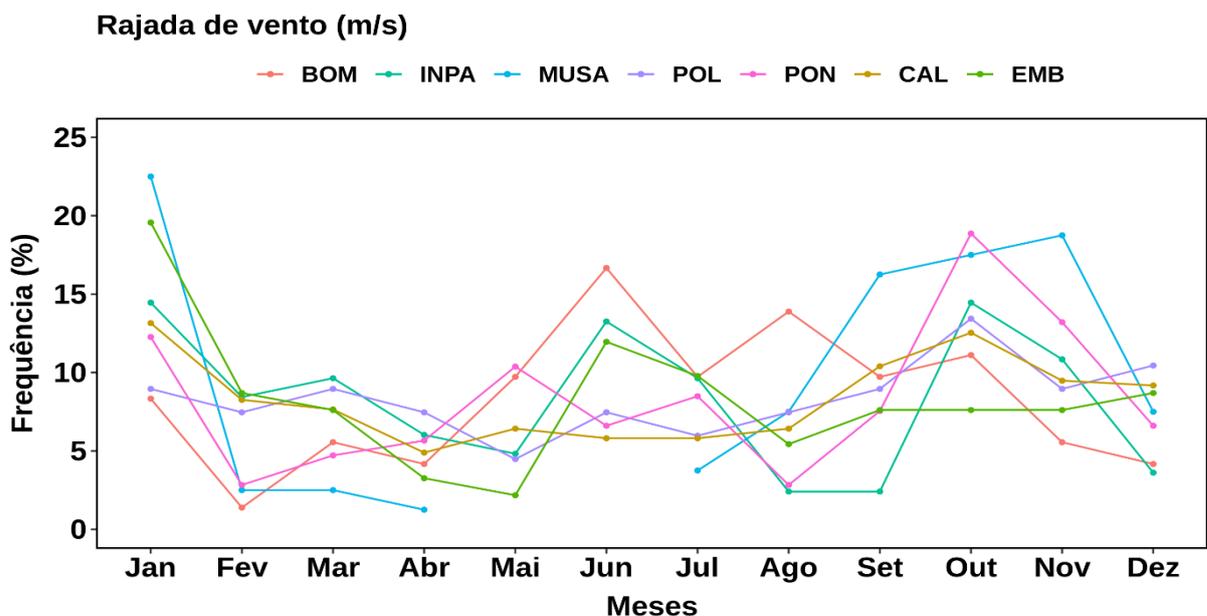


Figura 35. Frequência de ocorrência das rajadas extremas para cada mês/ano com dados disponíveis de cada estação meteorológica.

No caso da distribuição horaria (figura 36) das rajadas extremas, foram verificadas maiores frequências entre das 10 e 17h (cerca de 10 a 15% de ocorrência), exceto para MUSA e EMB, que apresentaram frequência de ocorrência da ordem de 25%, às 15h. Destaca-se ainda que apesar da baixa frequência no período noturno eventos extremos ocorrem e são verificados. Outra característica a destacar é que apesar dos valores de ocorrência serem maiores nesse intervalo de tempo, não quer dizer que as rajadas mais intensas ocorram nesses horários.

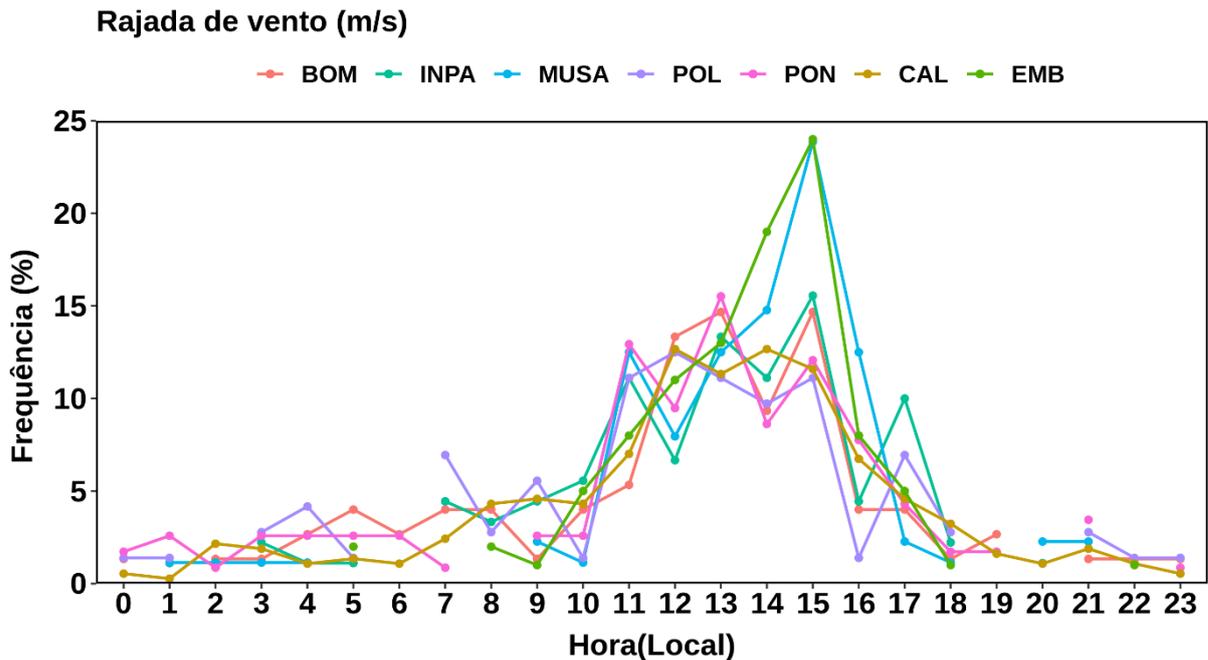


Figura 36. Frequência de ocorrência das rajadas extremas, por horário, para cada estação meteorológica.

Um dos principais fatores que justifica a maior frequência no período diurno é o aquecimento da superfície pelo sol, que gera diferentes gradientes de temperatura e pressão, favorecendo os movimentos atmosféricos (Senna, 2008). Ao analisar MUSA e EMB, uma possível justificativa para sua maior frequência nos horários de 14 e 15h, é a direção predominante do vento de norte-leste conforme observado no gráfico de direção do vento.

Na figura 37 tem-se a distribuição da precipitação nos dias em que ocorrem rajadas extremas. Observa-se que nem todos os dias em que ocorrem rajadas extremas têm precipitação associada no mesmo local de medida, evidenciado pela presença de valores com 0 mm de acumulado de precipitação diária. Este resultado pode ser atribuído à pontualidade da medida de precipitação, diante da variabilidade espacial da precipitação na região, especialmente para casos de eventos mais isolados. Por outro lado, no box plot, é possível identificar outliers superiores a 40 mm, sendo o valor máximo atingido de 125 mm (CAL). Para os dias de rajada extremas, a maioria dos eventos de chuva concentram-se de 9 mm (INPA) a 24 mm (PON). A

Tabela 6 apresenta as principais estatísticas relacionadas ao box plot, incluindo os valores máximos e mínimos de precipitação, bem como o número de dias selecionados com rajadas extremas. Vale ressaltar que esses eventos de rajada extremas, não necessariamente ocorrem durante os casos de precipitação e podem ocorrer antes da mesma.

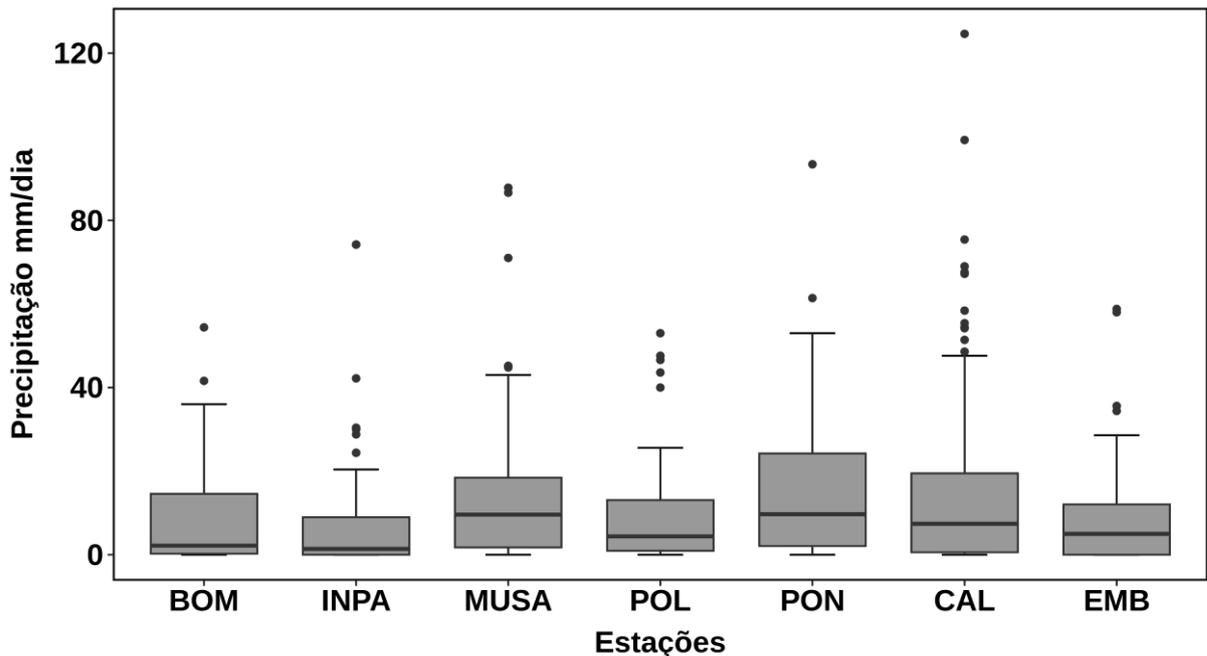


Figura 37. Box plot referentes aos dados de precipitação diária para os dias com ocorrência de rajadas extremas, para cada estação meteorológica analisada.

Tabela 6. Variáveis estatísticas associadas com os diagramas box plot que constam na Figura 37, para os acumulados diários de precipitação em dias com ocorrência de rajadas extremas.

Estação	N	P <sup>125</sup>	Med	P <sup>175</sup>	IIQ	Lim_s	Máx
BOM	72	0,2	2,2	14,6	12,4	36,1	54,4
INPA	83	0,0	1,4	9,0	7,6	22,5	74,2
MUSA	80	1,8	9,6	18,4	8,8	43,5	87,8
POL	67	0,9	4,4	13,1	8,7	31,3	53
PON	106	2,1	9,7	24,2	14,5	57,5	93,4
CAL	327	0,6	7,4	19,5	12,1	47,8	124,6
EMB	92	0,0	5,0	12,1	7,1	30,1	58,8

#### 5.4 Relação com as variáveis DIR, Tar, Press e Prec em instantes anteriores

Para investigar o comportamento das variáveis temperatura, pressão e direção do vento e precipitação, em um intervalo de tempo de até 5 horas antes do evento de rajada foram selecionados os dias com rajadas muito extrema. A identificação destes se deu adotando-se os limiares 17,4 e 11,1 m/s, para área urbana e rural respectivamente, obtidos após aplicação de um segundo percentil de 90% à serie de extremos. Devido à maior quantidade de dias disponíveis, foram selecionados dados das estações MUSA e EMB para análises, correspondentes a 8 dias para área urbana e 9 dias para área rural.

Na Figura 38 são apresenta as características dessas variáveis até cinco horas antes da ocorrência dessas rajadas muito extremas registradas na estação MUSA. Podemos observar que a temperatura do ar tem uma tendência a diminuir em cerca de 4°C em 01:00 h antes do evento, sendo que nos dias 12/09/2017 e 23/11/2017, a temperatura começou a diminuir 04:00 h antes do evento de rajada. No que diz respeito à pressão atmosférica, predomina redução dos valores nas 5 horas antes do evento de rajada, com variação de até 4 mb, e na maioria dos dias voltam a aumentar cerca de 1 hora antes do evento, porém em uma taxa menor (1 mb/h) o que indica pequena variação desta variável dada a sua ordem de grandeza. A direção do vento pode se manter ou apresentar variações significativas 01:00 h antes, como por exemplo nos dias 12/09/2017, 30/10/2017 e 14/10/2019 quando foi possível identificar uma reversão na direção. É importante observar que dos 8 dias selecionados, apenas um não apresentou chuva em 5 horas antes ou durante a ocorrência da rajada extrema (08/11/2013), enquanto no dia 12/09/2017 a precipitação começou na estação MUSA 2 horas antes da ocorrência da rajada.

Para a estação EMB (Figura 39), foi verificado que a temperatura apresentou uma redução de aproximadamente 5 °C uma hora antes do evento de rajada, com exceção dos dias 25/11/2017, que apresenta uma redução menor de 2 °C, e do dia 21/06/2014, que mostra um pequeno aumento. A pressão atmosférica, apesar de ser relativamente maior nessa região (área rural) em comparação com a estação MUSA (área urbana), apresentou um aumento durante o evento de rajada apenas para o dia 21/06/2015, 06/07/2015 e 04/12/2014, permanecendo estável ou reduzindo no instante do evento. Note que esse aumento é posterior a uma leve redução de 4 mb nas 3 horas anteriores à rajada. Assim como para MUSA a direção do vento na hora da rajada apresentou uma característica de ventos com direção constante em alguns casos, até a hora da ocorrência da rajada, mas com mudanças bruscas em outros casos, o que ficou evidenciado nos dias 06/07/2015 e 25/11/2017. Quanto à ocorrência de precipitação, destaca-se que no dia 25/11/2017 a chuva teve início 5 hora antes do evento de rajada muito extrema, mas sem registro na hora do evento. Para 4 dos dias analisados a precipitação superou 10 mm/h e foi de até 20 mm/h na hora da rajada.

## ESTAÇÃO: MUSA

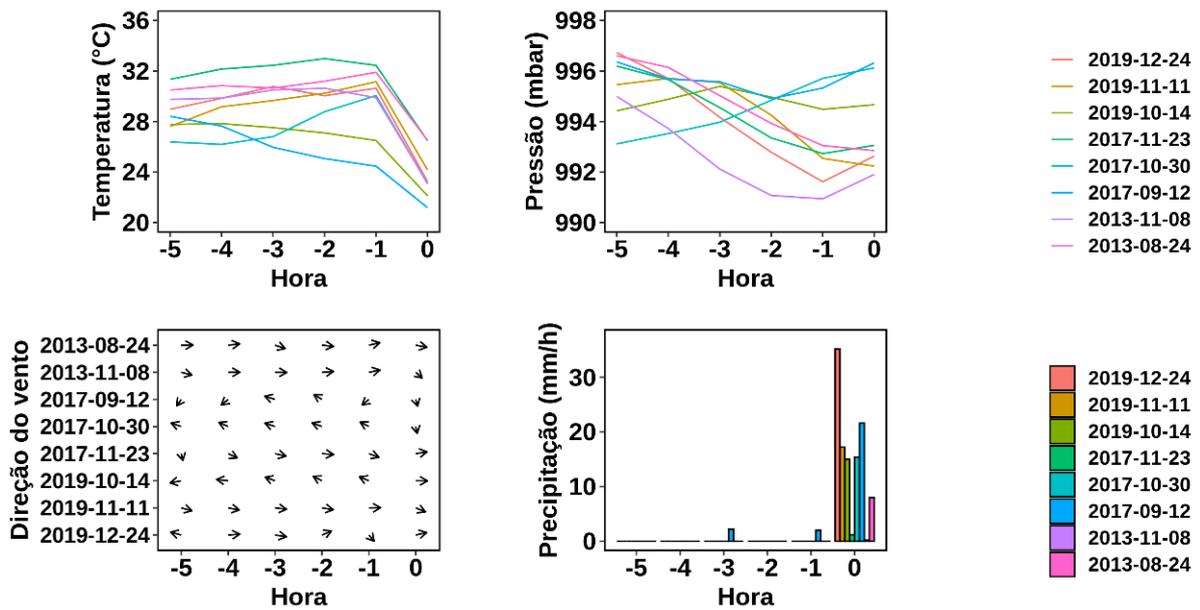


Figura 38. Característica das variáveis temperatura, pressão, direção e precipitação em até 5 horas que antecederam a ocorrência de rajadas muito extremas para estação MUSA.

## ESTAÇÃO: EMBRAPA

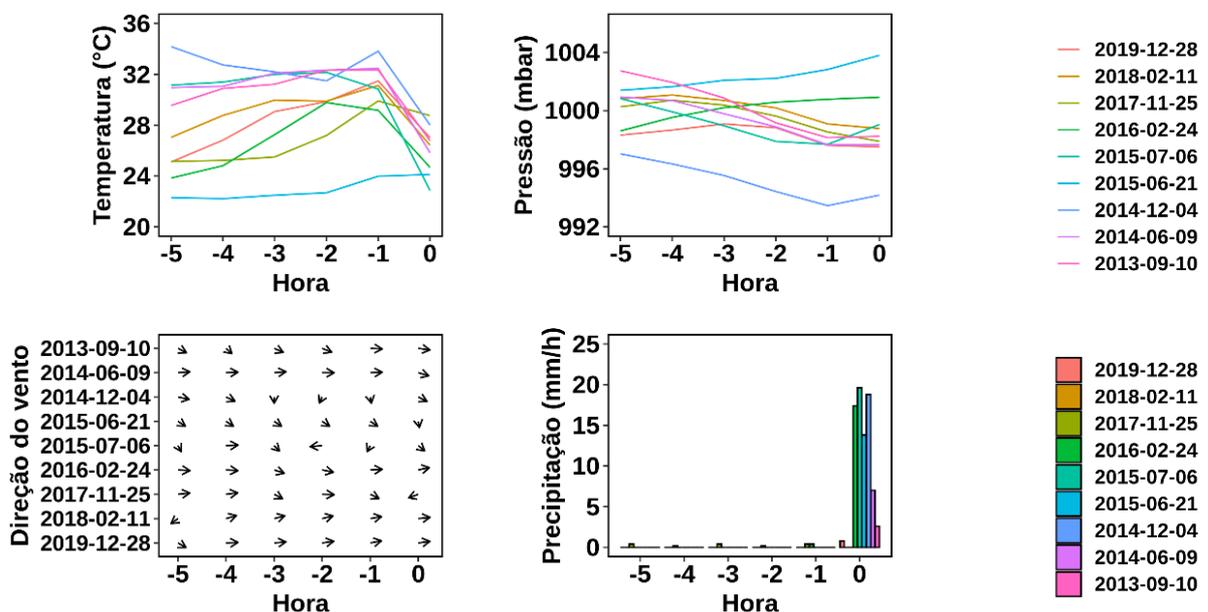


Figura 39. Característica das variáveis temperatura, pressão, direção e precipitação em até 5 horas que antecederam ocorrência de rajadas muito extremas para estação EMB.

Dessa forma, temos que o monitoramento da temperatura do ar apresentou-se como um melhor indicativo da possível ocorrência de eventos de rajadas extremas pela maior variação e manutenção do comportamento entre os dias analisados. Já no

caso da pressão atmosférica a variação foi muito pequena, dada a sua ordem de grandeza, e não apresentou um comportamento padrão entre os dias analisados assim como para a direção do vento. Como verificado anteriormente, a ocorrência de rajadas extremas pode não estar associada com a ocorrência de precipitação no mesmo local de medida da rajada, atribuído ao fato das medidas de precipitação serem realizadas de forma pontual e assim podem não ser captadas pela distância entre as medidas efetuadas.

## 6 CONCLUSÃO

Através das análises realizadas neste estudo pode-se concluir que:

Após aplicação do controle de qualidade de dados, a porcentagem de dados excluídos foi predominantemente abaixo de 1%. Porém devido ao registro de valores mínimos e máximos de até - 888,9 e 63,7, que extrapolam o intervalo de medida dos sensores, a permanência destes nas séries de dados resultam em análises irreais.

A disponibilidade de dados das diferentes variáveis medidas por um sistema integrado de sensores é variável uma vez que erros podem ocorrer tanto devido a um problema de interrupção do sistema de alimentação ou transmissão, o que influenciará em todo o conjunto, ou pode ocorrer um erro isolado para uma determinada variável como resultado do travamento ou danificação de equipamento individuais.

O vento médio diário apresentou distribuição simétrica tanto na área urbana quanto rural, sendo menos intenso nesta última, enquanto rajadas médias diárias a distribuição assimétrica nos dois ambientes revela que as rajadas máximas diárias apresentaram maior frequência de eventos menos intensos.

Estações localizadas na mesma zona da cidade apresentam variabilidade espacial como resultado das diferenças de altura de medida do vento entre as estações, de localização e de características de cobertura do solo.

As rajadas foram mais frequentes nos meses que compreendem a estação seca e de transição de seca para chuvosa, quando a grande escala e escala local atuam de forma combinada determinando a intensidade do vento.

As estações localizadas na borda da cidade apresentaram predominância e intensidade do vento fortemente influenciadas pelas diferentes características da superfície no entorno.

Ventos acima de 12,9 m/s para área urbana e 8,1 m/s para área rural são consideradas rajadas extremas, as quais foram identificadas em todas as zonas analisadas, podendo estar ou não ocorrer associadas a precipitação extrema.

Rajadas extremas foram mais frequentes do período diurno, com pico às 15:00 h, principalmente nas estações MUSA e EMB, localizadas em posição favorável ao vento predominante.

O monitoramento da temperatura do ar apresentou-se como um melhor indicativo da possível ocorrência de eventos de rajadas extremas pela maior variação e manutenção do comportamento entre os dias analisados.

A partir dos estudos realizados, fica evidente a necessidade de pesquisas adicionais para aprofundar as informações desta pesquisa, como por exemplo analisar a distribuição dos horários de ocorrência das rajadas extremas, bem como sua relação com a precipitação em Manaus e seus arredores, além de investigar suas conexões com a circulação de brisa fluvial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANIAS, D.S.; SOUZA, E.B.; SOUZA, P.F.S.; SOUZA, A.M.L.; VITORINO, M. I.; TEIXEIRA, G.M.; FERREIRA, D.B. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém -PA. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.25, n.2, p.218 -226, 2010.

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica – Boletim anual de geração eólica. 2022. 17 f. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf>; Acesso em: 12/07/2022.

BARBOSA, R. G. Caracterização da distribuição espacial do vento e da precipitação em Manaus. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2014.

BARBOSA, R. G. Variabilidade da ocorrência de deslizamentos de terra e sua relação com a precipitação na cidade de Manaus. Dissertação de mestrado. CLIAMB, 2017.

CABRAL, P. Erros e incertezas nas medições. 2004. Disponível em: [Erros\\_Incertezas20190613-54353-1a8wqwh-libre.pdf\(d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net\)](https://www.repositorio.ufpa.br/bitstream/handle/2011-6/10000/1/Erros_Incertezas20190613-54353-1a8wqwh-libre.pdf(d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)). Acesso em: 13 de junho de 2023.

CARVALHO, I. A., Os impactos da fisiografia de Manaus sobre os sistemas meteorológicos. Dissertação de mestrado. Universidade federal do Amazonas. Manaus 2022.

CHAGAS, R. C., MARTINS, F. R., GUARNIERI, R. A., PEREIRA, E. B. Procedimentos de qualificação de dados da rede de estações do Projeto SONDA. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

COELHO, R. M., Caracterização das rajadas de vento registradas em Manaus através de uma rede de estações meteorológicas. Trabalho de Conclusão de Curso 2. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus. 2017.

ENGERER, N. A., STEBSRUD, D. J., CONIGLIO, M. C., Surface characteristics of observed cold pools. Monthly Weather Review, 136(12), 4839–4849, 2008.

ESPINOZA, N. S., Caracterização dos Eventos de Precipitação Registrados na Estação Meteorológica da EST/UEA em Manaus. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade do Estado. Manaus, 2014.

FENG, S., HU, Q., QIAN, W., Quality control of daily meteorological data in China, 1951–2000: a new dataset, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v, 24, n, 7, p, 853-870, 2004.

FERRAZ, R. C., Desenvolvimento de um sistema web para estimativa numérica de dados meteorológicos do Rio Grande do Sul. 2010. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

FERREIRA, V., NASCIMENTO, E. L., Discriminação entre rajadas de vento convectivas e não-convectivas. *Ciência e Natura Vol.38 Ed. Especial - IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, p. 225 -231, 2016.

FISCH, G., SANTOS, J.M., Comparação entre observações meteorológicas convencionais e automáticas na região do Vale do Paraíba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 246-248

FREITAS, E.D., DIAS, P. S., Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 3, p. 355-366, 2005.

HASTENRATH, S., LAMB, P. J., *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. Madison: The University of Wisconsin Press, 1977. 113 p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil: 1961-1990. Brasília: MAPA, 2009. 465 p.

JIMÉNEZ, P. A., GONZÁLEZ-ROUCO, J. F., NAVARRO, J., MONTÁVEZ, J. P., GARCÍA-BUSTAMANTE, E., Quality assurance of surface wind observations from automated weather stations, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v, 27, n, 7, p, 1101-1122, 2010.

LOUREIRO, R. S. D., SARAIVA, J. M., SARAIVA, I., SENNA, R. C., FREDÓ, A. S., Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, SBMET v. 29, n. esp., 83 - 94, 2014.

MATOS, A. P., COHEN, J. C. P., Circulação de brisa e a banda de precipitação na margem leste da baía de Marajó. *Ciência e natureza*, v. 38, p. 21-27, 2016.

MOLION, L. C. B., DALLAROSA, R. L. G., Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? *Climanálise – Boletim de Monitoramento de Análise Climática*, Cachoeira Paulista, CPTEC/INPE v.5, n.3, p. 40-42, 1990.

MOLLER, A. R. (Severe local storms forecasting. *Meteorological Monographs*, 28(50), 433–480. 2001.

MONTEIRO, M. A., CALEARO, D. S., MARTINS, M., MONTEIRO, A., Os Perigos do vento para a Aviação. *A Meteorologia e a Aeronáutica*, p. 45.

- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. Estatística básica. Saraiva Educação SA, 2017.
- NETO, J. V., DOS SANTOS, C. B., TORRES, É. M., ESTRELA, C., Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. Revista Odontológica do Brasil Central, v. 26, n. 76, 2017.
- OLIVEIRA, A. P.; FITZJARRALD, D. R. The Amazon River Breeze and Local Boundary Layer: I. Observations. Boundary-Layer Meteorology, v. 63, 1-2: p. 141-162, 1993.
- PADILHA, G., VANZELA, J., CASTRO, R., Avaliação dos dados da Estação Meteorológica Automática do IFSC, a partir de um software de qualificação. 2011.
- PEREIRA, A.B., ANGELOCCI, L.R, SENTELHAS, P.C., Meteorologia Agrícola. Edição REVISTA E Ampliada USP, 2007.
- PITTIGLIANI, M., Controle de qualidade de dados meteorológicos SIMEPAR; Instituto Tecnológico Simepar, 2001.
- REBOITA, M. S., KRUSCHE, N., AMBRIZZI, T., ROCHA, R. P. D., Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. Terra e Didática, Campinas, PEHCT/UNICAMP, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.
- SANTOS, C. A. C., SATYAMURTY, P., SANTOS, E. M., Tendências de Índices de Extremos Climáticos para a Região de Manaus-AM. Acta Amazonica, Manaus, INPA, v.42, n.3, p.329-336, 2012.
- SARAIVA, I., Características dos Sistemas Precipitantes Observados via Radar Meteorológico de Manaus. 2010. 139 f. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- SENNA, R. C., DALLAROSA, R. L. G., SOUZA, E. B., Evidências da Brisa Fluvial em Manaus - AM. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 2008.
- SENTELHAS, P. C., MORAIS, S. O., PIEDADE, S. M. S., PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., MARIN, F. R., Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática, Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v, 5, n, 2, p, 215-221, 1997.
- SOUSA, I. A., GALVANI, E., ASSUNÇÃO, H. F., Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, estado do Pará, Acta Scientiarum, Technology, Maringá, v, 25, n, 2, p, 203-207, 2003.
- TANAKA, L. M. D. S., SATIAMURTY, P., MACHADO, L. A. T., Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. International Journal of Climatology, Boston, AMS, v.34, 2014.
- TUKEY, John W. Exploratory data analysis. 1977. Disponível em: [http://theta.edu.pl/wp-content/uploads/2012/10/exploratorydataanalysis\\_tukey.pdf](http://theta.edu.pl/wp-content/uploads/2012/10/exploratorydataanalysis_tukey.pdf) . Acesso em: 2022

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 449 p., 1991.

VAREJÃO, M. A.; SILVA. Meteorologia e Climatologia. Brasília: INMET. 463p.; 2006.

XAVIER, T. M. B. S., XAVIER, A. F. S., DIAS, P., DIAS, M, Previsão regional de chuva para o Estado do Ceará através do projeto "Tempo de Chuva": 1964-1999. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, p. 69-92, 2000.

WMO, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1993, GUIDE ON GDPS, WMO-NO. 305, Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/28978-guide-on-the-global-data-processing-system-discontinued>. Acesso: 2022.

WMO, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1989. CALCULATION OF MONTHLY AND ANNUAL 30-YEAR STANDARD NORMALS. Geneva, Technical document, n. 341; WCDP, n.10. Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/43912-calculation-of-monthly-and-annual-30-year-standard-normals>. Acesso: 2022.

ZAHUMENSKÝ, I., Guidelines on quality control procedures for data from automatic weather stations. World Meteorological Organization, Switzerland, v. 955, p. 2-6, 2004.