UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE EM MESORREGIÕES DA BAHIA: UMA ANÁLISE COM PLATAFORMAS AUTOMÁTICAS DE COLETA DE DADOS

WASHINGTON LUIZ FÉLIX CORREIA FILHO

CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO DE 2010

WASHINGTON LUIZ FÉLIX CORREIA FILHO

VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE EM MESORREGIÕES DA BAHIA: UMA ANÁLISE COM PLATAFORMAS AUTOMÁTICAS DE COLETA DE DADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Orientadora: Dra. Maria Regina da Silva Aragão

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO DE 2010

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C824v Correia Filho, Washington Luiz Félix.

Variabilidade do vento à superfície em mesorregiões da Bahia: uma análise com plataformas automáticas de coleta de dados / Washington Luiz Félix Correia Filho. – Campina Grande, 2010.

53f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

"Orientadora: Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão". Referências.

1. Vento à Superfície. 2. Análise Multivariada. 3. Regionalização. 4. Bahia. 5. Nordeste do Brasil. I. Título. II. Aragão, Maria Regina da Silva.

CDU 551.5(043)

VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE EM MESORREGIÕES DA BAHIA: UMA ANÁLISE COM PLATAFORMAS AUTOMÁTICAS DE COLETA DE DADOS

WASHINGTON LUIZ FÉLIX CORREIA FILHO

VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE EM MESORREGIÕES DA BAHIA: UMA ANÁLISE COM PLATAFORMAS AUTOMÁTICAS DE COLETA DE DADOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2010

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande

Profa. Dra. MAGALY DE FATIMA CORREIA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. HERMES ALVES DE ALMEIDA
Departamento de História e Geografia
Universidade Estadual da Paraíba

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Washington e Leni,
que confiaram, apoiaram e acreditaram
em todos os momentos.

A minha irmã Hortência
e minha tia Creuza.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelas oportunidades, pela paciência em mostrar que crescemos e amadurecemos nos momentos difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela oportunidade de participar do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ) pela cessão dos dados das estações automáticas de coleta de dados do estado da Bahia.

À minha orientadora, professora Maria Regina da Silva Aragão, pelo apoio, confiança em meu trabalho, e por representar em essência o espírito de um verdadeiro orientador.

À Eyres Diana Ventura Silva pelo desenvolvimento dos programas computacionais usados no processamento e consistência dos dados.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas e a todos os funcionários e, em especial, a professora Magaly de Fátima Correia pelo apoio no período do mestrado, e a secretária Divanete Cruz Rocha, pela atenção, assistência, e pelos bons conselhos nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de Campina Grande e de Maceió, em especial, José Anchieta, Ewerton Melo, Everson Santos, Vanessa Pereira, Cícera Borges, Edivânia Araújo, Djane Fonseca, Leydson Galvíncio, Rayana Araújo, Aldinete Barreto, Juliana Larise, Larissa Tertuliano, Jaqueline Núbia, Eliângela Paulino, Ericson Norberto, José Maria, José Márcio, Fabiane Dantas, Argemiro Araújo, Mário Martins, Wellington, Danilo, Ronabson Fernandes, Alane Saldanha, Marcelo Rogério, Samarha Santos, Fernanda Silva, Marcela Guedes, Thiago Luiz pelos grandes momentos vividos no período do mestrado.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar padrões de variabilidade temporal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. Foram utilizados métodos de análise multivariada (análise de componentes principais e análise de agrupamento) aplicados a médias trimestrais das componentes do vento à superfície registrado por cinco plataformas automáticas de coleta de dados operadas pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ). Os anos estudados foram 2000, 2002, 2005, 2006 e 2007. As duas primeiras componentes principais da componente zonal do vento explicaram 99,4% da variância total das médias trimestrais, enquanto que as duas primeiras da componente meridional explicaram 99,6%. A análise de agrupamento aplicada aos fatores comuns temporais mais significativos através do método de Ward e distância euclidiana resultou em três grupos homogêneos para cada componente do vento, dos quais dois estão constituídos por uma estação apenas. Esses grupos se caracterizam por velocidades do vento mais elevadas, um resultado que sugere a importância de fatores locais como o aspecto do relevo.

Palavras-chave: vento à superfície, análise multivariada, regionalização, Bahia, Nordeste do Brasil

ABSTRACT

The objective in this study was to determine the temporal variability patterns of the surface wind in mesoregions of the Bahia state. Multivariate analysis methods (principal component analysis and cluster analysis) were applied to three-month averages of the zonal and meridional components of the surface wind registered by five automatic stations operated by the Institute for Water Management and Climate (INGÁ). The years studied were 2000, 2002, 2005, 2006 and 2007. The first two principal components of the zonal wind component explained 99.4% of the total variance of the three-month averages, while the first two principal components of the meridional wind component explained 99.6%. The cluster analysis applied to the most significant temporal factor loadings by means of the Ward method and Euclidian distance resulted in three homogeneous groups for each wind component, with two groups being comprised by one station only. Higher wind speeds characterize these groups, a result that points toward the importance of local factors such as the aspect of the relief.

Keywords: surface wind, multivariate analysis, regionalization, Bahia, Northeast Brazil

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

Pág.

I. LISTA DE FIGURAS 10

II. LISTA DE QUADROS 12

III. LISTA DE ABREVIATURAS 13

1. INTRODUÇÃO 14

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15

3. MATERIAIS E MÉTODOS 22

3.1. Materiais 23

3.2. Métodos 25

3.2.1. Análise de Componentes Principais 27

3.2.2. Análise de Agrupamento 29

3.2.2.1. Medidas de distância 29

3.2.2.2. Métodos de agrupamento 30

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 34

4.1. Médias Mensais do Vento à Superfície 34

4.2. Padrões de Variabilidade do Vento à Superfície 38

4.2.1. Análise Temporal da Componente Zonal 39

4.2.2. Análise Temporal da Componente Meridional 40

4.3. Regionalização do Vento à Superfície 42

4.3.1. Regionalização da Componente Zonal 43

4.3.2. Regionalização da Componente Meridional 46

5. CONCLUSÕES 49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

I. LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 3.1 – Mapa do relevo do estado da Bahia. (*Fonte: IBGE, 2010*) 23

Figura 3.2 – Localização das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) em mesorregiões do estado da Bahia. 24

Figura 4.1 – Vento médio à superfície em mesorregiões do estado da Bahia (período 2000, 2002, 2005, 2006 e 2007) para o mês de: (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril; (e) maio; (f) junho; (g) julho; (h) agosto; (i) setembro; (j) outubro; (k) novembro e (l) dezembro. O vento (direção e velocidade) é representado pelas setas: a direção segue a convenção da rosa dos ventos e a escala da velocidade (ms^{-1}) é vista ao lado de (c), (f), (i) e (l). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 35

Figura 4.2 – Correlações do primeiro (azul) e segundo (vermelho) fatores comuns temporais da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 39

Figura 4.3 – Padrões de variabilidade espacial do primeiro (a) e segundo (b) fatores comuns temporais da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. As contribuições positivas estão representadas pelo símbolo (+) e as negativas pelo símbolo (-) (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 40

Figura 4.4 – Correlações do primeiro (azul) e segundo (vermelho) fatores comuns temporais da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 41

Figura 4.5 – Padrões de variabilidade espacial do primeiro (a) e segundo (b) fatores comuns temporais da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. As contribuições positivas estão representadas pelo símbolo (+) e as negativas pelo símbolo (-) (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 42

Figura 4.6 – Curva de inércia referente à componente zonal do vento à superfície 43

em mesorregiões do estado da Bahia. A seta indica o número de grupos retidos.

Figura 4.7 – Dendrograma resultante do agrupamento da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. 43

Figura 4.8 – Zoneamento da componente zonal do vento à superfície representado pelo primeiro (verde), segundo (azul) e terceiro (vermelho) grupos, a partir dos dois primeiros fatores comuns temporais em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 44

Figura 4.9 – Série temporal das médias trimestrais da componente zonal do vento à superfície (ms^{-1}) do primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) grupos. Os valores negativos representam componente zonal de leste. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 45

Figura 4.10 – Curva de inércia referente à componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. A seta indica o número de grupos retidos. 46

Figura 4.11 – Dendrograma resultante do agrupamento da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. 46

Figura 4.12 – Zoneamento da componente meridional do vento à superfície representado pelo primeiro (verde), segundo (azul) e terceiro (vermelho) grupos, a partir dos dois primeiros fatores comuns temporais em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 47

Figura 4.13 – Série temporal das médias trimestrais da componente meridional do vento à superfície (ms^{-1}) do primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) grupos. Os valores positivos (negativos) representam componente meridional de sul (norte). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*) 48

II. LISTA DE QUADROS

		Pág.
Quadro 3.1 –	Coordenadas geográficas e número de arquivos de dados das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) em mesorregiões do estado da Bahia.	25

III. LISTA DE ABREVIATURAS

AA – Análise de Agrupamento

ACP – Análise de Componentes Principais

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

ASO – Agosto-Setembro-Outubro

CMV – Componente Meridional do Vento

CP – Componente Principal

CZV – Componente Zonal do Vento

EUA – Estados Unidos da América

FMA – Fevereiro-Março-Abril

TMG – Tempo Médio de Greenwich

HL – Hora Local

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INGÁ – Instituto de Gestão das Águas e Clima

MJJ – Maio-Junho-Julho

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NCAR – National Corporation for the Atmospheric Research

NDJ – Novembro-Dezembro-Janeiro

NEB – Nordeste do Brasil

PCD – Plataforma Automática de Coleta de Dados

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

VCAS – Vórtice Ciclônico de Ar Superior

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

1. INTRODUÇÃO

A discussão de caráter político e científico que tem como foco as mudanças climáticas globais tem mostrado a necessidade de ampliar o conhecimento sobre sistemas climáticos e, consequentemente, sobre a atmosfera e sua interação com a superfície terrestre. Nesse contexto o vento, responsável pelo transporte horizontal de propriedades na atmosfera, é uma variável de grande importância. O vento está diretamente relacionado com os gradientes horizontais de temperatura e pressão entre duas áreas distintas; quanto maior a diferença de temperatura, maior a magnitude do vento.

O vento tem influência significativa em diversas áreas tais como saúde, geração de energia, etc. Na saúde está diretamente ligado à qualidade do ar e de vida da população, através da dispersão e transporte de poluentes que são comuns nas grandes cidades. No setor energético, o vento tem importância estratégica, principalmente com a política de novas fontes alternativas implantada nos últimos anos, visando produzir energia de maneira limpa e sustentável sem degradar o meio ambiente. O Brasil se destaca por ter grande potencial eólico; a maior parte se concentra nas regiões Sul, Sudeste e, principalmente, no Nordeste, em decorrência da forte influência dos ventos alísios na região.

O objetivo principal deste trabalho foi investigar a variabilidade e identificar regiões homogêneas do vento à superfície em mesorregiões da Bahia. Os dados de estações automáticas, armazenados com resolução temporal de uma hora, foram analisados através da aplicação de técnicas de análise multivariada (análise em componentes principais e análise de agrupamento).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O vento é um dos elementos meteorológicos de maior impacto sobre os seres vivos e o meio ambiente. Sua importância pode ser avaliada pela diversidade de trabalhos nos quais ele é analisado, seja como foco principal da investigação, seja como elo fundamental no entendimento de fenômenos atmosféricos, particularmente os que resultam da interação entre a superfície terrestre e a atmosfera.

Uma das linhas de investigação tem como objetivo estudar a variabilidade da precipitação buscando relações com a circulação atmosférica. Um exemplo é o trabalho de Kousky (1979) que diagnosticou a passagem de sistemas frontais no sul da Bahia e sua influência sobre o tempo no Nordeste do Brasil, utilizando dados de superfície de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, pressão e nebulosidade, com três (03) observações diárias (00, 12, 18 UTC) do período 1961-1970. A passagem de sistemas frontais na cidade de Caravelas-BA foi diagnosticada usando os seguintes critérios: uma mudança significativa da direção do vento com componente de sul, a queda da média diária da temperatura do bulbo úmido em 2ºC, e a continuidade destas variações com estações mais ao sul. O autor classificou como "frentes frias" aquelas que satisfizeram os três critérios, e como "mudança do vento", os casos que satisfizeram apenas o primeiro critério. Foram identificados 245 casos de sistemas frontais em Caravelas-BA, dos quais 152 apresentaram queda na média diária da temperatura de bulbo úmido de, pelo menos, 2°C.

Rao *et al.* (1993) analisaram a precipitação do leste do Nordeste do Brasil utilizando dados de 63 estações pluviométricas para o período 1964-1983 e dados de vento para investigar a variabilidade das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento nas Ilhas de Trindade e Abrolhos. Os autores constataram que as duas estações têm vento predominante de nordeste devido a sua localização na parte oeste do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, sistema atmosférico que tem um efeito importante sobre o leste do Nordeste, interferindo na intensidade e direção dos ventos ao longo da costa e ainda influenciando na precipitação sobre a região. Os autores concluíram que o vento da direção sudeste em Abrolhos tem uma forte correlação positiva com a precipitação sobre a região estudada.

Moscati & Gan (2007) diagnosticaram a variabilidade da precipitação no período chuvoso da região semi-árida do Nordeste do Brasil e sua relação com o regime do vento usando dados médios diários da reanálise do NCEP/NCAR das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, altura geopotencial, temperatura, umidade específica e temperatura potencial em 850 hPa, 500 hPa e 250 hPa, e também dados de precipitação (P) do Climate Prediction Center do período 1977-1997. Os autores definiram diversos índices com base nas seguintes variáveis: u, v, P, e na diferença u-v. Eles constataram que a precipitação se correlacionou positivamente com a componente zonal (u) e com a diferença zonal-meridional (u-v), porém negativamente com a componente meridional (v). Os autores concluíram que os totais pluviométricos são menores quando as componentes de leste e sul são mais fortes sobre a região, enquanto que a precipitação aumenta quando as componentes enfraquecem.

Outra linha de investigação tem analisado o vento para fins de geração de energia, como o trabalho de Silva *et al*. (2002) que diagnosticaram o potencial eólico utilizando dados horários de velocidade e direção do vento de 77 estações climatológicas do Nordeste do Brasil, para o período 1977-1981. Os autores identificaram que a direção predominante (DP) é de leste, e que a Bahia apresentou a maior variabilidade na direção do vento. De maneira geral, a direção foi de leste, mas houve casos de norte, nordeste, sudeste e sul devido à ação de diferentes sistemas meteorológicos como sistemas frontais, ASAS, ondas/distúrbios de leste, etc. Os resultados do potencial eólico mostraram as potências máximas entre junho a dezembro, e as mínimas no trimestre março-abril-maio, com exceção do sul da Bahia, que apresentou valores máximos no quadrimestre de junho a setembro, ocasionados pela atuação de sistemas atmosféricos advindos do sul do Brasil.

Chou *et al.* (2006) diagnosticaram o regime dos ventos em quatro estações eólicas do projeto SONDA no Nordeste do Brasil, com dados coletados no período de junho de 2004 a setembro de 2005 nas cidades de Petrolina - PE, Triunfo - PE, Belo Jardim - PE e São João do Cariri - PB. Os autores encontraram que a direção predominante nas quatro localidades é de sudeste, com pequena variação na direção, constatando a influência dos ventos alísios na região. Os ventos são mais intensos em Petrolina e Triunfo; nessa última foram observados valores de velocidade acima de 7 ms^{-1}.

Correia Filho & Silva Aragão (2008) diagnosticaram a variabilidade do vento e estimaram o potencial eólico do município de Mata Grande - AL usando dados de velocidade e direção do vento obtido a cada três horas no ano de 2007. Os autores constataram que a direção predominante foi de sudeste, com frequência variando entre 35 e 70%. A frequência é

maior em agosto, mês em que a velocidade atinge o máximo de 8,66 ms^{-1}.Em contrapartida, a frequência é menor em janeiro e fevereiro, quando a velocidade atinge o mínimo de 6,79 ms^{-1}.

Correia Filho & Silva Aragão (2009) diagnosticaram a variabilidade sazonal do vento e do potencial eólico na área do aeroporto internacional da cidade de Maceió - AL utilizando dados horários de velocidade do vento do ano de 1999. Os autores constataram que a média anual da velocidade do vento foi de 3,23 ms^{-1}. O valor máximo de 3,57 ms^{-1} foi diagnosticado no quarto trimestre, enquanto que o mínimo de 2,82 ms^{-1} foi encontrado no segundo trimestre. O potencial eólico médio anual foi de 40 Wm^{-2}; o máximo (50 Wm^{-2}) no primeiro trimestre, e o mínimo (30 Wm^{-2}) no segundo trimestre.

É grande o número de trabalhos voltados para o estudo das características médias e de variabilidade do vento como o de Frenzel (1962) que diagnosticou a variabilidade diária do vento na região central da Califórnia (EUA), usando dados observacionais de velocidade e direção do vento em superfície e do ar superior de 21 estações, para o mês de julho de 1958. O autor constatou que a causa principal do vento é o aquecimento desigual entre o continente e oceano e que a topografia influencia no aumento da velocidade do vento. O autor verificou que os ventos de oeste na costa são desviados para norte e sul no vale, interagindo com a circulação diária, e também identificou características evidentes no regime dos ventos na extremidade norte do vale central da Califórnia como: (a) as maiores variações na direção leste-oeste (90º-270º) ocorrem próximo da cidade de Sacramento onde os vales são mais amplos; (b) os máximos de velocidade ocorrem em torno das 18 horas locais (HL), em todas as estações; (c) ventos com componente de norte são observados apenas nas estações situadas mais ao norte; e (d) a circulação de grande escala tende a mascarar os movimentos de escala menor nas áreas mais estreitas do vale.

Martner & Marwitz (1982) diagnosticaram a velocidade e direção do vento e sua interação com os fatores meteorológicos e topográficos no sul de Wyoming (EUA) usando dados horários de direção e velocidade do vento de 16 estações para o período de 1974-1981. Os resultados mostram uma relação entre a velocidade do vento e a insolação solar: os mínimos ocorrem no início da manhã, e os máximos, à tarde. A velocidade máxima do vento é registrada no mês de dezembro, às 14 horas locais, com valor médio de 10 ms^{-1}, enquanto que a mínima é registrada no mês de julho, às 5 horas locais, com valor médio de 2 ms^{-1}. Os autores constataram que os ventos fortes do inverno são resultantes da canalização pela topografia do ar estável que flui na área baixa da Divisa Continental sob a influência de uma força de gradiente de pressão intensa, e que a direção predominante é de oeste-sudoeste em todas as estações, exceto no verão quando é de oeste.

Klink (1999) diagnosticou a média climatológica e a variância interanual do vento nos Estados Unidos, utilizando dados médios mensais da velocidade e direção do vento de 216 estações para o período de 1961-1990. A autora constatou que a velocidade do vento é mais intensa no inverno e primavera em decorrência do forte gradiente horizontal de temperatura e pressão; a direção média mensal mostra uma progressão sazonal típica, sendo predominantemente de oeste e noroeste no inverno, enquanto que no verão é de sul. A autora observou que a alta pressão sobre o leste dos Estados Unidos contribui para a intensificação do vento, particularmente no leste das Montanhas Rochosas, enquanto que no lado oeste os ventos médios refletem a canalização pela topografia local. A variância é, em geral, elevada no inverno e na primavera devido à alta frequência de ocorrência de ciclones e anticiclones.

Diversos trabalhos têm aplicado técnicas de análise multivariada ao vento, separadamente ou em conjunto com outras variáveis, com o objetivo de identificar padrões de circulação atmosférica visando uma melhor compreensão sobre a forma de atuação dos sistemas atmosféricos. Green *et al.* (1993) utilizaram a técnica da análise de componentes principais (ACP) temporais para analisar uma série longa de dados médios mensais de precipitação, temperatura e vento de 90, 54 e 37 locais distintos, respectivamente, no sudeste da Califórnia (EUA). Os autores obtiveram seis componentes principais, sendo duas componentes para cada variável, e para três períodos distintos: verão, inverno e uma fase de transição (outono e primavera, por terem comportamentos similares). Os autores constataram que a ACP do vetor vento resultou em dois autovetores significativos. O primeiro autovetor mostra a variação sazonal do vento, explicando 86% da variância, com magnitude que varia de 0,08 em dezembro a 0,42 em junho (unidades relativas). O vento tem direção entre 283º (dezembro) e 244º (julho), e sua velocidade é máxima em julho, e mínima em novembro e fevereiro. O segundo autovetor explicou 9,2% da variância, mostrando uma mudança de 180º na direção do vento entre o inverno e o verão, estações do ano nas quais sua magnitude é máxima. Os autores também diagnosticaram uma grande variabilidade na direção do vento no inverno em decorrência da penetração de sistemas frontais na região.

Kaufmann & Whiteman (1999) investigaram os padrões do vento no inverno para a região do Grand Canyon, Arizona-EUA, aplicando a análise de agrupamento (AA) a dados horários da velocidade e direção do vento à superfície coletados em 15 estações meteorológicas no período de dezembro de 1989 a abril de 1990. Os autores obtiveram 12 padrões típicos do vento no inverno, que são fortemente influenciados pelo relevo acidentado da região. Os autores constataram que muitos padrões têm um ciclo diário evidente, causado pelo vento termicamente induzido próximo à superfície. Os autores também encontraram

evidências de que o escoamento forçado termicamente é importante no inverno, predominando sobre o escoamento de grande escala.

Correia (2000) analisou o vento à superfície de 77 estações climatológicas no Nordeste do Brasil, utilizando dados horários do período 1977-1981 visando determinar padrões espaciais e temporais de variabilidade. O autor aplicou métodos de análise multivariada (ACP e AA) às médias decendiais das componentes zonal e meridional do vento à superfície, obtendo três fatores comuns temporais das duas componentes analisadas em conjunto, que explicaram 88,4% da variância total das médias decendiais. A aplicação da AA resultou em cinco grupos homogêneos que foram relacionados com a fisiografia complexa e com diversos sistemas atmosféricos, destacando o anticiclone subtropical do Atlântico Sul.

Barreto (2001) usou as mesmas séries de dados de Correia (2000) para analisar o ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A autora identificou áreas homogêneas com base na análise multivariada (ACP e AA) das componentes zonal e meridional do vento à superfície. A análise resultou em seis fatores comuns temporais das componentes zonal e meridional, em conjunto, que representaram 97% da variância total explicada pelas médias horárias, sendo que os quatro primeiros fatores temporais somaram 89,9% da variância total. O Nordeste foi dividido em seis grupos homogêneos, separados de acordo com a variabilidade na intensidade e/ou direção do vento e as características geográficas da região.

Weber & Furger (2001) diagnosticaram a climatologia do vento à superfície na Suíça, aplicando AA a dados horários coletados em 115 estações meteorológicas automáticas no período 1981-1998. Os autores identificaram 16 padrões do vento à superfície, e mostraram que eles têm relação com distribuições características da temperatura do ar, da radiação global e da precipitação. Os autores identificaram padrões diurnos e noturnos evidentes caracterizados pelos ventos termicamente induzidos, mostrando ainda a existência de interdependência entre os padrões do vento à superfície e os tipos de situação sinótica característicos da região.

Kassomenos *et al.* (2003) aplicaram a ACP e AA para identificar diferentes tipos de circulação atmosférica na cidade de Atenas – Grécia, utilizando dados de superfície de temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, pressão de vapor d'água, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação global, e dados em pontos de grade da pressão ao nível do mar para a área de coordenadas 25ºN-60ºN e 10ºW-40ºE do período 1954-1999. Os autores determinaram oito tipos de circulação para o período frio do ano e seis para o período quente. No período frio, a variação interanual dos oito padrões sinóticos mostra redução da atividade ciclônica na área central do Mediterrâneo no final dos anos 80 e início dos anos 90.

No verão, nos meses de julho e agosto, o vento etésio é dominante sobre o Mar Egeu, mas seu impacto nas condições de tempo de Atenas depende da sua intensidade; quando a intensidade é baixa os sistemas de circulação local são predominantes.

Aikawa *et al.* (2008) analisaram a variabilidade do vento aplicando AA a dados horários de velocidade e direção do vento coletados no período de abril de 2004 a março de 2005 em 27 estações de monitoramento da poluição do ar. Dentre as estações, 16 são ambientais e 11 são nacionais, de seis cidades da região metropolitana de Hyogo – Japão. Os autores determinaram que a velocidade do vento é máxima entre as 13-18 horas locais, durante a brisa marítima, e mínima entre 01-06 horas locais, durante a brisa terrestre. Eles também encontraram que as direções mais frequentes foram de norte, nordeste e sudeste e que a direção do vento na área costeira é controlada pelas brisas terrestre e marítima. A aplicação da AA às 16 estações ambientais resultou em cinco grupos distintos.

Burlando *et al.* (2008) aplicaram a AA com o objetivo de caracterizar as condições médias e os regimes do vento em 11 estações anemométricas na região da Córsega – França, utilizando dados da velocidade e direção do vento coletados a cada três horas (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 UTC) no período de outubro de 1996 a setembro de 1999. Os autores utilizaram três medidas de distância (euclidiana, quadrática de Pearson e o índice de Crámer) e cinco métodos aglomerativos (ligação simples, ligação completa, ligação média, Ward e Mc Quitty), que resultaram em quinze agrupamentos diferentes. Os autores identificaram oito grupos homogêneos, dos quais quatro correspondem ao padrão principal do tempo no oeste europeu, e os demais correspondem aos regimes de brisa, e aos regimes sinóticos.

Jimenez *et al.* (2008) diagnosticaram regiões homogêneas do vento à superfície em terrenos acidentados na Península Ibérica - norte da Espanha, utilizando dados diários do vento coletados em 35 estações meteorológicas de janeiro de 1992 a setembro de 2002. Os autores utilizaram duas metodologias da análise multivariada para realizar a regionalização do vento: (a) análise de agrupamento e (b) rotação das componentes principais selecionadas. Eles constataram que a ACP e a AA produziram resultados em concordância com as características topográficas do terreno, resultando em quatro fatores que explicam 81,7 % da variância, representando seis grupos homogêneos. Os autores verificaram que a variabilidade temporal da componente meridional do vento é similar em todas as sub-regiões, e que a componente zonal do vento é a responsável pela caracterização da variabilidade do vento em cada sub-região. Os autores verificaram também que as sub-regiões de vale apresentam variabilidade maior do que locais com maior altitude.

A revisão apresentada mostra a importância do conhecimento sobre a variabilidade do vento considerando a influência da superfície e de circulações atmosféricas de várias escalas, e indica que a aplicação da análise multivariada aos dados registrados por plataformas automáticas de coleta de dados em mesorregiões do estado da Bahia pode contribuir com novas informações sobre a variabilidade do vento no estado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Bahia se destaca por sua extensão territorial; com uma área de 564.692 km² é o maior estado do Nordeste do Brasil (NEB), correspondendo a 36,41% da área total da região. Seu relevo é constituído por planícies, vales, serras e montanhas com altitude entre 800m e 1200m, como na Chapada Diamantina (Figura 3.1). A Chapada Diamantina, a maior estrutura orográfica da Bahia, afeta a circulação atmosférica contribuindo para que a vertente leste seja mais úmida do que a vertente oeste que apresenta características do semi-árido (Braga *et al.*, 1998). O tempo e clima da Bahia resultam da interação entre a superfície e mecanismos atmosféricos de escala global, regional e local. O anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) domina a circulação atmosférica no estado, em média. Diversos sistemas de tempo também influenciam o território baiano tais como: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) Vórtice Ciclônico de Ar Superior/Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAS/VCAN), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistemas frontais, distúrbios de leste, sistemas convectivos de mesoescala, brisas marítima/terrestre e ventos de vale/montanha (KOUSKY, 1979; CHU, 1983; ANJOS & SOBRAL, 1992; BLANCO *et al.,* 1996; PAIVA NETO *et al.*, 2002; SANTOS, 2008; ARAÚJO *et al.,* 2008; OLIVEIRA SILVA *et al.*, 2009).

A variabilidade sazonal do ASAS tem influência marcante sobre o padrão de circulação no NEB, determinando ventos alísios mais intensos na primavera e menos intensos no outono. No estado da Bahia a circulação do ASAS influencia particularmente o leste do estado, área foco deste trabalho. No verão e outono, quando sua intensidade é menor, sistemas de escala sinótica típicos dessa época do ano também modulam o vento na área da Bahia: ZCAS, na metade sul, VCAS/VCAN na metade norte, e distúrbios de leste no leste do estado, da fronteira com Sergipe à região de Ilhéus. Sistemas de latitudes médias austrais influenciam durante todo o ano, notadamente no extremo sul da Bahia. No transcorrer do inverno e da primavera o ASAS atinge intensidade máxima e domina a circulação no estado, que é perturbada por eventuais incursões de zonas de convergência associadas a sistemas frontais austrais. Na escala de tempo diária sistemas de tempo locais também modulam o vento durante todo o ano.

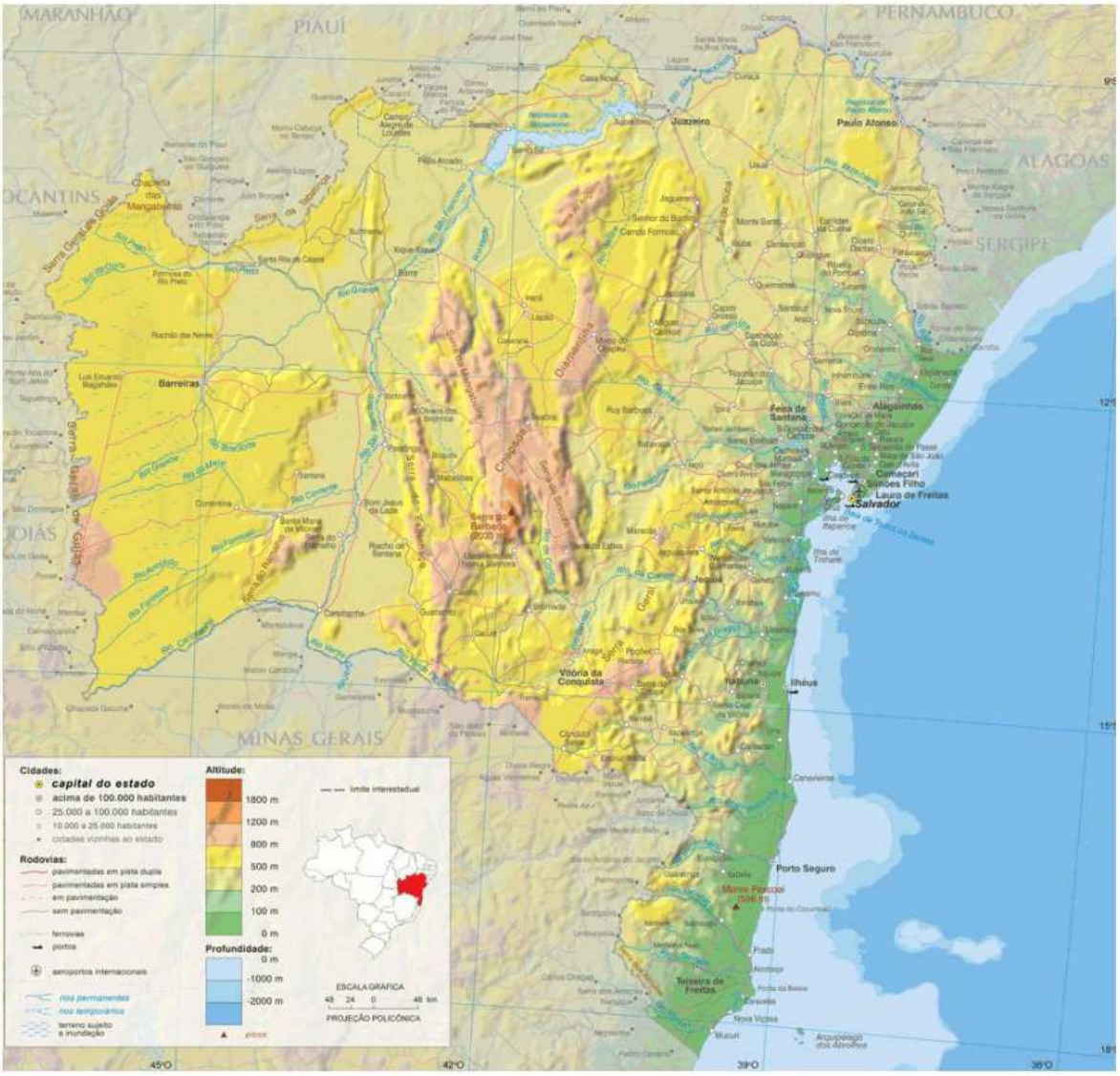

Figura 3.1 - Mapa do relevo do estado da Bahia. (Fonte: IBGE, 2010)

3.1. Materiais

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos dos registros de cinco Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) operadas pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ) nas seguintes mesorregiões da Bahia: Mesorregião Nordeste Baiano – Serrinha, Mesorregião Metropolitana de Salvador – Salvador, Mesorregião do Sudeste Baiano - Ilhéus e Mesorregião Sul Baiano – Eunápolis e Teixeira de Freitas. Instaladas no final da década de 90 as PCD's, cuja localização é ilustrada na Figura 3.2, armazenam valores de diversas variáveis meteorológicas além da direção e velocidade do vento.

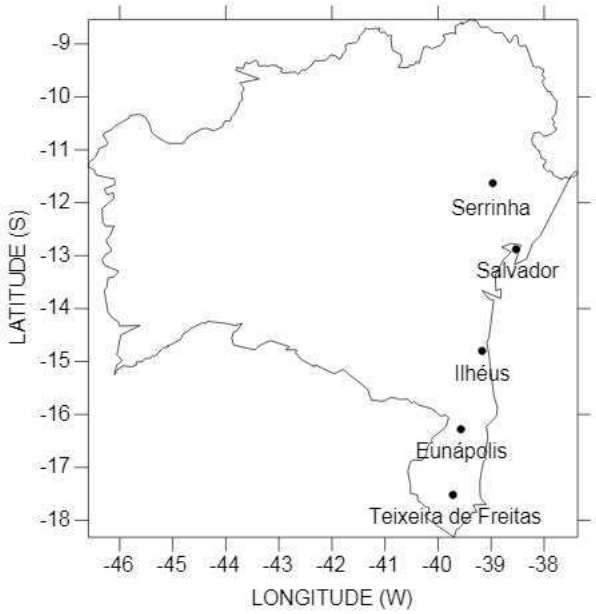

Figura 3.2 – Localização das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) em mesorregiões do estado da Bahia.

Foi necessário processar os arquivos originais (dados brutos) das PCD's de forma a extrair os dados necessários à pesquisa. O Quadro 3.1 contém o número total de arquivos e as coordenadas geográficas de cada estação. O processamento dos dados brutos de cada PCD obedeceu às etapas descritas abaixo:

(a) Inicialmente, foi realizado um pré-processamento que consistiu na avaliação subjetiva de cada arquivo original com o objetivo de verificar a sequência e o formato de registro dos dados, inserindo códigos de identificação para as diversas variáveis;

(b) Processamento do conjunto dos arquivos originais modificados, utilizando um programa em linguagem FORTRAN desenvolvido para eliminar dados repetidos e organizar os dados em ordem cronológica;

(c) Processamento e consistência dos dados horários de direção e velocidade do vento, utilizando um programa em linguagem FORTRAN desenvolvido para detectar ausência de observação (falta de dados) e dados errados, atribuindo-lhes um valor de referência.

Concluído o processamento, todo o conjunto de dados foi subjetivamente avaliado com o objetivo de identificar os períodos de observação comuns às cinco PCD's, o que resultou na seleção dos anos de 2000, 2002, 2005, 2006 e 2007.

Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Número de Arquivos
Serrinha	11°38'54"	38°58'58"	336	20
Salvador	12°55'53"	38°21'40"	25	64
Ilhéus	14°48'00"	39°10'48"	62	18
Eunápolis	16°17'26"	39°34'47"	179	20
Teixeira de Freitas	17°31'48"	39°43'12"	195	10

Quadro 3.1 – Nome, coordenadas geográficas e número de arquivos de dados das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) em mesorregiões do estado da Bahia.

3.2. Métodos

O vento à superfície dos registros de cada estação automática foi decomposto em suas componentes zonal (u) e meridional(v) usando, respectivamente, as equações:

$$u = -V \cdot sen\theta \tag{3.1}$$

$$v = -V \cdot \cos\theta \tag{3.2}$$

em que:

V é a velocidade do vento (ms^{-1})

θ é a direção do vento (radianos)

Feita a decomposição do vento à superfície, foram calculadas médias diárias a partir das componentes horárias do vento e, em seguida, médias mensais para os cinco anos de dados. Assim, o vetor vento médio mensal à superfície foi obtido, através de suas componentes zonal e meridional, com o objetivo de diagnosticar a variabilidade sazonal do vento em mesorregiões da Bahia. As médias mensais do período de estudo serviram de base para o cálculo de médias trimestrais das componentes que foram submetidas a técnicas de análise multivariada para regionalização do vento.

As médias diárias de cada componente foram calculadas da seguinte forma:

$$\overline{V}_{d,m,a} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h(t)} V_{h,d,m,a}}{h(t)} \tag{3.3}$$

em que:

$\overline{V}_{d,m,a}$ = componente média (ms^{-1}) do d-ésimo dia, do m-ésimo mês, do a-ésimo ano;

$V_{h,d,m,a}$ = componente (ms^{-1}) na h-ésima hora, do d-ésimo dia, do m-ésimo mês, do a-ésimo ano

sendo:

h = 1,2,3, ..., h(t), número de observações horárias,

d = 1,2,3, ..., d(f), determinado dia do m-ésimo mês,

m = 1,2,3, ..., y=12, determinado mês do a-ésimo ano,

a = 1,2,3, ..., determinado ano do período (2000, 2002, 2005, 2006 e 2007).

As componentes médias mensais de cada ano foram obtidas usando a equação,

$$V^*_{m,a} = \frac{\sum_{d=1}^{d=d(f)} \overline{V}_{d,m,a}}{d(f)} \tag{3.4}$$

e as médias mensais do conjunto dos cinco anos foram calculadas de acordo com

$$V^\bullet_m = \frac{\sum_{a=1}^{a=A} V^*_{m,a}}{A} \tag{3.5}$$

em que A é o número de anos.

Neste estudo foram adotados dois critérios para selecionar os meses cuja média seria utilizada. O primeiro está relacionado com o número de observações horárias existente em cada dia do mês e determina que apenas as médias dos dias com, no mínimo, 12 observações horárias fossem incluídas no cálculo da média mensal. O segundo critério está relacionado com o número de médias diárias existente no mês e determina que apenas os meses com, no

mínimo, 15 médias diárias tivessem a sua média mensal incluída no cálculo da média mensal do conjunto dos anos analisados.

3.2.1. Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica da análise multivariada bastante utilizada na Meteorologia que possibilita reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, preservando a sua variância total e permitindo identificar padrões e processos associados às variáveis observadas (WILKS, 2005; CORRAR *et al.*, 2007). A matriz *F (P x N)*, constituída de *P* estações e *N* número de observações em cada uma das estações (BARRETO, 2001), é dada por:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_{p1} & f_{p2} & \cdots & f_{pn} \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

Cada linha da matriz *F* representa uma estação *P* e as colunas representam as observações na estação *P*. A matriz de correlação *R* é obtida a partir da matriz *F* das variáveis padronizadas pelos desvios padrões, sendo dada por:

$$R = \frac{1}{N-1} F^T F \tag{3.7}$$

A matriz *R* é simétrica positiva de dimensão (*P* x *P*) e diagonalizável por uma matriz *E*, denominada de autovetores. A matriz diagonal *D*, cujos elementos diagonais são os autovalores de *R* é obtida por:

$$D = E^{-1} R E \tag{3.8}$$

Em virtude da ortogonalidade dos autovalores, a matriz inversa de $E = \left(E^{-1}\right)$ é igual a sua transporta $\left(E^T\right)$. Assim as CP's $U_1, U_2, \cdots, U_b$ são obtidas pela combinação linear entre a matriz dos autovetores de $\left(E^T\right)$ e a matriz de observações *F,* ou seja,

$$U = E^T F \quad \text{ou} \quad F = EU \tag{3.9}$$

Cada linha de U é uma CP que são séries temporais associadas aos autovetores. Cada CP $U_1, U_2, \cdots, U_p$ tem uma porção da variância total dos dados em ordem decrescente dos autovetores mais significativos e_p em E. Logo,

$$U = \sum_{i=1}^{p} e_{ip} F_p \tag{3.10}$$

na qual F_p é a matriz original normalizada e e_p é o autovetor. Os valores de F do n-ésimo local podem ser estimados pela seguinte expressão:

$$F_p = ej_1 U_1 + ej_2 U_2 + ej_3 U_3 + \cdots + a_{nb} U_p \text{ ou } F_p = \sum_{i=1}^{p} e_{ip} U_p \tag{3.11}$$

Na geração dos resultados foi necessário ajustar a matriz de dados com a finalidade de obedecer alguns critérios necessários à aplicação da ACP. Foi visto anteriormente que após a decomposição do vento em suas componentes zonal (CZV) e meridional (CMV) foram geradas médias mensais para ambas as componentes. Porém, o princípio de proporcionalidade da matriz determina que o número de linhas (cinco estações) seja igual ou maior do que o número de colunas. Dessa maneira, a matriz foi redimensionada substituindo as médias mensais por médias trimestrais, reduzindo o número de colunas de doze para quatro.

Todas as combinações possíveis de três meses consecutivos foram analisadas para verificar o valor do determinante, que deveria ser maior do que zero, e o valor do teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). De acordo com Corrar et al. (2007), valores do teste KMO inferiores a 0,5 indicam que a matriz deve ser descartada, entre 0,5 e 0,7 são razoáveis, entre 0,7 e 0,9 são bons, e acima de 0,9 são ótimos. Os maiores valores do KMO obtidos para CZV e a CMV foram 0,60 e 0,65, respectivamente, para o conjunto dos trimestres formado por fevereiro-março-abril (FMA), maio-junho-julho (MJJ), agosto-setembro-outubro (ASO) e novembro-dezembro-janeiro (NDJ). Dessa forma, a matriz formada por esses trimestres foi submetida à ACP e AA.

3.2.2 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento (AA) é uma técnica de análise multivariada que tem por objetivo propor uma estrutura classificatória ou de reconhecimento da existência de grupos, ou seja, a partir de um conjunto de n indivíduos medidos em p variáveis obter um esquema que possibilite reunir indivíduos num certo número de grupos, tal que exista homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos. Esta técnica se baseia no pressuposto de que as variáveis podem ser agrupadas em um número menor de grupos que são representativos de acordo com critérios de similaridade. Três questões fundamentais devem ser consideradas em sua aplicação: primeira, como será medida a similaridade dos dados (indivíduos); segunda, como formar os grupos e, por fim, como decidir o número de grupos formados.

Uma aplicação da AA na Meteorologia consiste na regionalização, ou seja, na identificação de regiões homogêneas com respeito a um ou mais elementos meteorológicos, conhecidos em um conjunto de estações, em um período de tempo (dia, mês, ano, etc.) (GONG & RICHMAN, 1995).

3.2.2.1 Medidas de distância

A extração do agrupamento é realizada em dois passos que consistem em: (1) definir uma medida de distância $\boldsymbol{d}$ a fim de estabelecer similaridades entre os pares de elementos, e (2) definir a função de agrupamento a ser utilizada no procedimento. Em particular, $\boldsymbol{d}$ deve ser uma medida métrica e que satisfaça as seguintes propriedades (BURLANDO *et al.*, 2008):

1) Simetria - A distância de x_i para x_j deve ser a mesma de x_j para x_i, logo $d_{ji} \forall \ 1 \leq i, j \leq n$;

2) Não-negatividade – A distância medida como quantidade deve ser positiva, $d_{ij} \geq 0$;

3) Identidade – A distância entre x_i e x_j é zero, logo $d_{ij} = 0$;

4) Definição – A distância entre x_i e x_j é zero, então x_i e x_j são iguais, logo $d_{ij} = 0$ apenas se $x_i = x_j$;

5) Triângulo da desigualdade – O comprimento de um dos lados do triângulo não deve ser maior do que a soma dos comprimentos dos outros dois lados, resultando em $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{jk}$.

Existem vários tipos de medidas de distância: (a) correlação quadrática de Pearson; (b) índice de Crámer; (c) coeficiente de correlação, (d) distância de Mahalanobis, (e) distância euclidiana, etc. Neste trabalho foi utilizada a distância euclidiana com a finalidade de verificar o grau de similaridade ou dissimilaridade entre as estações. A distância euclidiana, que apresentou bons resultados em estudos anteriores sobre o vento à superfície no Nordeste do Brasil (CORREIA, 2000; BARRETO, 2001), é obtida por:

$$d_{ab} = \left[\frac{1}{N_{ab}} \sum_{j=1}^{N_{ab}} \left(X_{aj} - X_{bj} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.12}$$

em que:

X_{aj} é a j-ésima característica da a-ésima observação;

X_{bj} é a j-ésima característica da b-ésima observação;

N_{ab} é o número de estações.

3.2.2.2 Métodos de agrupamento

Nas técnicas hierárquicas e aglomerativas existem vários métodos ou critérios de agrupamento (EVERITT, 1993; WILKS, 2005; CORRAR *et al.* 2007), dentre os quais destacam-se:

a) Ligação simples ou agrupamento de mínima distância

Este método se baseia na associação de objetos de distância mínima semelhante. Inicialmente um grupo se forma pela junção de dois objetos separados pela menor distância. Após esta etapa, este grupo se fundirá com aquele(s) objeto(s) que possua(m) uma distância mínima entre ele(s) e o grupo.

b) Ligação completa ou agrupamento de máxima distância

Este método é similar ao anterior, exceto pelo fato de que o critério de agrupamento se baseia na distância máxima. A distância máxima entre os indivíduos em cada grupo representa a menor esfera que pode englobar todos os objetos de ambos os grupos. Este método é assim denominado porque todos os objetos de um grupo são ligados a qualquer outro a certa distância máxima ou por uma similaridade mínima.

c) Ligação média

Este método se inicia como os anteriores, mas o critério de agrupamento é a distância de todos os indivíduos de um grupo em relação a todos os outros de outro grupo. Tal técnica não depende dos valores extremos como as anteriores; a divisão se baseia em todos os membros do grupo mais do que num par de membros extremos em particular.

d) Centróide

A distância entre os grupos é a distância entre seus centróides. Os centróides dos grupos são os valores médios das observações sobre as variáveis; os centróides dos grupos migram quando as fusões de grupos acontecem.

Neste trabalho foram testados os quatro métodos de agrupamento acima, e também o método de Ward, resultando na escolha desse último por apresentar resultados coerentes com os vetores do vento médio mensal (Figura 4.1). O método de Ward apresentou bons resultados em estudos anteriores sobre o vento à superfície no Nordeste do Brasil (CORREIA, 2000; BARRETO, 2001). Segundo Kalkstein *et al.* (1987), o método de Ward é a técnica de agrupamento hierárquico mais frequentemente utilizada para classificação climática. A similaridade usada no método de Ward é a soma dos desvios quadráticos em relação à média do grupo expressa como:

$$W = \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{N_k} (X_{ijk} - X_{\bullet jk})^2 \tag{3.13}$$

em que X_{ijk} é o valor da j-ésima variável para a i-ésima das N_k observações dos K grupos e $X_{\bullet jk}$ é o valor médio. O ponto representa o valor médio do subíndice. A Equação 3.13 pode ser decomposta e escrita como:

$$W = \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{N_k} \left[(X_{ijk} - X_{\bullet j\bullet}) + (X_{\bullet j\bullet} - X_{\bullet jk}) \right]^2 \tag{3.14}$$

Sabendo que

$$\sum_{i=1}^{N_k} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{N_k} X_{\bullet j\bullet} = N_k (X_{\bullet jk} - X_{\bullet j\bullet})$$

No final da expansão resulta,

$$W = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_k}\left(X_{ijk} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 - \sum_{k=1}^{K} N_k \sum_{j=1}^{J}\left(X_{\bullet j\bullet} - X_{\bullet jk}\right)^2 \qquad (3.15)$$

(A) (B)

A Equação 3.15 significa que a soma dos quadrados na Equação 3.12 é composta por duas partes: (A) a primeira representa uma nova soma quadrática com respeito a um novo centróide, $X_{\bullet j\bullet}$, localizado em algum ponto entre o centróide original ($X_{\bullet jk}$) dos dois grupos considerados para junção, e (B), a distância euclidiana quadrática entre os centróides originais dos dois grupos existentes antes da junção e o novo centróide ponderado por N_k, o número de observações. O método de Ward assume que se o grupo 1 se une ao grupo 2, a mudança em $W(\Delta W)$ após a fusão dependerá apenas da relação entre estes grupos e não da relação com outros grupos. Se dois grupos $(K = 2)$ rotulados de 1 e 2 são avaliados antes da junção, usando a Equação 3.15, o resultado será:

$$W = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_1}\left(X_{ij1} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_2}\left(X_{ij2} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 - \sum_{k=1}^{2} N_k \sum_{j=1}^{J}\left(X_{\bullet j\bullet} - X_{\bullet jk}\right)^2 \qquad (3.16)$$

(A) (B)

em que $X_{\bullet j\bullet}$ é o novo centróide da variável j em um novo grupo com observações $(N_1 + N_2)$. Após a junção, a soma dos quadrados do novo grupo será:

$$W' = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_1+N_2}\left(X_{ijk} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_1}\left(X_{ij1} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{N_2}\left(X_{ij2} - X_{\bullet j\bullet}\right)^2 \qquad (3.17)$$

que é idêntica a parte A da Equação 3.16. A diferença entre as Equações (3.17) e (3.16) é a mudança na soma dos quadrados, ou seja

$W' - W = \Delta W$

$$= N_1 \sum_{j=1}^{J}\left(X_{\bullet j\bullet} - X_{\bullet j1}\right)^2 + N_2 \sum_{j=1}^{J}\left(X_{\bullet j\bullet} - X_{\bullet j2}\right)^2 \qquad (3.18)$$

sendo que $X_{\bullet j\bullet} = \dfrac{\left(N_1 X_{\bullet j1} + N_2 X_{\bullet j2}\right)}{\left(N_1 + N_2\right)}$,

e também $W = W$ antes da fusão e $W' = W$ depois da fusão. O método de Ward une agrupamentos com a menor ΔW, que é composta pela distância quadrática entre o novo centróide $X_{\bullet j \bullet}$, e os dois centróides originais, $X_{\bullet j1}$ e $X_{\bullet j2}$, ponderada pelo número de observações N_1 e N_2.

Dois aspectos importantes sobre a técnica de Ward merecem destaque. O primeiro é o objetivo de minimizar a soma quadrática dos desvios dentro de cada grupo, pois a distância quadrática entre os grupos é essencial na aplicação da técnica. A Equação 3.18 indica que ΔW é proporcional às distâncias quadráticas entre o novo centróide e os centróides originais. O segundo é o número de observações, N_k, que desempenha um papel importante no agrupamento; se as distâncias entre uma observação e dois grupos são idênticas, a observação se unirá ao grupo que tiver menos observações.

Os grupos homogêneos obtidos neste trabalho foram representados sob a forma de dendrograma ou árvore de classificação. A determinação do número de grupos foi realizada a partir de cortes transversais no dendrograma, de acordo com o critério matemático da curva de inércia e com os resultados obtidos para as médias mensais do vento. O critério de corte adotado consiste em um número *n* de grupos formados considerando o maior salto de inércia em relação ao precedente n+1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Médias Mensais do Vento à Superfície

A seguir são apresentados os campos médios mensais do vento à superfície em mesorregiões da Bahia. No decorrer do primeiro trimestre (janeiro-fevereiro-março) (Figura 4.1a-c) o vento diminui de intensidade, principalmente em Eunápolis e Teixeira de Freitas. Nessas estações, e em Salvador, a direção do vento médio é de leste-nordeste, em Ilhéus é de norte e em Serrinha é de leste-sudeste; nessa última o vento é mais intenso. Vale destacar que Serrinha e Eunápolis apresentam as maiores intensidades nos três meses. A variabilidade vista nesse trimestre está relacionada com o enfraquecimento do ASAS, e a atuação da ZCAS e de sistemas frontais em dissipação no extremo sul da Bahia (Eunápolis e Teixeira de Freitas), e dos VCAS/VCAN nas estações da área norte do estado (Serrinha e Salvador). Ilhéus, com ventos fracos de norte, parece representar uma área de transição na qual os sistemas meteorológicos que influenciam as áreas norte e sul da Bahia atuam com menor intensidade.

Na passagem do primeiro para o segundo trimestre (Figura 4.1c,d) também há diminuição na intensidade do vento à exceção de Ilhéus, onde não há mudança. O vento muda de quadrante em Eunápolis, Teixeira de Freitas e Salvador: do nordeste para o sudeste. O vento permanece de norte em Ilhéus e de leste-sudeste em Serrinha. No segundo trimestre (abril-maio-junho) (Figura 4.1d-f) há variabilidade na intensidade e na direção do vento em todas as estações, com exceção de Ilhéus. Entretanto, o vento não muda de quadrante nesses três meses, permanecendo no sudeste. No caso da intensidade não há um padrão sistemático de variação. De maneira geral, Serrinha e Eunápolis também apresentam as maiores intensidades nesses meses. Em particular, nas demais estações os ventos são fracos no último mês do trimestre (Figura 4.1f). Nesse trimestre os sistemas frontais têm maior deslocamento sobre a Bahia e os distúrbios/ondas de leste atuam na área norte do estado. Na passagem de trimestre (Figura 4.1f,g) a intensidade não muda em Ilhéus. No sul do estado há mudança na direção.

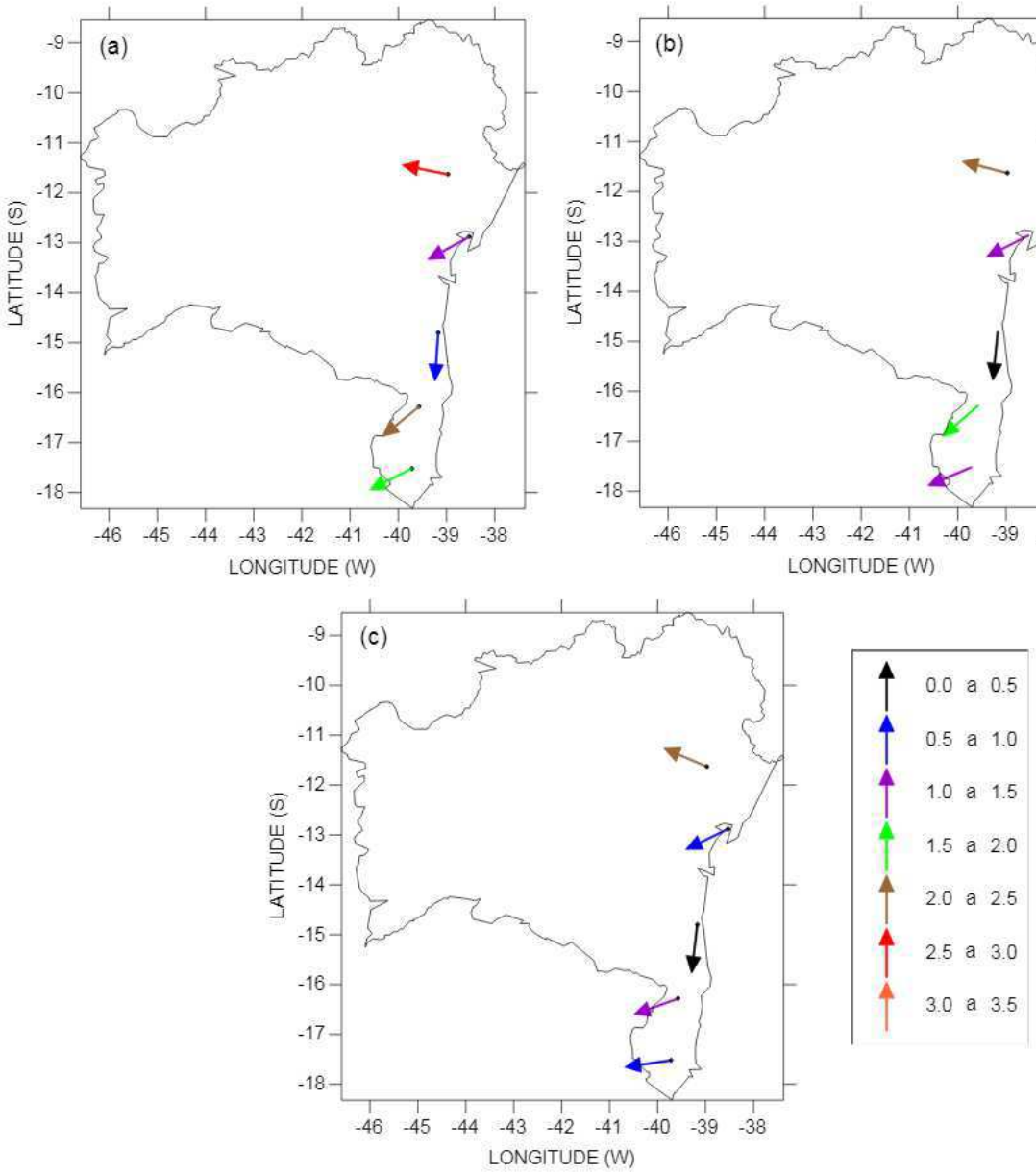

Figura 4.1 – Vento médio à superfície em mesorregiões do estado da Bahia (período 2000, 2002, 2005, 2006 e 2007) para o mês de: (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril; (e) maio; (f) junho; (g) julho; (h) agosto; (i) setembro; (j) outubro; (k) novembro e (l) dezembro. O vento (direção e velocidade) é representado pelas setas: a direção segue a convenção da rosa dos ventos e a escala da velocidade (m/s) é vista ao lado de (c), (f), (i) e (l). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

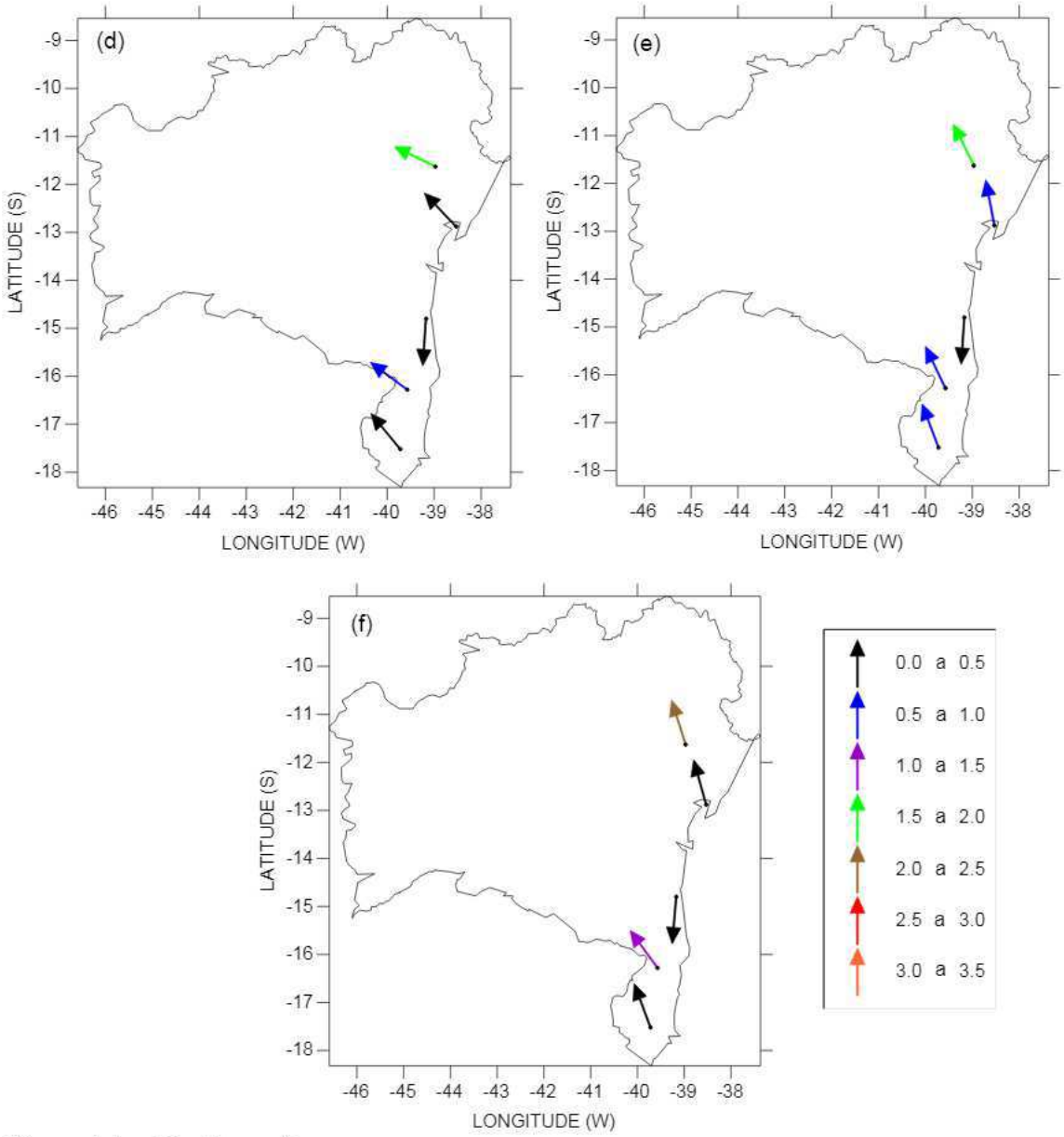

Figura 4.1 – Continuação

No terceiro trimestre (julho-agosto-setembro) (Figura 4.1g-i) o aumento na intensidade do vento é evidente em todas as estações, com destaque para Serrinha e Eunápolis onde o vento é mais intenso. A direção varia consideravelmente em todas as estações; o vento gira no sentido anti-horário, assumindo orientação quase zonal, de leste, exceto em Ilhéus. Esse padrão de variabilidade está diretamente relacionado com a intensificação do ASAS no decorrer do trimestre, o que contribui para a diminuição no número de sistemas frontais que avançam sobre a Bahia. Na transição do terceiro para o quarto trimestre (Figura 4.1i,j) continua o giro anti-horário do vento e a intensidade aumenta, exceto em Ilhéus.

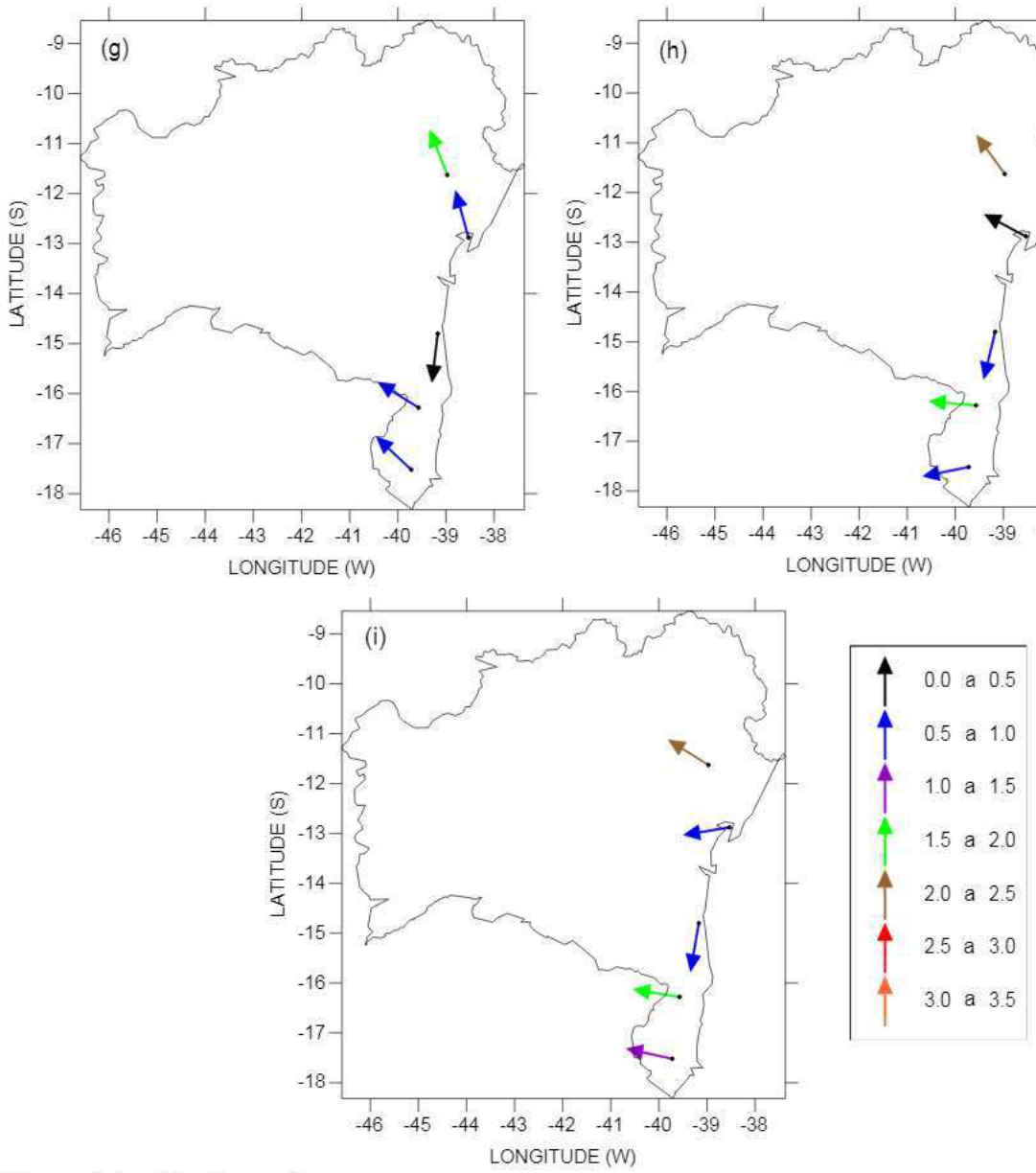

Figura 4.1 – Continuação

Nos dois primeiros meses do quarto trimestre (Figura 4.1j,k) há mudanças muito pequenas na direção em Serrinha, Ilhéus e Teixeira de Freitas, e a intensidade varia apenas na última (diminui). O vento médio em Serrinha atinge intensidade máxima (3 a 3,5 m/s) nesses meses. Na passagem do segundo para o terceiro mês (Figura 4.1k,l) a intensidade diminui apenas em Serrinha e Salvador. A direção muda em Serrinha, Eunapólis e Teixeira de Freitas devido a um giro anti-horário do vento nessas estações. Semelhantemente aos outros trimestres, o vento é mais intenso em Serrinha e Eunápolis, e a direção do vento em Ilhéus se destaca das demais por ser, em geral, quase de norte. Nesse trimestre atuam a ZCAS, os VCAS/VCAN e os sistemas frontais. A variabilidade ilustrada pela Figura 4.1 é semelhante à de Correia (2000) e sugere que um fator local (topografia) diferencia Serrinha e Eunápolis.

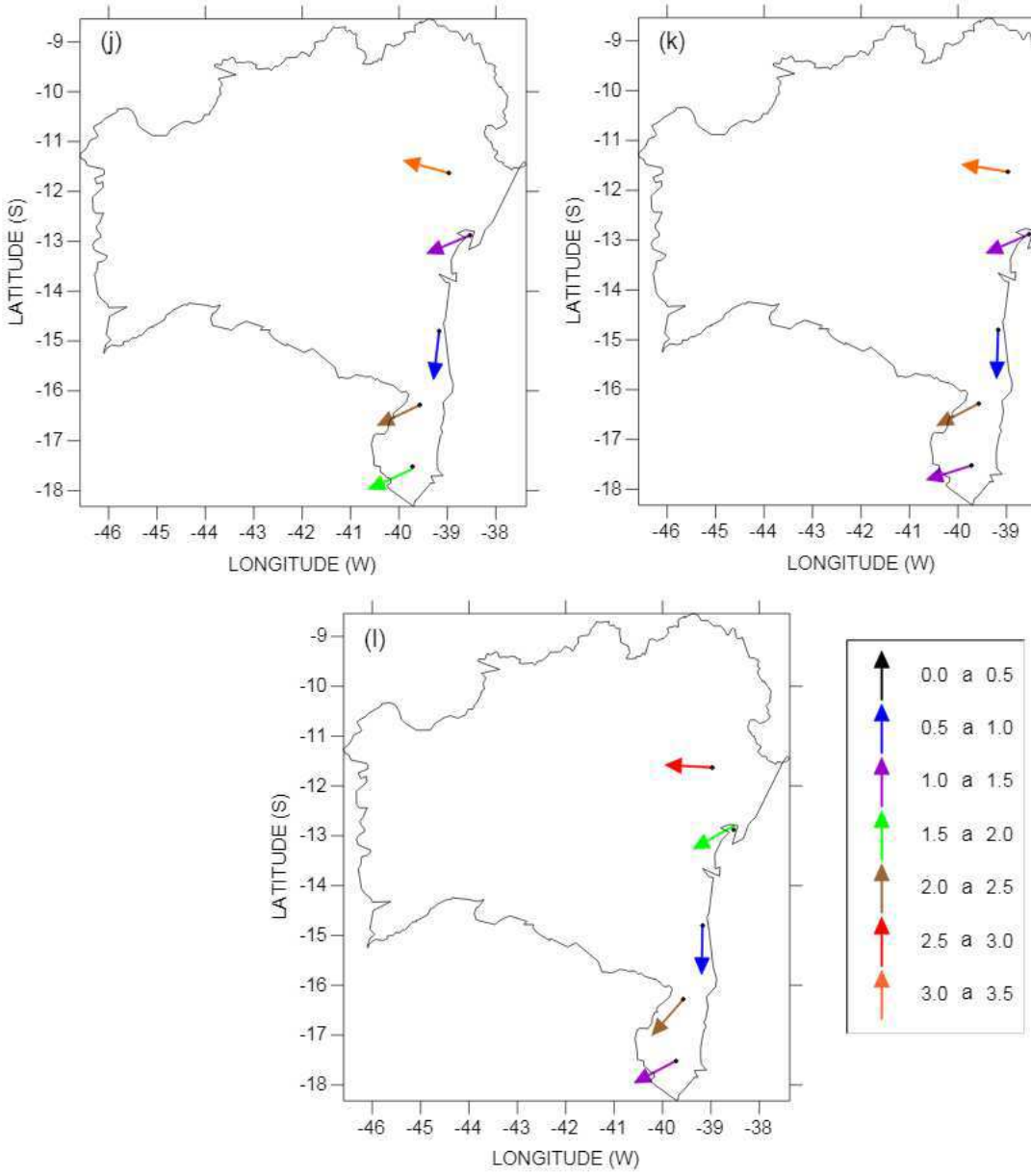

Figura 4.1 – Conclusão

4.2. Padrões de Variabilidade do Vento à Superfície

Nesta seção são discutidos os resultados obtidos através da análise de componentes principais (ACP) da componente u e da componente v, em separado, utilizando médias do conjunto dos cinco anos (2000, 2002, 2005, 2006 e 2007), das cinco localidades, para os seguintes trimestres: fevereiro-março-abril (FMA), maio-junho-julho (MJJ), agosto-setembro-

outubro (ASO) e novembro-dezembro-janeiro (NDJ). O critério usado na escolha desses trimestres foi discutido na subseção 3.2.1.

4.2.1 Análise Temporal da Componente Zonal

A seguir são mostradas as correlações temporais trimestrais das duas primeiras componentes principais da componente zonal do vento à superfície (CZV), que explicam 99,4% da variância total. Na Figura 4.2, o primeiro fator comum temporal explica 96,1% da variância, exibindo correlações entre 0,51 e 0,86, enquanto que o segundo fator comum temporal explica 3,3% da variância, com correlações entre 0,51 e 0,86. Observando as correlações para os dois fatores comuns temporais, constata-se que para o primeiro fator comum temporal as maiores correlações estão nos trimestres NDJ e FMA, enquanto que para o segundo fator elas estão em MJJ e ASO, o que sugere influência da ZCAS e dos VCAS/VCAN (trimestres NDJ e FMA), e dos distúrbios de leste (trimestres MJJ e ASO). Além desses sistemas meteorológicos, há também a contribuição do ASAS e dos sistemas frontais durante todo o ano.

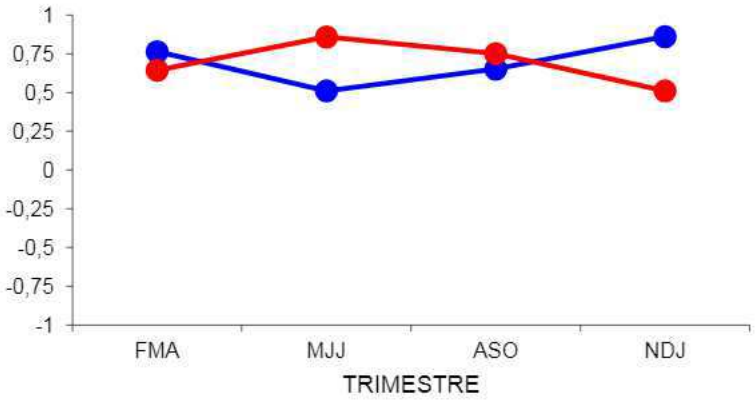

Figura 4.2 – Correlações do primeiro (azul) e segundo (vermelho) fatores comuns temporais da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

Os padrões de variabilidade espacial das duas primeiras componentes principais (CP) da componente zonal do vento são mostrados na Figura 4.3. A primeira CP (Figura 4.3a) associada a este fator mostra contribuições positivas em Eunápolis e Ilhéus, com valor máximo de 1,34 em Ilhéus. As contribuições negativas são registradas em Salvador, Teixeira

de Freitas e Serrinha, com valor mínimo de -1,24 na última. Esse padrão de contribuições positivas e negativas indica que há contraste entre as estações com contribuições de sinais opostos devido a sistemas atmosféricos como os VCAS/VCAN (estações localizadas na parte norte) e ZCAS/sistemas frontais (estações localizadas na parte sul). A segunda CP (Figura 4.3b) associada a este fator mostra contribuições positivas em Teixeira de Freitas, Ilhéus e Salvador, com valor máximo em 1,17 na última, enquanto que em Serrinha e Eunápolis as contribuições são negativas, com valor mínimo de -1,34 na última. Esta componente sugere a resposta local a sistemas atmosféricos como o ASAS, os distúrbios de leste e os sistemas frontais.

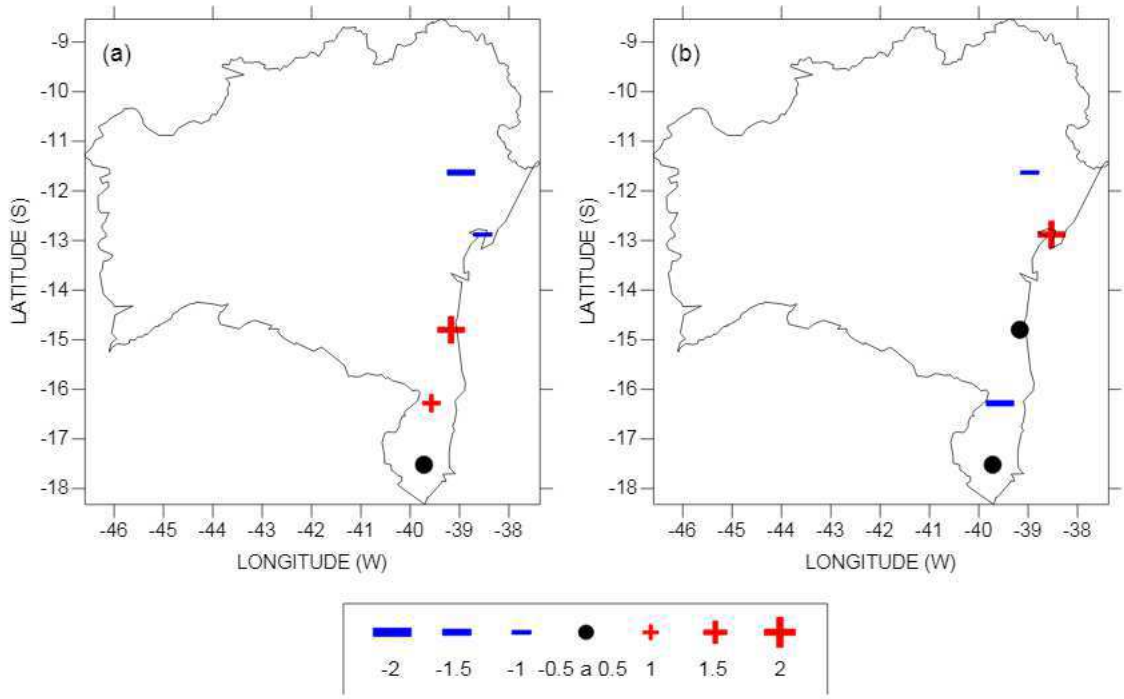

Figura 4.3 – Padrões de variabilidade espacial do primeiro (a) e segundo (b) fatores comuns temporais da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. As contribuições positivas estão representadas pelo símbolo (+) e as negativas pelo símbolo (-). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

4.2.2 Análise Temporal da Componente Meridional

A seguir são mostradas as correlações temporais trimestrais das duas primeiras componentes principais da componente meridional do vento à superfície (CMV), que explicam 99,6% da variância total. Na Figura 4.4, o primeiro fator comum temporal explica

92,4% da variância, exibindo correlações entre 0,41 e 0,92, enquanto que o segundo fator comum temporal explica 7,2% da variância, com correlações entre 0,38 e 0,91. A partir das correlações dos dois fatores comuns temporais, constata-se que a componente meridional exibe variação sazonal semelhante a da componente zonal, porém a componente principal com correlação mais alta em cada trimestre difere entre as duas componentes do vento. Assim, as correlações mais altas do primeiro fator comum temporal estão nos trimestres MJJ e ASO, enquanto que para o segundo fator comum temporal o valor mais alto está em NDJ. Os dois fatores comuns temporais tem correlações iguais em FMA.

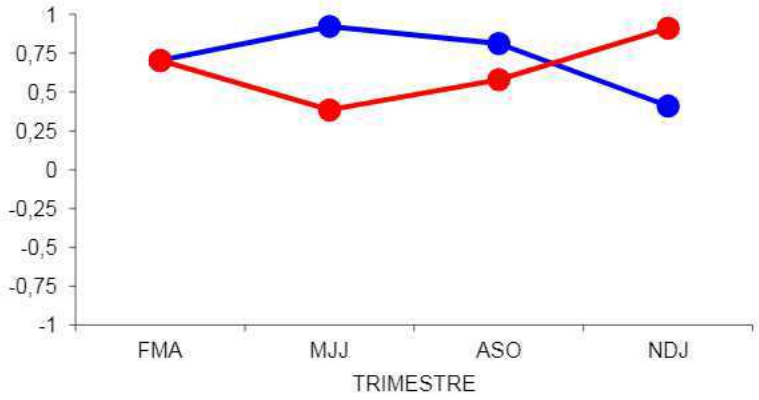

Figura 4.4 – Correlações do primeiro (azul) e segundo (vermelho) fatores comuns temporais da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

Os padrões de variabilidade espacial das duas primeiras componentes principais (CP) da componente meridional do vento são mostrados na Figura 4.5. A primeira CP associada a este fator (Figura 4.5a) mostra contribuições positivas em Eunápolis e Serrinha, com valor máximo de 1,16 na última. As contribuições negativas são registradas em Salvador, Teixeira de Freitas e Ilhéus, com valor mínimo de -1,34 na última. Esse padrão de contribuições positivas e negativas indica que a componente meridional tem variabilidade semelhante no norte e no extremo sul do estado, em contraste com Ilhéus. Essa distribuição espacial indica que a interação entre o ASAS e os distúrbios de leste e sistemas frontais na área norte, e o ASAS e os sistemas frontais na área sul, é determinante na variabilidade do vento representada por este fator. A segunda CP (Figura 4.5b) associada a este fator mostra contribuições positivas em Ilhéus, Teixeira de Freitas e Serrinha, com valor máximo de 1,24 na última, e contribuições negativas em Salvador e Eunápolis, com valor mínimo de -1,54 na

última. O contraste entre as áreas norte e sul do estado indicado por essa distribuição sugere a resposta local aos sistemas atmosféricos que atuam no trimestre NDJ, principalmente.

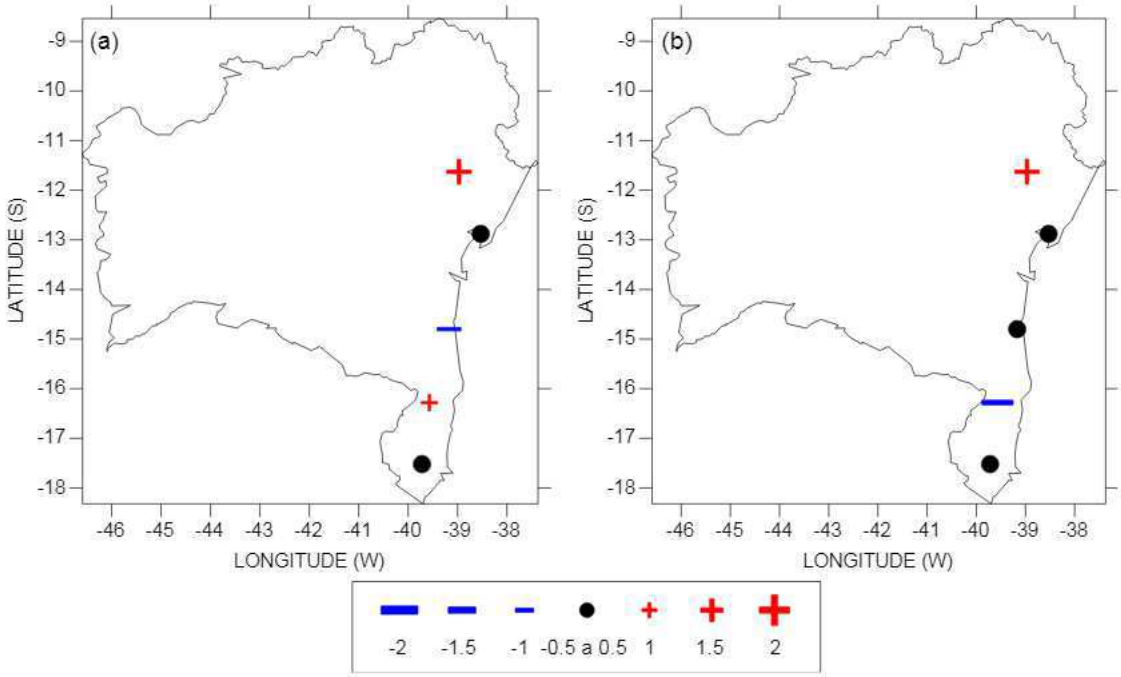

Figura 4.5 – Padrões de variabilidade espacial do primeiro (a) e segundo (b) fatores comuns temporais da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. As contribuições positivas estão representadas pelo símbolo (+) e as negativas pelo símbolo (-). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

4.3 Regionalização do Vento à Superfície

A seguir são apresentados os resultados da análise de agrupamento realizada com os fatores comuns temporais da componente zonal e da componente meridional do vento, separadamente. O agrupamento foi realizado usando a distância euclidiana como medida de distância e a classificação hierárquica ascendente baseada no critério de inércia intraclasse proposto por Ward (1963) tendo em vista que mostraram bons resultados nos estudos de Correia (2000) e Barreto (2001).

4.3.1 Regionalização da Componente Zonal

O agrupamento das estações foi realizado a partir dos dois fatores comuns temporais mais significativos da CZV, que explicaram 99,4% da variância total. Utilizando a curva de inércia (Figura 4.6), foi feito um corte no dendrograma (Figura 4.7), resultando em três (03) grupos homogêneos da CZV ilustrados na Figura 4.8. As séries temporais dos valores médios trimestrais da CZV das estações que constituem cada grupo são mostradas na Figura 4.9. As características dos grupos são descritas a seguir.

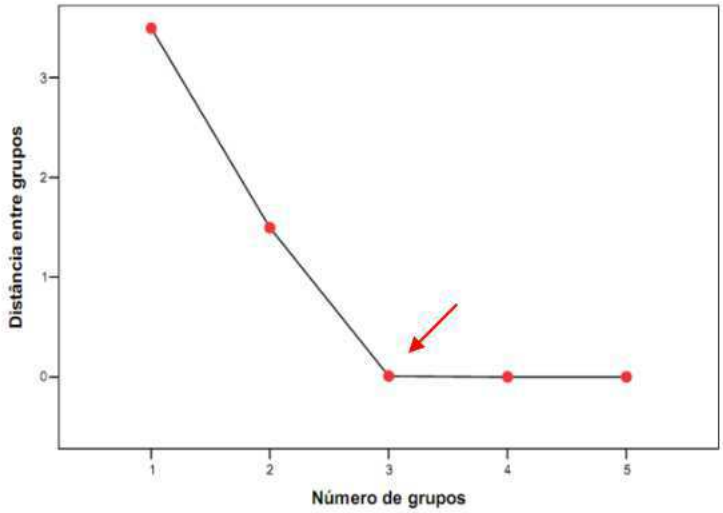

Figura 4.6 – Curva de inércia referente à componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. A seta indica o número de grupos retidos.

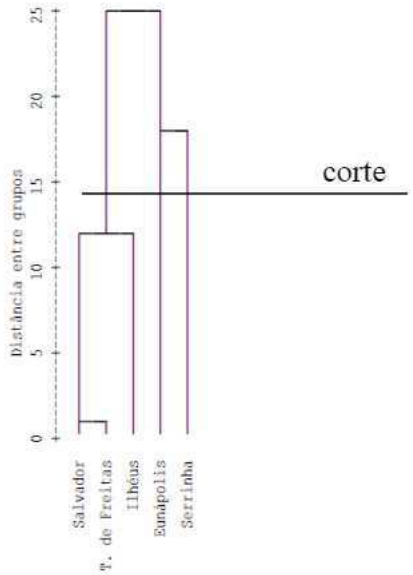

Figura 4.7 – Dendrograma resultante do agrupamento da componente zonal do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward.

O Grupo I está constituído apenas por Serrinha (Figura 4.8). A Figura 4.9a ilustra que a CZV é de leste nessa estação (valores negativos), e que atinge valor máximo no trimestre NDJ, com intensidade de 2,81 ms^{-1}, e mínimo no trimestre MJJ, com 0,74 ms^{-1}. Este grupo mostra os maiores valores da CZV.

O Grupo II está constituído por Salvador, Ilhéus e Teixeira de Freitas (Figura 4.8). A Figura 4.9b ilustra a série temporal da média trimestral da CZV das três estações em conjunto, mostrando valores negativos (componente de leste), com intensidade menor do que 1 ms^{-1}. A média trimestral da CZV é máxima no trimestre NDJ, com intensidade de 0,91 ms^{-1}, e mínima no trimestre MJJ, com 0,13 ms^{-1}.

O Grupo III está constituído apenas por Eunápolis (Figura 4.8). A Figura 4.9c ilustra a série temporal das médias trimestrais que também apresenta valores negativos como nos grupos anteriores (componente de leste). A CZV é máxima no trimestre NDJ, com valor de 1,65 ms^{-1}, e mínima no trimestre MJJ, com valor de 0,63 ms^{-1}.

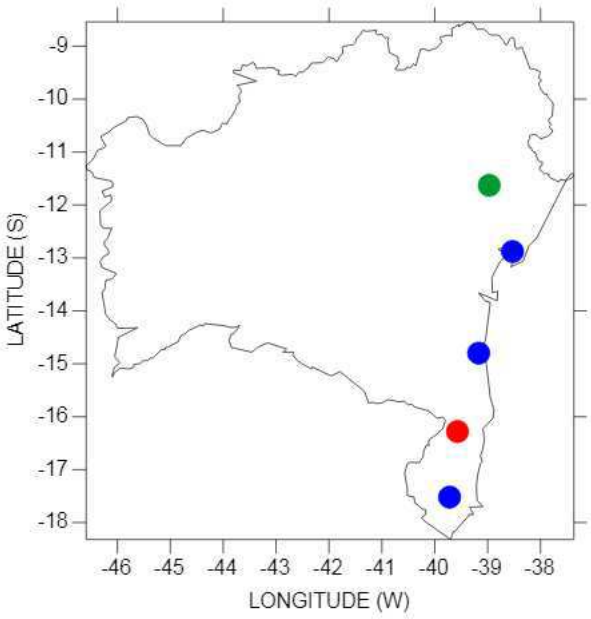

Figura 4.8 – Zoneamento da componente zonal do vento à superfície representado pelo primeiro (verde), segundo (azul) e terceiro (vermelho) grupos, a partir dos dois primeiros fatores comuns temporais em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

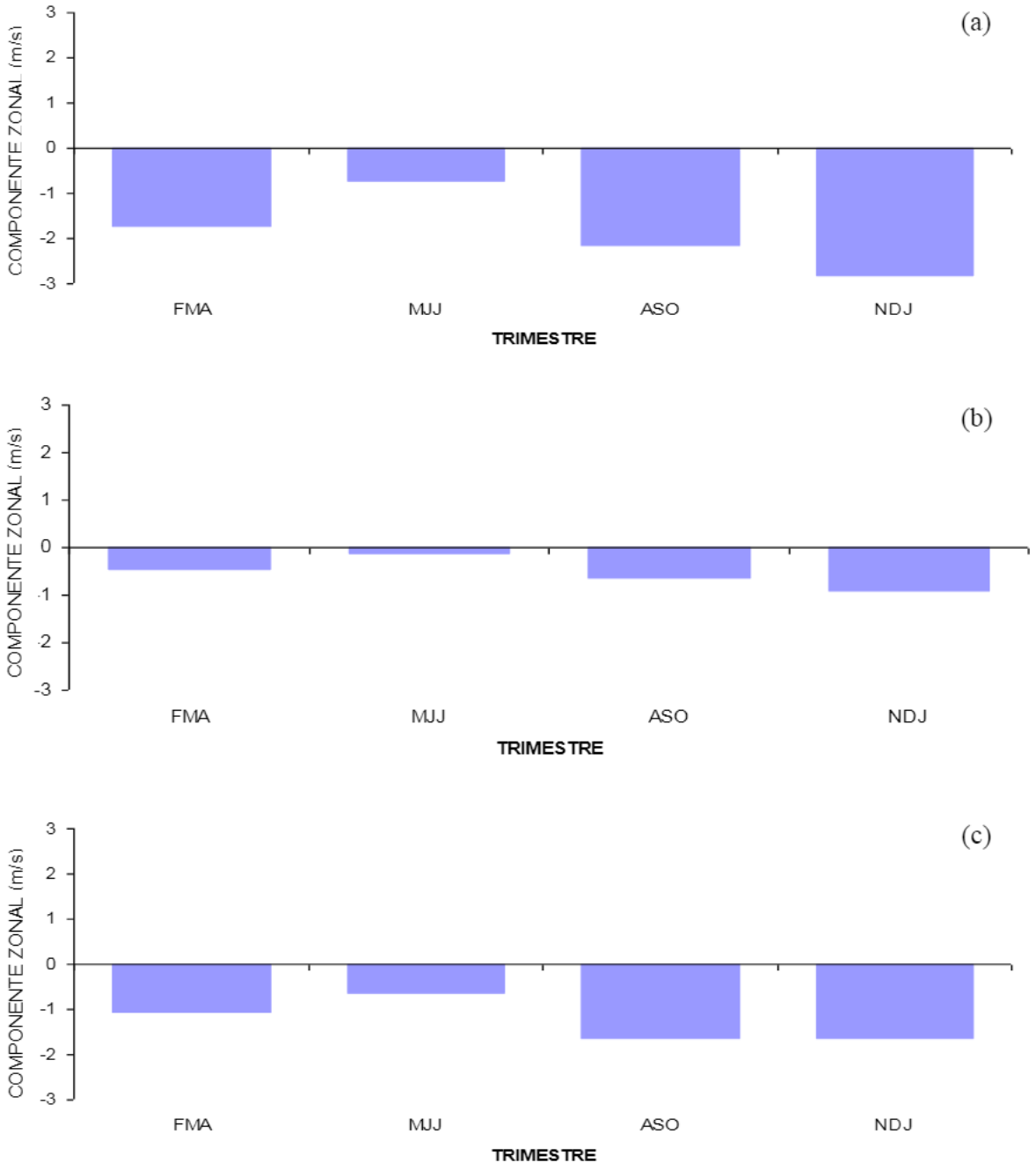

Figura 4.9 – Série temporal das médias trimestrais da componente zonal do vento à superfície (ms^{-1}) do primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) grupos. Os valores negativos representam componente zonal de leste. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

4.3.2 Regionalização da Componente Meridional

O agrupamento das estações foi feito a partir dos dois fatores comuns temporais mais significativos da CMV, que explicaram 99,6% da variância total das médias trimestrais. Utilizando a curva de inércia (Figura 4.10), foi feito um corte no dendrograma (Figura 4.11), resultando em três (03) grupos homogêneos da CMV (Figura 4.12). As séries temporais dos valores médios trimestrais da CMV das estações que constituem cada grupo são mostradas na Figura 4.13. As características dos grupos são descritas a seguir.

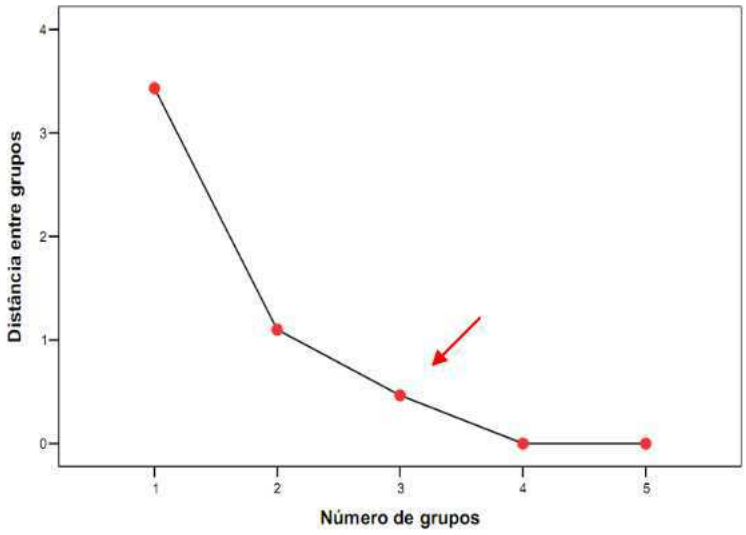

Figura 4.10 – Curva de inércia referente à componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia. A seta indica o número de grupos retidos.

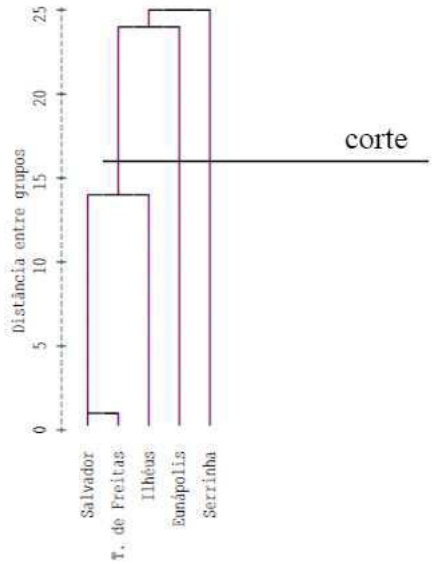

Figura 4.11 – Dendrograma resultante do agrupamento da componente meridional do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward.

O Grupo I está constituído apenas por Serrinha (Figura 4.12). A Figura 4.13a ilustra a série temporal das médias trimestrais da CMV dessa estação, que mostra valores positivos, indicando que a componente é de sul durante todo o ano. A média trimestral da CMV é máxima no trimestre MJJ, com valor de 1,85 ms^{-1}, e mínima no trimestre NDJ, com valor de 0,37 ms^{-1}. Este grupo apresenta os maiores valores da CMV. O padrão de variabilidade diferenciado da componente meridional sugere a canalização do vento pela topografia na área dessa estação.

O Grupo II está constituído pelas estações de Salvador, Ilhéus e Teixeira de Freitas (Figura 4.12). A Figura 4.13b ilustra a série temporal das médias trimestrais da CMV desse grupo; apenas o trimestre MJJ mostra valores positivos, indicando que a componente é de sul nesse trimestre, sendo de norte nos demais. A intensidade da CMV é máxima no trimestre NDJ, com valor de 0,71 ms^{-1}, e mínima no trimestre MJJ, com valor de 0,21 ms^{-1}. Este grupo apresenta as intensidades mais baixas da CMV.

O Grupo III está constituído por Eunápolis (Figura 4.12). A Figura 4.13c ilustra a série temporal das médias trimestrais da CMV dessa estação, exibindo alternância entre valores positivos e negativos. A CMV é máxima (de norte) no trimestre NDJ, com valor de 1,27 ms^{-1}, e mínima (de norte) no trimestre ASO, com valor de 0,19 ms^{-1}.

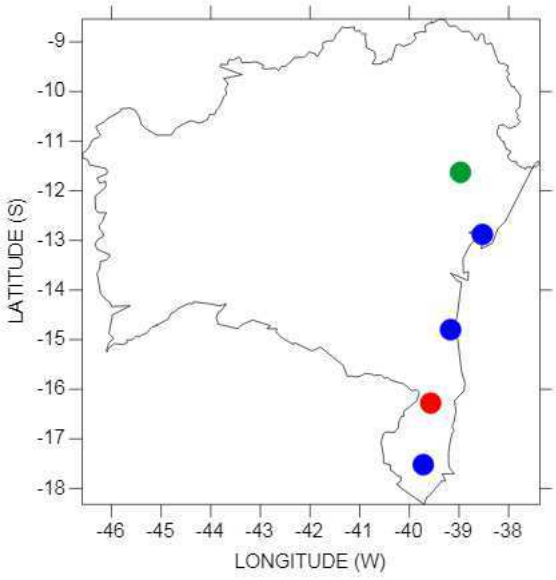

Figura 4.12 – Zoneamento da componente meridional do vento à superfície representado pelo primeiro (verde), segundo (azul) e terceiro (vermelho) grupos, a partir dos dois primeiros fatores comuns temporais em mesorregiões do estado da Bahia, utilizando o método de Ward. (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

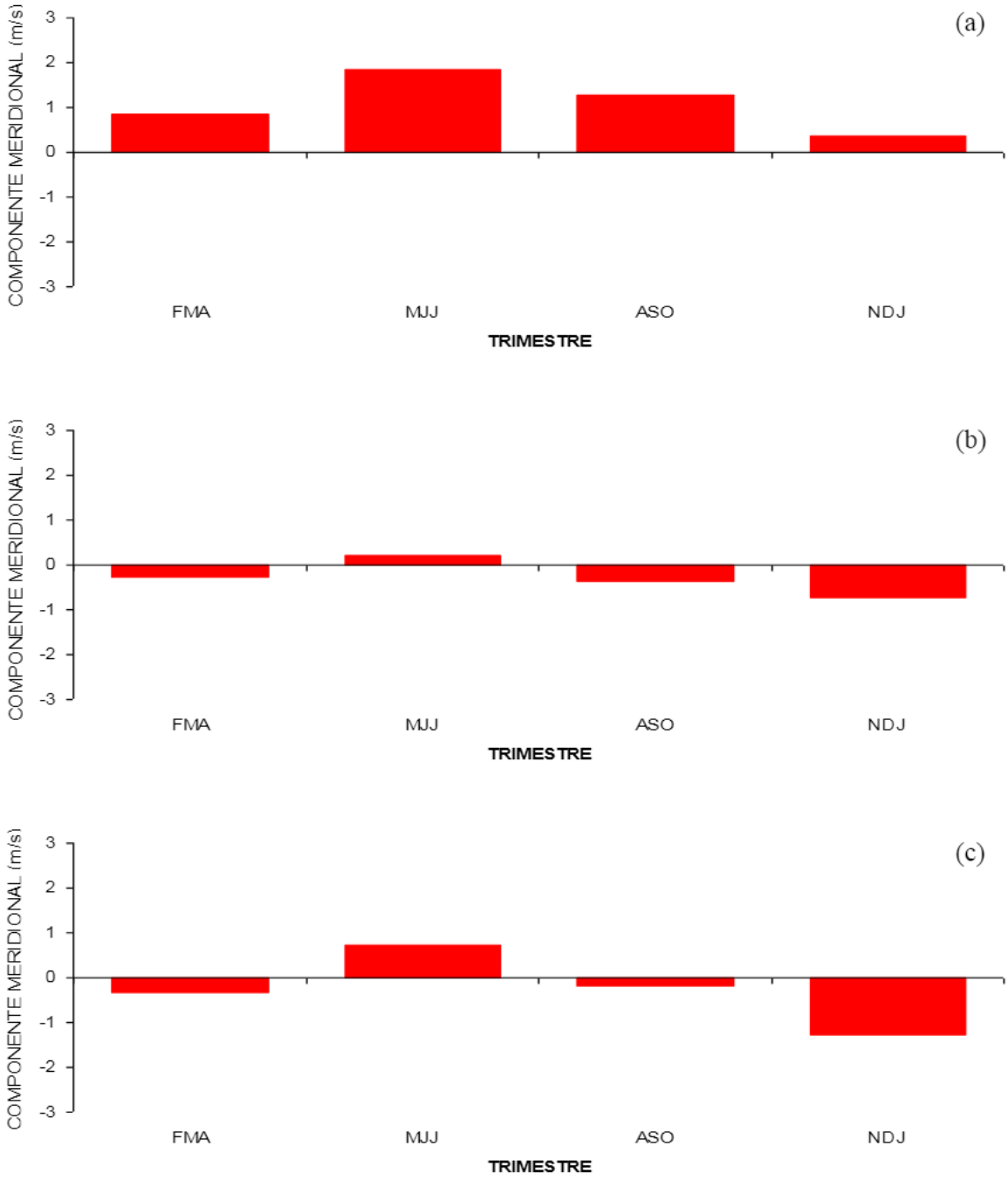

Figura 4.13 – Série temporal das médias trimestrais da componente meridional do vento à superfície (ms^{-1}) do primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) grupos. Os valores positivos (negativos) representam componente meridional de sul (norte). (*Fonte dos dados: Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)*)

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho a variabilidade do vento à superfície em mesorregiões do estado da Bahia é investigada através de técnicas de análise multivariada (análise de componentes principais e análise de agrupamento) com o objetivo de identificar padrões temporais de variabilidade de médias trimestrais de um período de cinco anos. Concluiu-se que:

- O anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é determinante para a variabilidade do vento na escala de tempo sazonal, influenciada também por outros sistemas atmosféricos em épocas e áreas específicas (ZCAS, VCAS/VCAN, distúrbios de leste) e pelos sistemas frontais austrais ao longo do ano;
- A variância total das médias trimestrais da componente zonal do vento (CZV) teve 99,4% explicados pelas duas primeiras CP's, com 96,1% e 3,3%, respectivamente;
- A variância total das médias trimestrais da componente meridional do vento (CMV) teve 99,6% explicados pelas duas primeiras CP's, com 92,4% e 7,2%, respectivamente;
- A aplicação da análise de agrupamento aos fatores comuns temporais mais significativos através do método de Ward e distância euclidiana resultou em três grupos homogêneos, tanto para a CZV quanto para a CMV;
- As estações de Salvador, Ilhéus e Teixeira de Freitas constituíram um grupo homogêneo;
- As estações de Serrinha e Eunápolis constituíram grupos homogêneos isolados caracterizados por velocidades mais altas, com destaque para Serrinha, o que sugere a importância de fatores locais como o aspecto do relevo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKAWA, M.; HIRAKI, T.; EIHO, J. Grouping and representativeness of monitoring stations based on wind speed and wind direction data in urban areas of Japan. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 136, p. 411-418, 2008.

ANJOS, B. L.; SOBRAL, Z. R. Vórtice ciclônico sobre o Nordeste do Brasil – novembro de 1986. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, 1992, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1992. p. 691-695. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M; SANTOS, A.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.

BARRETO, A. B. **Estudo do ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil**. 2001. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

BLANCO, C. M. R.; GANDÚ, A. W.; MELLO, E. N. G. S. A atuação do vórtice ciclônico de ar superior na Região Nordeste do Brasil durante o mês de janeiro de 1996: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1996. v. 1, p. 434-438.

BRAGA, C. C.; MELO, L. D. de; MELO, E. C. S. Análise de agrupamento aplicada à distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, CONGRESSO DA FLISMET, 8, 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1998. 1 CD-ROM.

BURLANDO, M.; ANTONELLI, M.; RATTO, C. F. Mesoscale wind climate analysis: identification of anemological regions and wind regimes. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 629-641, 2008.

CHOU, S. C.; CHAGAS, D. J.; PAIVA NETO, A. C.; VENTURA, G. M.; LYRA, A.; PEREIRA, E. B. Regime eólico de quatro estações no Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

CHU, P.-S., Diagnostics studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 1655-1664, 1983.

CORREIA, A. A. **Padrões de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil**. 2000. 66 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CORRAR, L. J; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada - Para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2007. 344p.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SILVA ARAGÃO, M. R. Análise da variabilidade do vento e estimativa do potencial eólico no município de Mata Grande-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2, CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE LA ISES, 3, 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABENS, 2008. 1 CD-ROM.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SILVA ARAGÃO, M. R. Análise da variabilidade sazonal do vento no aeroporto de Maceió–AL. Parte II - magnitude e potencial eólico. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 6., 2009, Santa Maria. **Anais…** Santa Maria: UFSM, 2009. 1 CD-ROM.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. 3. ed. New York: Ed. John Wiley & Sons Inc., 1993. 170p.

FRENZEL, C. W. Diurnal wind variations in Central California. **Journal of Applied Meteorology**, v. 1, p. 405-412, 1962.

GONG, X.; RICHMAN, M. B. On application of cluster analysis to growing season precipitation data in the North America east of the Rockies. **Journal of Climate**, v. 8, p. 897-931, 1995.

GREEN, M. C.; FLOCCHINI, R. G.; MYRUP, L. O. Use of temporal principal components analysis to determine seasonal periods. **Journal of Applied Meteorology**, v. 32, p. 986-995, 1993.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Mapa do relevo do Estado da Bahia. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/. Acesso em: fev. 2010.

JIMÉNEZ, P. A.; GONZÁLEZ-ROUCO, F.; MONTÁVEZ, J. P.; NAVARRO, J.; GARCÍA-GUSTAMANTE, E.; VALERO, F. Surface wind regionalization in complex terrain. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, p. 308-325, 2008.

KALKSTEIN, L. S.; TAN, G.; SKINDLOV, J. A. An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 26, p. 717-730, 1987.

KAUFMANN, P.; WHITEMAN C. D. Cluster-analysis classification of wintertime wind patterns in the Grand Canyon region. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 1131-1147, 1999.

KASSOMENOS, P. A.; SINDOSI, O. A.; LOLIS, C. J. Seasonal variation of the circulation types occurring over southern Greece: a 50 yr study. **Climate Research**, v. 24, p. 33-46, 2003.

KLINK, K. Climatological means and interannual variance of United States surface wind speed, direction and velocity. **International Journal of Climatology**, v. 19, p. 471-488, 1999.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

MARTNER, B. E.; MARWITZ, J. D. Wind characteristics in southern Wyoming. **Journal of Applied Meteorology**, v. 21, p. 1815-1827, 1982.

MOSCATI, M. C. L.; GAN, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 493-512, 2007.

OLIVEIRA SILVA, P. K.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Rajadas de vento na região metropolitana de Salvador, Bahia. **Ciência e Natura**, v. 10, p. 185-188, 2009.

PAIVA NETO, A. C.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Distúrbio de leste no Nordeste do Brasil: o caso de fevereiro de 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.

RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1754-1763, 1993.

SANTOS, A. H. M. **Eventos extremos de chuva em Salvador, Bahia: condições atmosféricas e impactos ambientais**. 2008, 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; DANTAS, R. T. Potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 431-439, 2002.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

WEBER, R. O.; FURGER, M. Climatology of near-surface wind patterns over Switzerland. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 809-827, 2001.

WILKS, D. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. London: Ed. Academic Press, London, 2005. 592p.