CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NA CIDADE DE MACAÉ, RJ

ROBERTO LUIZ AGUIEIRAS JUNIOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO – 2011

CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NA CIDADE DE MACAÉ, RJ

ROBERTO LUIZ AGUIEIRAS JUNIOR

Monografia apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof[a] Francisca Maria Alves Pinheiro

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO – 2011

CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NA CIDADE DE MACAÉ, RJ

ROBERTO LUIZ AGUIEIRAS JUNIOR

Monografia apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em 20 de Dezembro de 2011.

Comissão Examinadora:

Prof. Milton Erthal Junior (D.Sc. Produção Vegetal) – IFF/Campus Guarus

Prof. José Carlos Mendonça (D.Sc. Produção Vegetal) – LAMET/UENF
(Co-orientador)

Prof[a] Francisca Maria Alves Pinheiro (Ph.D. Metereologia) – LAMET/UENF
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

A duas pessoas que se dedicaram incondicionalmente para que eu chegasse até aqui, minha mãe Tânia e minha avó Maria da Conceição.
À memória de meu pai Roberto Luiz Aguieiras.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela permissão concedida para a realização deste sonho.

À minha família pelo apoio, em especial a minha mãe e avó que sempre estiveram ao meu lado, incondicionalmente.

Ao meu filho Gabriel, que deu significado a minha vida num momento tão delicado, e mesmo ainda tão pequenino demonstrou compreensão para eu adquirir força e coragem e retornar aos estudos.

A minha sogra Celi Santos de Castro por cuidar com tanto amor do Gabriel.

A minha irmã Roberta que apesar de desligada, me surpreendeu nos momentos mais difíceis.

Ao professor José Carlos Mendonça pelo convite ao trabalho, pela confiança em mim e por seu esforço incomum para a conclusão desta monografia.

A professora Francisca Maria Pinheiro e o professor Milton Erthal Junior por terem me ajudado nesse momento tão importante.

Ao Rodrigo Muniz pelos esclarecimentos à distância.

Ao professor Silvaldo Felipe Silveira pelas inúmeras vezes em que demonstrou boa vontade e empenho me ajudando nos meus reveses.

Ao professor Luís Humberto Castilho Estrada por me avaliar por videoconferência durante o amparo.

Ao professor Cláudio Roberto Marciano também por não medir esforços para que eu cursasse sua disciplina à distância.

Aos membros do núcleo de Johrei de Cachoeiro de Itapemirim.

Ao meu primo Alberto Barreto Aguieiras que me trouxe pela primeira vez na UENF para o vestibular.

A minha tia Maria da Graça Aguieiras Barreto pela acolhida em sua casa em tempos difíceis.

Aos tios Jorge Carlos Fernandes e Joivan Fernandes pelo apoio financeiro.

Ao professor César Sanfim Vasconcelos pela bolsa de pré-vestibular.

Ao avanço da medicina e em especial a dois médicos, Dr. Juliano Paradela do Carmo e Dr.ª Patrícia Cotta Lovatti por terem prolongado a minha existência.

Aos amigos do peito que ao lerem esta página reconhecerão seus nomes implícitos aqui.

A minha esposa Priscila Castro Aguieiras por estar sempre ao meu lado para o que der e vier.

As adversidades pelas lições de vida.

SUMÁRIO

Dedicatória..... ii
Agradecimentos..... iii
Sumário..... v
Resumo vii
1.Introdução..... 1
2.Revisão de literatura..... 5
2.1 A atmosfera em movimento..... 5
2.2 A camada limite planetária (CLP)..... 6
2.3 Escala espacial de formação dos ventos..... 6
2.3.1 Macroescala..... 7
2.3.2 Mesoescala..... 7
2.3.3 Microescala..... 8
2.3.4 Medida do vento..... 8
2.3.5 Escala de velocidade dos ventos..... 9
2.4 Direção predominante do vento..... 9
2.5 Importância do estudo do vento..... 10
3. Material e métodos 14
3.1 Área de estudo..... 14
3.2 Torre anemométrica..... 16
3.3 Avaliação do regime do vento..... 17
4. Resultados e discussão..... 19
4.1 Perfil vertical do vento 19
4.2 Velocidade média mensal..... 20
4.3 Velocidade média mensal dos vento máximo..... 23
4.4 Velocidade média mensal dos vento mínimo..... 26
4.5 Rosa dos ventos do período de estudo..... 29
4.6 Rosa dos ventos mensal..... 30
4.6.1 Rosa dos ventos mensal a 25 m..... 30

4.6.2 Rosa dos ventos mensal a 15 m..... 30
4.6.3 Rosa dos ventos mensal a 12 m..... 31
4.6.4 Rosa dos ventos mensal a 6 m..... 31
4.6.5 Rosa dos ventos mensal a 3 m..... 31
4.7 Direção e velocidade do vento..... 32
4.7.1 Direção e velocidade média do período de estudo..... 32
4.7.2 Direção e velocidade máxima do período de estudo..... 33
4.7.3 Direção e velocidade mínima do período de estudo..... 33
4.8 Direção e velocidade média mensal..... 34
4.8.1 Direção e velocidade média do vento a 25 m..... 35
4.8.2 Direção e velocidade média do vento a 15 m..... 35
4.8.3 Direção e velocidade média do vento a 12 m..... 35
4.8.4 Direção e velocidade média do vento a 6 m..... 35
4.8.5 Direção e velocidade média do vento a 3 m..... 36
4.9 Direção e velocidade máxima mensal 36
4.9.1 Direção e velocidade máxima mensal a 25 m..... 36
4.9.2 Direção e velocidade máxima mensal a 15 m..... 37
4.9.3 Direção e velocidade máxima mensal a 12 m..... 37
4.9.4 Direção e velocidade máxima mensal a 6 m..... 37
4.9.5 Direção e velocidade máxima mensal a 3 m..... 38
4.10 Direção e velocidade mínima mensal 38
4.10.1 Direção e velocidade mínima mensal a 25 m..... 38
4.10.2 Direção e velocidade mínima mensal a 15 m..... 39
4.10.3 Direção e velocidade mínima mensal a 12 m..... 39
4.10.4 Direção e velocidade mínima mensal a 6 m..... 39
4.10.5 Direção e velocidade mínima mensal a 3 m..... 40
4.11 Distribuição da velocidade do período de estudo..... 41
4.12 Direção dos picos máximos do período de estudo..... 43
4.13 Distribuição mensal dos picos máximos..... 45
4.14 Freqüência horária dos picos máximos..... 47
4.15 Caracterização dos períodos de calmaria..... 48
4.15.1 Freqüência horária dos períodos de calmaria..... 49
5 Conclusões..... 50
6 Recomendações..... 52
7 Referências bibliográficas 53
8 Anexo 57
9 Apêndice..... 98

RESUMO

AGUIEIRAS JUNIOR, Roberto Luiz, Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; dezembro de 2011; Caracterização Preliminar da Direção e Velocidade dos Ventos na Cidade de Macaé, RJ. Orientadora: Prof.ª Francisca Maria Alves Pinheiro, Co-orientador: Prof.º José Carlos Mendonça e Prof.º Valdo da Silva Marques.

Neste trabalho é apresentado a caracterização preliminar dos ventos na cidade de Macaé, RJ, com base nos dados coletados em uma torre anemométrica de 25 m de altura e 5 níveis de monitoramento, respectivamente a 3, 6, 12, 15 e 25 m de altura instalada no Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LAMET/CCT/UENF). Para os registros de velocidade e direção do vento foram utilizados 1 (um) anemômetro sônico bi-direcional e 4 (quatro) anemômetros de hélice Young Mariner. Os dados avaliados correspondem aos valores médios, máximos e mínimos registrados em intervalos de 15 e 20 minutos durante os meses de setembro de 2009 a agosto de 2011. Os meses de janeiro, fevereiro e setembro apresentaram as maiores médias de velocidade em comparação aos demais meses. Separados por direção, as maiores médias de velocidade média foram 3,4 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 3,7 m s^{-1} a 6 m na direção SE, 4,8 m s^{-1} a 12 m na direção E, 4,9 m s^{-1} a 15 m na direção E, 5,4 m s^{-1} a 25 m na direção E; as maiores médias de velocidade máxima foram 5,3 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 6,2 m s^{-1} a 6 m na direção E, 7,3 m

s^{-1} 12 m na direção E, 7,2 m s^{-1} 15 m na direção E, 8,3 m s^{-1} 25m na direção O; as maiores médias de velocidade mínima foram 1,6 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 1,8 m s^{-1} a 6 m na direção SE, 2,2 m s^{-1} 12 m na direção E, 2,4 m s^{-1} 15 m na direção E, 2,8 m s^{-1} 25 m na direção E. Ventos com velocidade acima de 9 m s^{-1} apresentaram maiores freqüências nos meses de setembro, outubro e novembro. A direção predominante do período em todos os níveis foi nordeste, que junto com leste apresentaram maiores velocidades médias e freqüências.

1. INTRODUÇÃO

No início do segundo milênio, fontes de energia como o vento, a água e a lenha dominavam a produção de calor e de força motriz. Em épocas recentes novas fontes de energia como o carvão mineral, a energia nuclear e o petróleo substituíram essas fontes tradicionais. Na década de 1970 aconteceu o ressurgimento das energias renováveis devido à crise do petróleo. O motivo de interesse pelas energias renováveis são assegurar a diversidade e a segurança no fornecimento de energia e proteger o ambiente da degradação gerada pelos combustíveis fósseis (Castro, 2008).

Segundo o mesmo autor, a energia eólica é vista hoje como uma das mais promissoras fontes de energias renováveis. As turbinas eólicas em pequenos grupos, ou em parques eólicos com quarenta e cinqüenta unidades que já são elementos habituais da paisagem em muitos países europeus como a Alemanha, Dinamarca, Holanda e mais recentemente no Reino Unido e na Espanha. Nos Estados Unidos da América a energia eólica se desenvolveu principalmente no Estado da Califórnia com a instalação massiva de parques eólicos a partir da década de 1980.

No ano de 1976 foi instalada na Dinamarca, a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública. Hoje em dia, existem mais de 30 mil

turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas foram cumpridas antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). Nos Estados Unidos da América, a potência instalada do parque eólico é da ordem de 4.600 MW e com um crescimento anual em torno de 10%. Estima-se que em 2020 o mundo terá 12% da energia elétrica de origem eólica, com uma capacidade instalada de mais de 1.200 GW (Wind Force, 2003).

Em alguns países e regiões, esse tipo de energia já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida. Na Dinamarca, representa 18% de toda a eletricidade gerada e a meta é aumentar essa parcela para 50% até 2030. Na Alemanha, cerca de 25% do parque de energia elétrica instalado é de origem eólica. Na Espanha, na região de Navarra essa parcela é de 23%. (Wind Force, 2003).

Macedo (2003) cita que existem oportunidades de melhoramentos tecnológicos bem identificados internacionalmente que deverão levar ainda a reduções de custo, o que permitirá estabelecer metas bastante ambiciosas para a instalação de sistemas de geração nos próximos 30 anos.

No Brasil, a capacidade instalada até 2003 era de 22 MW com a participação de diversos grupos nacionais estrangeiros, especialmente da Alemanha e Dinamarca.

Segundo Carvalho e Santos (2010), no Brasil essas fontes de energia vêm tendo destaque devido ao Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) descrito no Decreto nº 5.024, de 2004. Segundo o Ministério de Minas e Energia, este programa tem o objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com bases em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Integrado Nacional (SIN). Segundo a SEINFRACE (2010) o potencial eólico brasileiro é estimado em 143.000 MW, sendo que mais da metade desse montante está na Região Nordeste, ou seja, 75.000 MW.

No Brasil, os parques eólicos de Osório – RS formam o maior complexo gerador de energia a partir do vento na América Latina. O empreendimento tem uma potência instalada de 150 MW. São 75 aerogeradores de 2 MW cada, instalados no alto de torres de concreto com 100 m de altura. No ano de 1999

foram feitas as primeiras gestões e estudos prévios pela Enerfim Enervento para projetos eólicos no estado do Rio Grande do Sul. Em 2001, a empresa assinou um protocolo de intenções com o governo estadual para parques eólicos. Em seguida foram instaladas torres anemométricas para medir os ventos na região de Osório. O financiamento da obra foi feito pelo BNDES em setembro de 2005 e em dezembro de 2006 as obras já estavam concluídas, dentro dos prazos acordados. (Ventos do Sul Energia, 2011).

O Estado do Rio de Janeiro sedia, no município de São Francisco do Itabapoana, o seu primeiro parque eólico que também é o primeiro da região Sudeste. Com investimentos em torno de R$130 milhões, o parque possui 17 turbinas eólicas de 1,65 MW cada, somando uma potência de 28 MW, energia capaz de abastecer uma cidade de 80 mil habitantes. O empreendimento é da empresa brasileira Ecopart Ltda. Cada aerogerador tem 120 m de altura (torre com 80 m mais 40 m da pá da hélice). Para implantação do parque eólico foi necessário o estudo de aproximadamente um ano e meio para verificação da capacidade e do perfil dos ventos em todas as estações do ano. Os especialistas concluíram que o litoral de São Francisco de Itabapoana é propício para geração de energia eólica, devido à existência de vento constante durante todo o ano (PMSFI, 2011).

O segundo parque eólico em São Francisco do Itabapoana terá 85 super torres com turbinas eólicas e será cinco vezes maior que o primeiro. O custo estimado para a sua construção é de R$ 540 milhões e vai gerar 136 MW. A energia elétrica em corrente contínua que será convertida e distribuída para o porto e siderúrgica da Ferrous Ressources do Brasil que serão instalados no município de Presidente Kennedy, ES, sendo o excedente comercializado com Furnas Centrais Elétricas (Rede Presença, 2011).

Segundo o relatório final do balanço energético nacional, em 2011 a produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 2.176,6 GWh em 2010. Isto representa um aumento, em relação a do ano anterior, de 75,8%, quando se alcançou 1.238,0 GWh. Em 2010, a potência instalada para geração eólica no país aumentou 54,1%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2011) o parque eólico nacional cresceu 326 MW, alcançando 928 MW ao final de 2010, em decorrência da inauguração de catorze parques eólicos.

Devido a atual importância do estudo do vento, essa monografia teve por objetivo caracterizar, preliminarmente, a direção e a velocidade dos ventos na cidade de Macaé, RJ, localizado na Região Norte Fluminense entre o período de setembro de 2009 a agosto de 2011.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ATMOSFERA EM MOVIMENTO

O vento é o movimento de parcelas de ar nas atmosferas planetárias. Embora, o ar possa mover-se na direção vertical, a denominação “vento” é comumente aplicada apenas ao movimento horizontal, paralelo à superfície do planeta. Na meteorologia, a velocidade e a direção do vento, juntamente com a temperatura, a umidade e a pressão do ar atmosférico, são as variáveis mais importantes empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre (Martins et al., 2008).

A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer dois parâmetros: velocidade e direção, que são grandezas instantâneas, pois dependem de condições atmosféricas como o gradiente de pressão, originárias de deslocamentos de massas de ar com diferentes temperaturas. A incidência e a absorção dos raios solares é a principal causa do efeito de pressões diferentes (Pereira, 2002).

Segundo o mesmo autor, o ar quente tende a subir, pois é menos denso que o ar frio que tende a descer, e quanto maior for a diferença de temperatura maior será a velocidade de deslocamento da massa de ar. A massa de ar frio (alta

pressão) sempre avança para regiões mais aquecidas (baixa pressão). Como a região equatorial recebe maior radiação solar, esta é mais aquecida e apresenta menor pressão atmosférica que os polos. A velocidade do vento também é afetada pela rugosidade da superfície criada pelos seus obstáculos (vegetação, relevo, construções, etc). A direção dos ventos é resultante da composição das forças atuantes (gradiente de pressão, atrito e força de Coriolis), mas o relevo predominante na região também afeta a direção próxima à superfície.

2.2 A CAMADA LIMITE PLANETÁRIA (CLP)

A Camada Limite Planetária (CLP) é a parte menos baixa da atmosfera. Na CLP ocorre de maneira dominante o transporte turbulento de energia, vapor d´água e *momentum* entre a superfície e a atmosfera. Os fluxos turbulentos presentes na CLP são fortemente influenciados por fenômenos atmosféricos de grande escala e mesoescala e também pelos efeitos da interação deste escoamento com diferentes tipos de superfícies. Estes mecanismos fazem com que as escalas temporais e espaciais dos forçantes, responsáveis pelas estruturas turbulentas, variem de intensidade no tempo e no espaço (Corrêa, 2002).

Segundo o mesmo autor, quanto ao seu comportamento e a variação de suas estruturas turbulentas, a CLP pode ser classificada em estável, conectiva, e neutra, sendo que diferentes estudos observacionais e simulações numéricas realizados em diversas regiões do planeta, demonstrem que, no interior da Camada Limite Estável (CLE), existe normalmente uma estreita faixa vertical contendo ventos máximos que ocorrem em alturas de cerca de 100 metros ou mais, cujos valores são da ordem de 10 a 40 m s^{-1}.

2.3 ESCALA ESPACIAL DE FORMAÇÃO DOS VENTOS

Segundo Lutgens e Tarbuck (1995), os movimentos atmosféricos são enquadrados nas seguintes escalas de tempo e espaço:

- Microescala: dimensões de menos de 1 km e tempos de vida de segundos a minutos;
- Mesoescala: dimensões de 1 a 100 km e tempos de vida de minutos a dias;
- Escala sinótica: dimensões de 100-5.000 km e tempos de vida de dias a semana;
- Escala planetária: dimensões de 1.000-40.000 km e duração de semanas a anos.

O vento é um fenômeno atmosférico que ocorre simultaneamente nas três escalas características das condições do tempo: macro, meso e microescala.

2.3.1 MACROESCALA

Nessa escala está envolvida a movimentação de grandes massas de ar e os ventos estão associados à circulação geral da atmosfera, sendo função dos gradientes de pressão entre as grandes regiões.

- Entre os Trópicos e o Equador:
  Alísios de NE (Hem. Norte) e Alísios de SE (Hem. Sul).

Ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.

- Entre os Trópicos e as regiões Sub-Polares:

Ventos de Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os pólos.

- Regiões Polares:

Ventos de Leste: ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas.

2.3.2 MESOESCALA

Na mesoescala há variação diária e sazonal na direção e na velocidade dos ventos, devido a contrastes nas interfaces entre continente e oceano, configuração da bacia hidrográfica, topografia e orografia. Sendo os principais ventos:

- Brisas terrestre (durante a noite) e brisa marítima (durante o dia)
- Brisa de montanha ou catabática (durante a noite) e brisa de vale ou anabática (durante o dia)
- Ventos Foehn ou Chinook

2.3.3 MICROESCALA

O processo é semelhante ao da mesoescala, porém com menor magnitude do fenômeno. Os que causam essas diferenças de contraste são: áreas ensolaradas e sombreadas; objetos com diferentes coeficientes de absorção de radiação solar; áreas irrigadas e não-irrigadas, áreas cultivadas circundadas por terrenos sem vegetação.

2.3.4 MEDIDA DO VENTO

O módulo da velocidade do vento é normalmente expresso em metros por segundo (m s^{-1}), em quilômetros por hora (km h^{-1}), ou em knots (kt). Um knot (pronuncia-se nó) corresponde a uma milha náutica (1852 m) por hora.

1 m s^{-1} = 3,6 km h^{-1} 1 kt = 0,514 m s^{-1} 1 m s^{-1} = 1,944 kt

Os equipamentos medidores da velocidade do vento são os anemômetros. A velocidade é dada por um conjunto de três canecas ou de hélices. O número de giro das canecas ou hélices é proporcional à velocidade, sendo transformado em espaço percorrido por um sistema de odômetro. O espaço percorrido pelo tempo fornece a velocidade média, ou então forma um fluxo magnético no interior do gerador magnético surgindo uma tensão elétrica induzida que pode ser lida por um voltímetro. A voltagem obtida é proporcional à velocidade.

Mais moderno, o anemômetro sônico que pode ser bidirecional ou tridimensional que possui dois ou três conjuntos de emissores e receptores nas direções x, y e z, onde são determinados as componentes ortogonais da velocidade do vento, simultaneamente. Ainda o anemômetro de fio quente é

baseado no resfriamento da resistência do sensor, que indica a velocidade do vento.

2.3.5 ESCALA DE VELOCIDADE DOS VENTOS

A força do vento pode ser caracterizada de acordo com a interação com objetos naturais, resultando efeitos característicos em terra e mar. A escala de Beaufort pode ser usada de forma empírica, pois temos a percepção da velocidade do vento a partir dos elementos da natureza.

Escala de Beaufort. Quadro 1 (Apêndice)

2.4 DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS

A direção dos ventos é definida pelo seu ponto de origem, com 8 direções fundamentais: Norte = N; Nordeste = NE; Noroeste = NO; Sul = S; Sudeste = SE; Sudoeste = SO; Leste = E; e Oeste = O. Nos sensores digitais a direção é dada em graus, ou seja, os pontos cardeais são:

Tabela 1: Intervalos de direção do vento, em graus (º)

N	**NE**	**E**	**SE**	**S**	**SO**	**O**	**NO**
337,5	22,5	67,5	112,5	157,5	202,5	247,5	292,5
22,4	67,4	112,4	157,4	202,4	247,4	292,4	337,4

Fonte: Dallacort et al. (2010)

A cada intervalo por direção na tabela corresponde a um ângulo de 45º para cada direção. A partir de medidas contínuas de direção dos ventos, por períodos relativamente longos, pode-se elaborar uma tabela contendo direção, em cada hora do dia, e calcular a freqüência relativa dos ventos em cada direção, determinando a predominância da circulação atmosférica no local. A representação gráfica é feita na rosa dos ventos, que é um sistema de quatro eixos que cruzam o mesmo ponto, com um ângulo de 45º entre dois eixos adjacentes. Em cada ponta marca-se uma direção, sendo que o N vai na ponta superior do eixo vertical, e o S na ponta oposta. No eixo horizontal marca-se E à direita e O à esquerda. Os eixos diagonais representam as direções intermediárias (NO, NE, SO, SE). Marcando-se a freqüência relativa em cada

direção, e unindo seqüencialmente os pontos marcados obtém-se um polígono para região e período analisado (Pereira, 2002).

2.5 IMPORTÂNCIA DE ESTUDO DOS VENTOS

Silva (2008) cita que ventos moderados a fortes e contínuos podem ter efeitos diretos e indiretos na vegetação. Os efeitos diretos são as deformações provocadas pelo vento nas plantas e as consequentes modificações na forma de crescimento, quebra de galhos e de plantas inteiras. E os efeitos indiretos resultam de modificações no balanço hídrico das plantas e conteúdo de umidade, erodibilidade e outras propriedades dos solos. Conforme a espécie, na maioria dos casos, a intensidade do vento pode aumentar a transpiração, alterar o comportamento estomático e reduzir a taxa fotossintética. Em nível de área de cultivo, o vento pode provocar aumento da evapotranspiração e perda de água do ecossistema. O resultado final é a redução na produtividade dos cultivos.

O estudo da direção predominante dos ventos é importante para a implantação de quebra-ventos. Sua orientação é fundamental, devendo ser plantados perpendicularmente à direção dos ventos dominantes. Em áreas onde há mudança de direção, deve-se determinar o período em que a proteção é mais importante.

Para avaliação de planejamento urbano na tomada de decisão, como por exemplo, a demarcação de zonas industriais, é fundamental estabelecer critérios que minimizem o impacto da poluição à população. Modelos de dispersão de poluentes são ferramentas importantes nesta análise. Todavia, para estratégia de planejamento urbano e regional baseado na minimização dos efeitos da poluição atmosférica, é essencial realizar-se um estudo da climatologia da região (Veiga et al., 2007).

Segundo Mendes (2002), que avaliou a dispersão anemófila de esporangiósporos de *Phytophtora viticola* em vinhedo da cultivar Isabel, em cultivo convencional, na região vitivinícola da “Serra Gaúcha”, o inóculo está presente ao longo do ano, estando somente dependente de condições favoráveis para ocorrência da doença. Além da influência sobre a temperatura, a redução da velocidade do vento pode interferir, de maneira positiva, sobre a diminuição de

incidência e severidade de doenças, pois o vento e a chuva são os principais fatores de dispersão de esporos de fungos (Aita, 1983).

Alguns fenômenos dentro da camada limite Planetária (CLP) em altitude, como vento e turbulência são importantes nos planejamentos de vôos. Assim o conhecimento da direção e intensidade dos ventos na camada limite e em ar inferior ajuda aos aeronavegantes a definir a pista a ser utilizada no momento do pouso ou decolagem. Os ventos fortes retardam ou aceleraram os vôos aumentando e diminuindo o consumo de combustível, assim como podem alterar o rumo de uma aeronave, afetando o tempo de vôo. A turbulência é a trepidação sofrida pelas aeronaves devido à agitação irregular no ar. Ela pode provocar desconforto, danos estruturais e, em casos severos até mesmo acidentes (Areas, 2010).

Zampiron (2008), estudando uma torre de telecomunicações, apresentou um modelo numérico para determinação da resposta da estrutura sob diversas condições de vento, e descrevendo as formas de obtenção destes ventos e aplicação das forças dinâmicas na estrutura. Também avaliou as incertezas do modelo inseridas pela forma de determinação do vento turbulento.

O vento, como agente meteorológico, atua nas modificações das condições do tempo, sendo responsável pelo transporte de umidade e de energia na atmosfera. A energia dos ventos pode provocar grande destruição quando associado a eventos como furacões e tornados (Martins et at., 2008).

Carvalho e Santos (2010) compararam a velocidade dos ventos observados nas Plataforma de Coleta de Dados da Fundação Cearense de Meteorologia e de Recurso Hídricos (FUNCEME) existentes em dois municípios do estado do Ceará. As velocidades foram medidas no intervalo de 3 h havendo 8 medições por dia, sendo as 00h00; 03:00; 06:00; 09:00; 12:00; 15:00; 18:00 e 21:00 h, no período de 2006 a 2010 no município de Jericoacoara, e no período de 2008 a 2010 no município de Beberibe. Os autores concluíram que a velocidade média dos ventos de Jericoacoara foi de 4,8 m s^{-1} superior a de Beberibe, que foi de 3,1 m s^{-1}.

Segundo Silva e Lira (2010), para o planejamento de instalação de um parque eólico recorre-se à instalação de torres anemométricas que durante um curto intervalo de tempo (1 a 2 anos) coletam os dados de velocidade e direção do vento na região. Vale ressaltar que o dispêndio de recursos técnicos e financeiros para a instalação de uma torre anemométrica para coleta de dados

por um longo período é elevado. Nessa perspectiva, os mesmos autores apresentaram uma metodologia que, a partir do vento observado em superfície seja possível estimar valores de velocidade do vento em alturas compatíveis com a instalação de geradores eólicos. Esta metodologia foi baseada na utilização da análise de regressão linear simples e concluíram que houve desempenho satisfatório tanto no período de validação, seja pelo alto índice de concordância entre as séries de dados estimados e observados e seus respectivos coeficientes de correlação, seja pelos baixos valores dos erros quantificados.

O atlas do potencial eólico brasileiro tem objetivo fornecer informações para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamentos eólio-elétricos. Ele cobre todo território brasileiro.

Este atlas tornou-se possível pelo desenvolvimento, nos últimos três anos, do MesoMap, um abrangente sistema de software de modelagem numérica dos ventos de superfície. Esse sistema simula a dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas, a partir de amostragens representativas de um banco de dados validado para o período 1983/1999. O sistema inclui condicionantes geográficas como o relevo, a rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, as interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, inclusive efeitos do vapor d'água presente. Essas simulações são balizadas por referências existentes, tais como grades de dados meteorológicos resultantes de reanálises, radiossondagens, vento e temperatura, medidos sobre o oceano e medições de vento de superfície já realizadas regionalmente no Brasil. Entre estas últimas, foram selecionadas apenas as medições com qualidade adequada para referenciar o modelo ou referências coerentes representativas de grandes áreas.

Os resultados dessas simulações são apresentados em mapas temáticos, que representam os regimes médios de vento (velocidade, direções predominantes e parâmetros estatísticos de Weibull) e fluxos de potência eólica na altura de 50 m, na resolução horizontal de 1 km x 1 km, para todo o País.

Além da indicação das melhores áreas de potencial eólico no território nacional e das principais características de vento (direções predominantes, regimes diurnos, fatores estatísticos de Weibull), foi realizada neste atlas a integração de áreas de potencial com uso de ferramentas de geoprocessamento, a partir de premissas consideradas conservativas (Amarante et al., 2001).

O Atlas eólico do Rio de Janeiro contém informações detalhadas sobre os regimes dos ventos, calculadas a partir da mais rigorosa metodologia, utilizando técnicas modernas e tendo como base medições de alta qualidade. As informações fornecidas permitem identificar os potenciais de aproveitamento da energia eólica, tornando possível, assim, a elaboração de estudos preliminares de viabilidade técnica e econômica, além de identificar locais adequados para as medições com vistas à implantação de parques eólicos. Cabe ressaltar, que o uso da energia eólica, é especialmente viável em algumas regiões do Estado, em especial a Região dos Lagos e o Norte Fluminense que apresentam os melhores potenciais, como este Atlas passa a apresentar (Amarante et al., 2002).

Muniz (2008), trabalhou na caracterização preliminar dos ventos no município de Campos dos Goytacazes, RJ, com base nos dados coletados por uma torre anemométrica instalada no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro de 50 m de altura e 5 níveis de monitoramento, respectivamente a 3, 10, 15, 30 e 50 m de altura, registrando dados a cada 20 minutos, no período de junho de 2007 a julho de 2008 e concluiu que os meses de setembro a janeiro possuem as maiores médias de velocidade em comparação aos demais meses. No nível de monitoramento a 50 m, a velocidade máxima do vento não foi inferior a 5 m s^{-1}, sendo registradas rajadas com mais de 24 m s^{-1} (86,4 Km h^{-1}). A análise dos ventos com velocidade acima de 15 m s^{-1} apresentou maior freqüência nos meses de setembro e outubro e à medida que se reduz a altura de monitoramento, a freqüência desses ventos chega a 100% no mês de setembro, sendo a direção predominante dos ventos, a 50 m e a 3 m no período de estudo foi na direção leste, enquanto que a 10, 15 e 30 m a nordeste. Ao longo do dia, os ventos de maior intensidade estão concentrados entre as 14 e às 16 horas, e 100 % das ocorrências de ventos com velocidade acima de 15 m s^{-1} foi registrada dentro deste intervalo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Município de Macaé localiza-se na Região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro e ocupa uma área de 1.215,904 Km^2. Segundo o IBGE (Censo 2010), o município possui uma população de 206.748 habitantes e é dividido em seis distritos - Sede, Cachoeiros de Macaé, Córrego do Ouro, Glicério, Frade e Sana. Sua sede está localizada a 22º37”08’ de latitude sul, 41º78”69’ de longitude e com a sede a 2 m de altura acima do nível do mar.

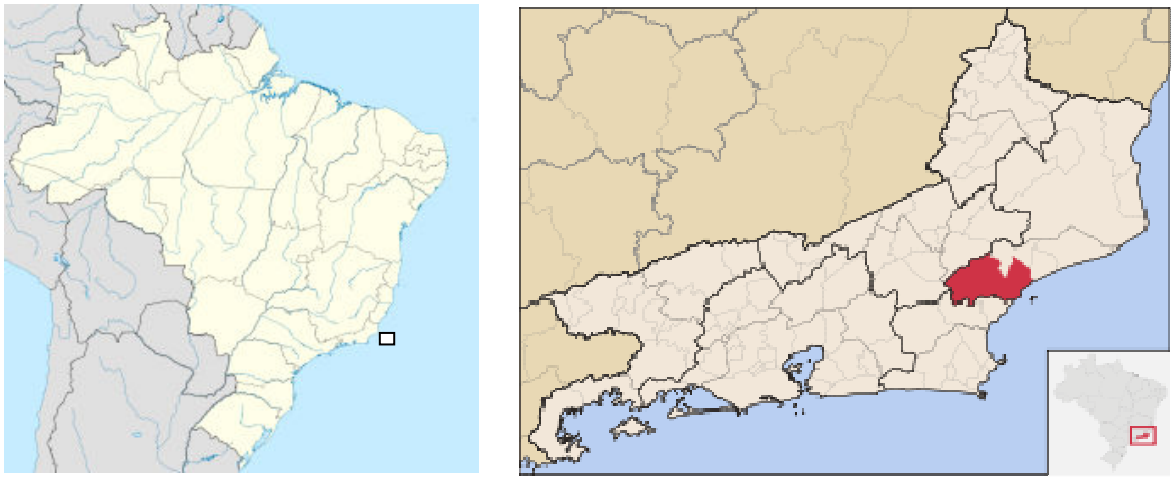


Figura 1: localização da área de estudo

Na agricultura, as principais produções do município são de feijão, aipim, inhame e banana e no setor pecuário, detém o terceiro maior rebanho bovino do Estado do Rio de Janeiro, com 95 mil cabeças de gado e 1.066 produtores. A

maior concentração do rebanho está na área do Vale do Rio Macaé, localizada às margens da BR-101, indo até o distrito de Córrego do Ouro.

A pesca, que no passado foi a principal atividade do município, ainda é responsável por uma fração significativa da economia local. Atualmente, cerca de 1,2 mil pescadores vivem da atividade pesqueira totalizando cerca de 15 mil pessoas envolvidas direta ou indiretamente com o setor. Estima-se que cerca de 400 barcos atuam no município, sendo o volume anual de pescado em torno de 600 toneladas. As espécies mais comuns são as consideradas nobres, como o Badejo (*Acanthistius brasilianus)*, Enchova (*Engraulis ringens)*, Garoupa (*Epinephelus lanceolatus*) e Olhete (*Seriola fasciata)*, dentre outras (SEAPPA – RJ, 2010).

Atualmente a indústria de petróleo é a base da economia de Macaé. Retirado em alto mar, em profundidades de quase dois mil metros, o petróleo movimenta um contingente de cerca de 46 mil pessoas nas 45 plataformas da Petrobrás, na Bacia de Campos. Em parceria são mais quatro operados pela Petrobrás e oito operados por terceiros. Os números grandiosos refletem a expectativa do Plano de Negócios da Petrobrás para a Bacia de Campos no período de 2009-2013: o objetivo é passar dos atuais 1.750 mil barris por dia de óleo (2009) a 2.067 mil barris por dia em 2013 (PMM 2011).

A cidade também tem um grande potencial energético. Estão instaladas no município duas usinas termelétricas, a Mário Lago e a Termo Macaé, que produzem, respectivamente, 928 e 800 MW de energia diariamente. As usinas produzem energia a partir do gás natural da Bacia de Campos, que chega do mar diretamente para o Terminal de Cabiúnas, maior polo de processamento de gás natural do país.

3.2. A TORRE ANEMOMÉTRICA

A torre de monitoramento eólico usada neste trabalho possui 25 m de altura e registra a direção e velocidade do vento em 5 (cinco) níveis, sendo respectivamente a 3, 6, 12, 15 e 25 m de altura. O monitoramento do vento a 25 m é feito por um anemômetro sônico bidirecional, modelo WAS-425 que mede a velocidades e direção do vento com uma resolução de 1º e 0,01 m s^{-1} respectivamente. Nos demais níveis, o monitoramento é feito por 4 anemômetros de hélice RM-YONG Marinizado, modelo 05106 que possui uma precisão de $\pm$ 3º e 0,03 m s^{-1}, respectivamente.

Todos os sensores da torre registram valores a cada minuto, sendo os valores médios, mínimos e máximos ocorridos num período de 20 minutos. A partir de 29 de dezembro de 2009 esses dados passaram a ser armazenados a cada 15 minutos num Datalogger modelo CR 1000, da Campbell Sci e transmitidos para uma central de monitoramento, gerenciada pelo software oggernet-SDK, também da Campbell Sci.

Na Figura 2 são apresentadas fotografias da torre anemométrica, com detalhes para os sensores acima descritos.

Figura 2: Torre anemométrica de 25 m (A). Anemômetro de hélice RM-YONG Marinizado, modelo 05106 (B). Anemômetro sônico bidirecional modelo WAS-425 (C) e caixa abrigo do Datalogger modelo CR 1000, da Campbell (D).

3.3. AVALIAÇÃO DO REGIME DOS VENTOS

Para a caracterização preliminar do vento em Macaé, RJ foram realizados estudos estatísticos dos dados de velocidade e direção do vento através da elaboração de planilha eletrônica no Microsoft Excell 2007. Os dados de velocidades máximas, médias e mínimas e da direção do vento nos 5 níveis de monitoramento foram analisados separadamente.

Os dados correspondem a um período entre o dia 1 de setembro de 2009 a 31 de agosto de 2011, totalizando 24 meses de observação, sendo os dados de 12, 15 e 25 m registrados a cada 20 minutos até o dia 29 de dezembro de 2009.

Após essa data, passou-se a registrar os dados de 3 e 6 m de altura, sendo o intervalo de registro de todos os níveis alterado para 15 minutos. O total de dados analisadas é referente a 67.626 observações.

Foram calculadas as médias simples e desvio padrão dos dados de velocidade média, máxima e mínima mensal e de todo o período para os 5 (cinco) níveis de monitoramento.

Os dados de velocidade média, máxima e mínima foram separados por direção e calculado a média simples e a freqüência para cada direção. As informações geradas permitiram visualizar e interpretar quais as direções do vento possuem as maiores médias de velocidade e freqüências.

A análise de freqüência relativa da direção e velocidade dos ventos foi realizada a partir dos dados separados por direção, pelo uso da Equação 1.

$$f(x) = \frac{\mathrm{n}}{\mathrm{N}} \cdot 100 \qquad (1)$$

Onde n é o número de observações, em uma determinada direção e N o número total de observações registradas.

Os dados de velocidade média, máxima e mínima foram separados de acordo com determinados intervalos de velocidade sendo: velocidade maior que 9 m s^{-1}; maior que 6 e menor que 9 m s^{-1}; maior que 3 m s^{-1} e menor que 6 m s^{-1} e menor que 3 m s^{-1}. Com dados agrupados nesses intervalos de velocidades foram calculados as freqüências mensais, horárias, os picos máximos e os períodos de calmaria, para os 5 (cinco) níveis de monitoramento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PERFIL VERTICAL DO VENTO

O perfil vertical do vento foi traçado a partir dos valores de velocidade média em todo período de estudo em função da altura.

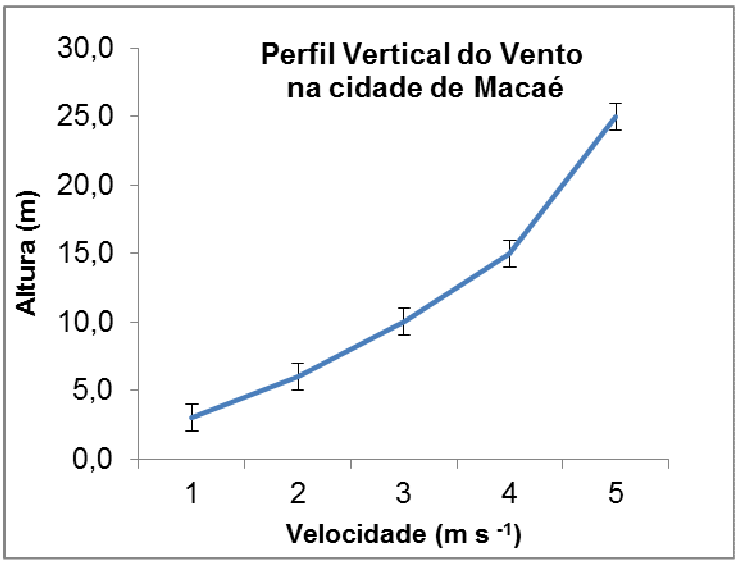


Gráfico 1: Perfil vertical do vento em 5 níveis de monitoramento para a relação altura e velocidade do vento de Macaé no período de setembro/2009 a agosto/2011.

Pelo resultado obtido no Gráfico 1 pode-se observar o aumento da velocidade do vento em função da altitude. Esse aumento da velocidade em função da altura esta relacionado a interferência do movimento horizontal do vento em relação a rugosidade do terreno. A rugosidade da superfície ocasiona a redução da velocidade do ar e, portanto, da intensidade da força de Coriolis, já que esta é proporcional ao módulo da velocidade (Martins et al., 2008).

4.2. VELOCIDADE MÉDIA MENSAL

Na Tabela 2 são apresentadas as velocidades médias mensais nos 5 níveis de monitoramento, determinadas a partir dos valores médios registrados a cada 20 e 15 minutos.

Pode-se observar na Tabela 2 que a velocidade média do período de estudo possui uma variação decrescente generalizada com a diminuição das alturas avaliadas. A maior velocidade mensal a 25 m foi em janeiro/2010 de 4,93 m s^{-1} e a menor velocidade mensal a 25 m foi em maio/2011 de 3,20 m s^{-1}. A maior velocidade mensal a 3 m foi em janeiro/2010 de 2,93 m s^{-1} e a menor em maio/2011, de 1,50 m s^{-1}.

Na Figura 3 são apresentadas as velocidades médias mensais e seus respectivos desvios- padrão.

O elevado desvio-padrão observado pode ser justificado em função de rajadas de vento fora da média, onde o número de N mensais chega a 2880 observações. Na média simples essas rajadas são amenizadas devido ao elevado N mensal por possuírem menor freqüência.

Tabela 2: Velocidade média mensal do vento em níveis de monitoramento (m s^{-1})

Mês/Ano	25 m	15 m	12 m	6 m	3 m
Setembro/2009	4,11	3,56	3,31	-	-
Outubro/2009	3,93	3,44	3,18	-	-
Novembro/2009	4,43	3,95	3,77	-	-
Dezembro/2009	3,63	3,11	2,92	-	-
Janeiro/2010	4,93	4,45	4,29	3,55	2,93
Fevereiro/2010	4,70	4,20	4,04	3,32	2,76
Março/2010	3,31	2,85	2,71	2,23	1,86
Abril/2010	3,31	2,81	2,63	2,12	1,76
Maio/2010	3,29	2,73	2,53	1,96	1,63
Junho/2010	3,28	2,75	2,56	1,99	1,67
Julho/2010	4,07	3,57	3,41	2,72	2,25
Agosto/2010	4,34	3,80	3,63	2,86	2,38
Setembro/2010	4,84	4,37	4,22	3,41	2,84
Outubro/2010	4,43	3,93	3,77	3,03	2,56
Novembro/2010	3,87	3,27	3,15	2,56	2,15
Dezembro/2010	3,84	3,36	3,20	2,60	2,18
Janeiro/2011	4,53	4,05	3,91	3,17	2,58
Fevereiro/2011	4,82	4,36	4,23	3,46	2,87
Março/2011	3,47	2,88	2,74	2,18	1,82
Abril/2011	4,06	3,35	3,20	2,52	2,02
Maio/2011	3,20	2,61	2,45	1,83	1,50
Junho/2011	3,55	2,98	2,82	2,16	1,78
Julho/2011	4,09	3,52	3,36	2,67	2,19
Agosto/2011	4,38	3,81	3,64	2,89	2,41
Média	4,02	3,49	3,32	2,23	1,85

Na Figura 3 é apresentado a variação da velocidade média mensal, em m s^{-1} e seu respectivo desvio-padrão.

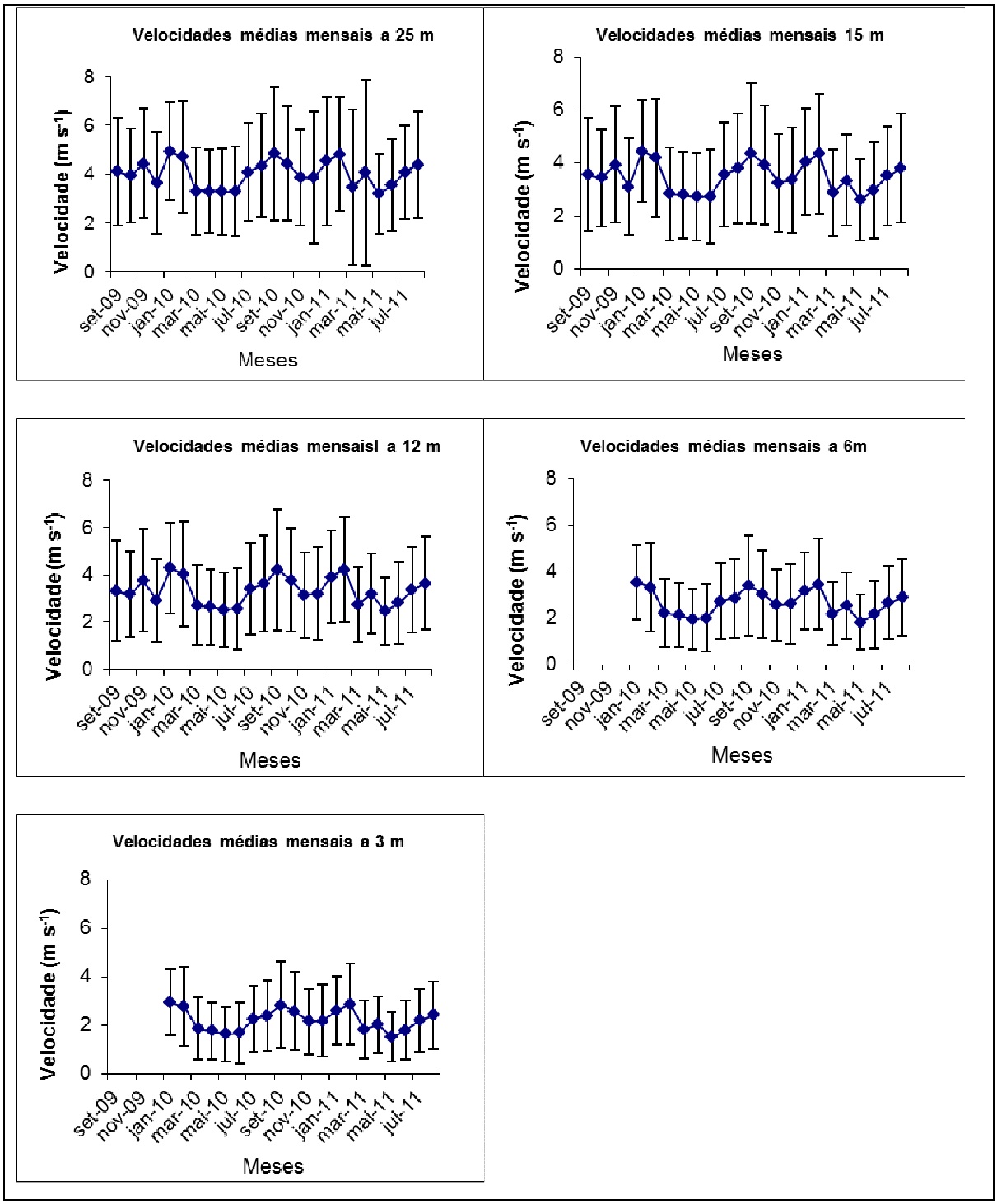


Figura 3: Velocidade média mensal e o respectivo desvio padrão da média nos cinco níveis de monitoramento, em m s^{-1}.

4.3 VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO MÁXIMO

Na Tabela 3 são apresentadas as velocidades médias mensais nos 5 níveis de monitoramento, determinadas a partir dos valores médios registrados a cada 20 e 15 minutos.

Pode-se observar, também na Tabela 3, que a velocidade média do período de estudo tem uma variação decrescente generalizada com a diminuição dos níveis estudados. A maior velocidade mensal a 25 m foi em janeiro/2010 de 7,08 m s^{-1} e a menor velocidade mensal a 25 m foi em maio/2011 de 4,76 m s^{-1}. A maior velocidade mensal a 3 m foi em janeiro/2010 de 5,16 m s^{-1} e a menor velocidade foi em maio/2011 de 2,95 m s^{-1}.

Na Figura 4 são apresentadas as velocidades médias mensais e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 3: Velocidade média mensal do vento máximo em níveis de monitoramento (m s^{-1})

Mês/Ano	25 m	15 m	12 m	6 m	3 m
Setembro/2009	6,05	5,49	5,31	-	-
Outubro/2009	5,87	5,30	5,12	-	-
Novembro/2009	6,44	5,91	5,79	-	-
Dezembro/2009	5,40	4,84	4,70	-	-
Janeiro/2010	7,08	6,53	6,44	5,82	5,16
Fevereiro/2010	6,77	6,19	6,10	5,49	4,87
Março/2010	4,85	4,33	4,24	3,81	3,38
Abril/2010	4,83	4,28	4,14	3,66	3,24
Maio/2010	4,87	4,24	4,08	3,50	3,09
Junho/2010	4,74	4,16	4,01	3,46	3,08
Julho/2010	5,84	5,29	5,19	4,57	4,04
Agosto/2010	6,23	5,65	5,53	4,83	4,29
Setembro/2010	6,94	6,44	6,36	5,65	5,00
Outubro/2010	6,43	5,87	5,77	5,09	4,55
Novembro/2010	5,41	4,91	4,84	4,32	3,86
Dezembro/2010	5,50	5,11	4,91	4,38	3,90
Janeiro/2011	6,46	5,98	5,88	5,24	4,59
Fevereiro/2011	6,88	6,33	6,28	5,64	4,98
Março/2011	4,93	4,39	4,29	3,79	3,35
Abril/2011	5,50	4,97	4,88	4,27	3,71
Maio/2011	4,76	4,10	3,96	3,34	2,95
Junho/2011	5,15	4,53	4,42	3,78	3,33
Julho/2011	5,85	5,23	5,12	4,47	3,95
Agosto/2011	6,38	5,75	5,64	4,95	4,40
Média	5,80	5,24	5,13	3,77	3,33

Na Figura 4 é apresentado a variação da velocidade máxima mensal, em m s^{-1} e seu respectivo desvio padrão.

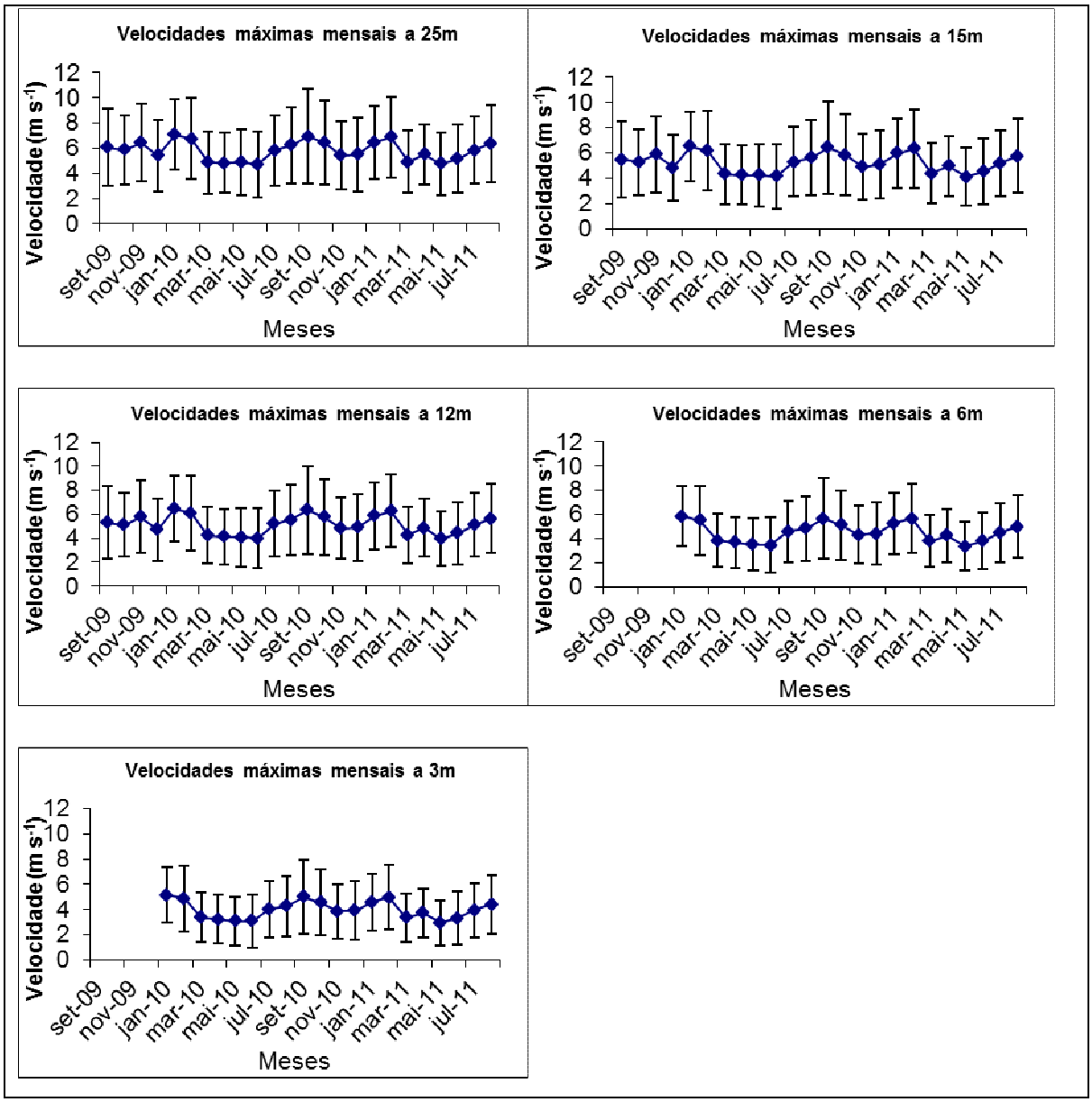


Figura 4: Velocidade média mensal do vento máximo e o respectivo desvio padrão da média nos cinco níveis de monitoramento, em m s^{-1}.

4.4 VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO MÍNIMO

Na Tabela 4 são apresentadas as velocidades médias mensais nos 5 níveis de monitoramento, determinadas a partir dos valores médios registrados a cada 20 e 15 minutos.

Pode-se observar, também na Tabela 4, que a velocidade média do período de estudo tem uma variação decrescente generalizada com a diminuição dos níveis estudados. A maior velocidade mensal a 25 m foi em janeiro/2010 de 2,76 m s^{-1} e a menor velocidade mensal a 25 m foi em maio/2011 de 1,64 m s^{-1}. A maior velocidade mensal a 3 m foi em janeiro/2010 de 1,15 m s^{-1} e a menor velocidade foi em maio/2011 de 0,46 m s^{-1}.

Na Figura 5 são apresentadas as velocidades médias mensais e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 3: Velocidade média mensal do vento mínimo em níveis de monitoramento (m s^{-1})

Mês/Ano	25 m	15 m	12 m	6 m	3 m
Setembro/2009	2,11	1,66	1,42	-	-
Outubro/2009	1,99	1,58	1,32	-	-
Novembro/2009	2,36	1,94	1,72	-	-
Dezembro/2009	1,78	1,40	1,21	-	-
Janeiro/2010	2,76	2,36	2,12	1,51	1,15
Fevereiro/2010	2,59	2,19	1,99	1,40	1,09
Março/2010	1,75	1,38	1,22	0,88	0,69
Abril/2010	1,75	1,35	1,17	0,81	0,61
Maio/2010	1,72	1,28	1,10	0,72	0,54
Junho/2010	1,82	1,36	1,18	0,76	0,59
Julho/2010	2,30	1,87	1,68	1,14	0,87
Agosto/2010	2,42	1,94	1,74	1,17	0,90
Setembro/2010	2,70	2,27	2,09	1,45	1,11
Outubro/2010	2,38	1,95	1,76	1,24	0,99
Novembro/2010	2,02	1,63	1,47	1,04	0,82
Dezembro/2010	2,01	1,67	1,50	1,06	0,83
Janeiro/2011	2,51	2,11	1,92	1,33	0,99
Fevereiro/2011	2,72	2,33	2,12	1,52	1,18
Março/2011	1,76	1,38	1,23	0,83	0,65
Abril/2011	2,13	1,68	1,50	0,98	0,71
Maio/2011	1,64	1,18	1,03	0,61	0,46
Junho/2011	1,92	1,45	1,28	0,80	0,60
Julho/2011	2,31	1,85	1,67	1,11	0,82
Agosto/2011	2,35	1,90	1,70	1,17	0,90
Média	2,16	1,74	1,55	0,90	0,69

Na Figura 5 é apresentado a variação da velocidade mínima mensal, em m s^{-1} e seu respectivo desvio padrão.

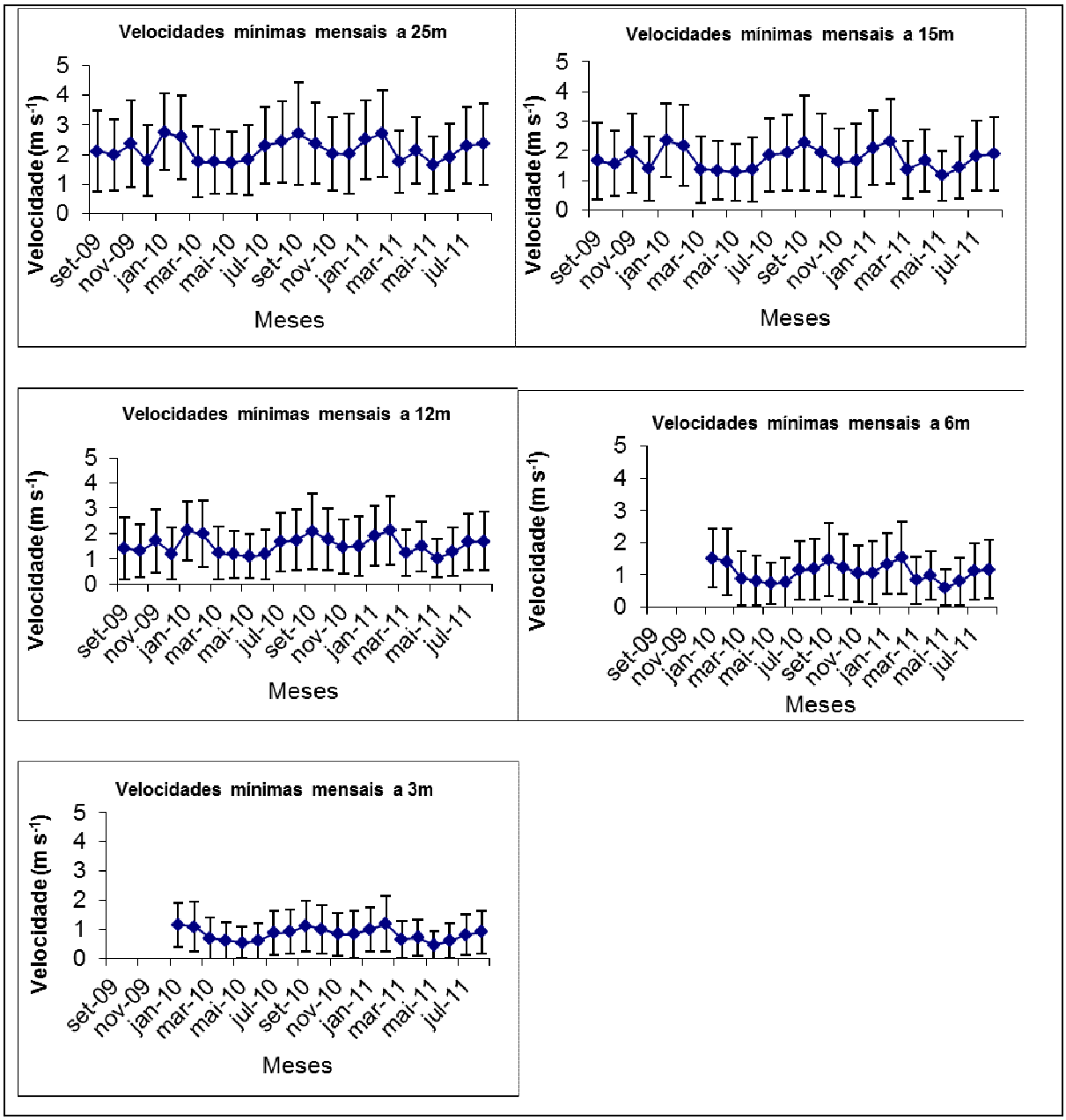


Figura 5: Velocidade média mensal do vento máximo e o respectivo desvio padrão da média nos cinco níveis, em m s^{-1}.

4.5 ROSA DOS VENTOS DO PERÍODO DE ESTUDO

A direção do vento é registrada em graus que varia de 0º a 360º, a cada direção do vento corresponde uma faixa determinada em graus na rosa dos ventos, sendo estas faixas definidas na Tabela 4.

A freqüência relativa para cada direção foi calculada com base nos registros a cada 20 e 15 minutos e a faixa em graus para cada direção esta apresentada na Tabela 4.

A freqüência de direção dos ventos foi determinada para cada nível e os resultados obtidos, apresentados na Figura 6.

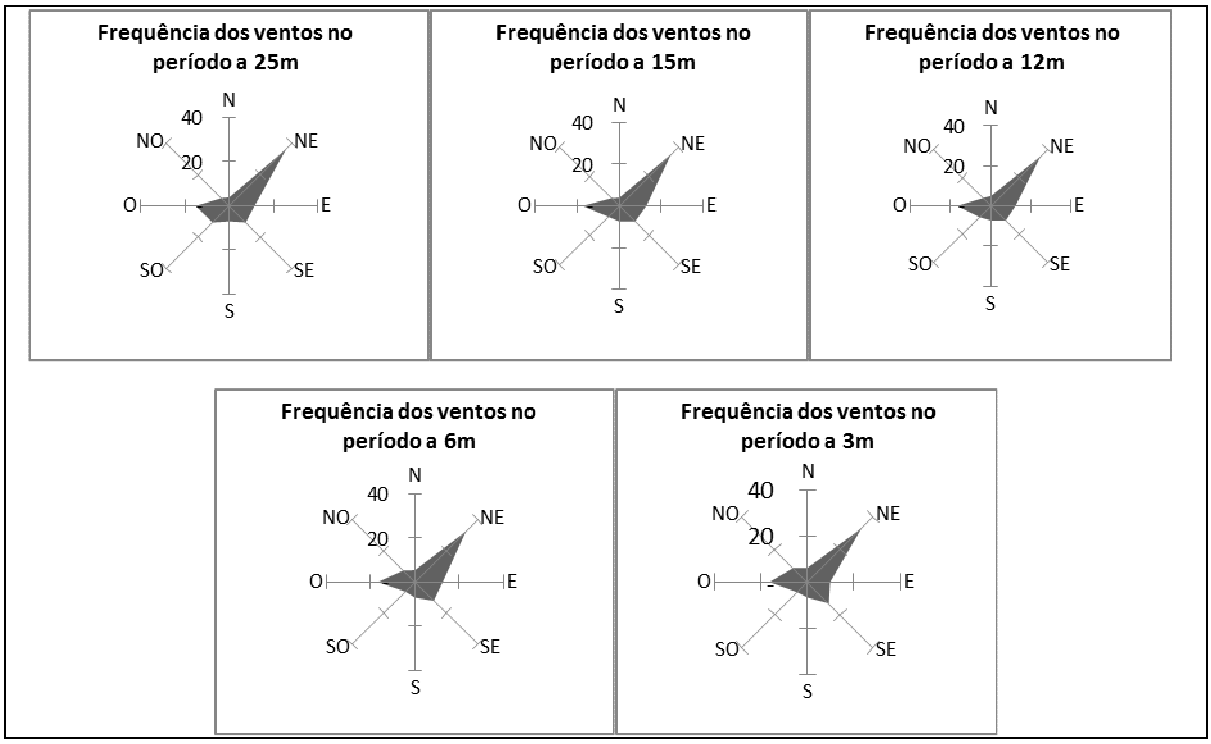


Figura 6: Rosa dos ventos no período de estudo nos 5 níveis de monitoramento.

Analisando a Figura 6 pode-se observar a predominância de ventos na direção nordeste em todos os 5 níveis de monitoramento, com 36,2% das observações a 25 m, 35% a 15 m; 34,8% a 12 m; 32,5% a 6 m e 32,8% a 3 m. As freqüências nas outras direções foram menores que 18%.

A segunda direção com maior predominância corresponde a direção oeste, com aproximadamente a metade da freqüência da direção nordeste em todos os

cinco níveis, com 15,2% a 25 m; 17,5% a 15 m; 16,7% a 12 m, 16,7% a 6 m e 16,4% a 3 m.

4.6 ROSA DOS VENTOS MENSAL

Para determinação da freqüência relativa da direção do vento mensal utilizou-se a mesma metodologia anterior para as direções referentes a todo o período também nos cinco níveis de monitoramento.

Em anexo nas Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 estão representadas as freqüências mensais para cada uma das direções da rosa dos ventos, com valores de velocidade registrados a 25, 15, 12, 6 e 3 m de altura.

4.6.1 ROSA DOS VENTOS MENSAL A 25 m

Analisando a Figura 7 pode-se observar a predominância dos ventos nordeste em quase todos os meses com exceção de maio/2010 e maio/2011 que tiveram predominância de ventos oeste a 35,1%.

A maior freqüência observada na direção nordeste foi em janeiro/2010 com 58,4% das observações mensais.

Apesar da predominância de ventos nordeste houve variação de direção apenas no mês de outubro/2009 dezembro/2010 e março/2011 para sudoeste, abril, maio e junho/2010 e junho/2011 para oeste.

4.6.2 ROSA DOS VENTOS MENSAL A 15 m

Analisando a Figura 8 pode-se observar que a direção predominante apresentou o mesmo comportamento e variações da altura 25 m, com diferentes magnitudes, em maio/2010 e maio/2011 que tiveram predominância de ventos oeste a 38,4% das observações.

A maior freqüência observada na direção nordeste foi em janeiro/2010 com 56,2% das observações mensais.

4.6.3 ROSA DOS VENTOS MENSAL A 12 m

Analisando a Figura 9 pode-se observar que a direção predominante apresentou o mesmo comportamento e variações da altura 15 m, com diferentes magnitudes. Maio/2010 e maio/2011 que tiveram predominância de ventos oeste a 35,5% das observações.

A maior freqüência observada na direção nordeste foi em janeiro/2010 com 56,7% das observações mensais.

4.6.4 ROSA DOS VENTOS MENSAL A 6 m

Analisando a Figura 10 pode-se observar que de setembro a novembro não houve freqüência porque nesses três meses ainda não existiam anemômetros nos níveis 3 e 6 m.

Pode-se observar a predominância de vento nordeste em todos os meses com exceção de dezembro/2009 que teve 25,5% de freqüência para a direção norte, maio/2010 e maio/2011 tiveram predominância de ventos oeste a 35% de freqüência.

A maior freqüência observada na direção nordeste foi em janeiro/2010 com 54,1% das observações mensais.

4.6.5 ROSA DOS VENTOS MENSAL A 3 m

Analisando a Figura 11 pode-se observar que de setembro a novembro não houve freqüência porque nesses três meses ainda não existiam anemômetros nos níveis 3 e 6 m.

Pode-se observar a predominância de vento nordeste em todos os meses com exceção de dezembro/2009 que teve 25,8% de freqüência para a direção norte, maio/2010 e maio/2011 tiveram predominância de ventos oeste com 33% de freqüência.

A maior freqüência observada na direção nordeste foi em janeiro/2010 com 54,9% das observações mensais.

4.7 DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO

Com as médias das velocidades registradas a cada 15 e 20 minutos nos 5 níveis durante o período de estudo foi calculado a média das velocidade para as 8 direções, para cada mês e para todo o período de estudo.

4.7.1 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO PERÍODO DE ESTUDO

Na Figura 12 é apresentado a rosa dos ventos com a velocidade média para cada direção nos 5 níveis de monitoramento.

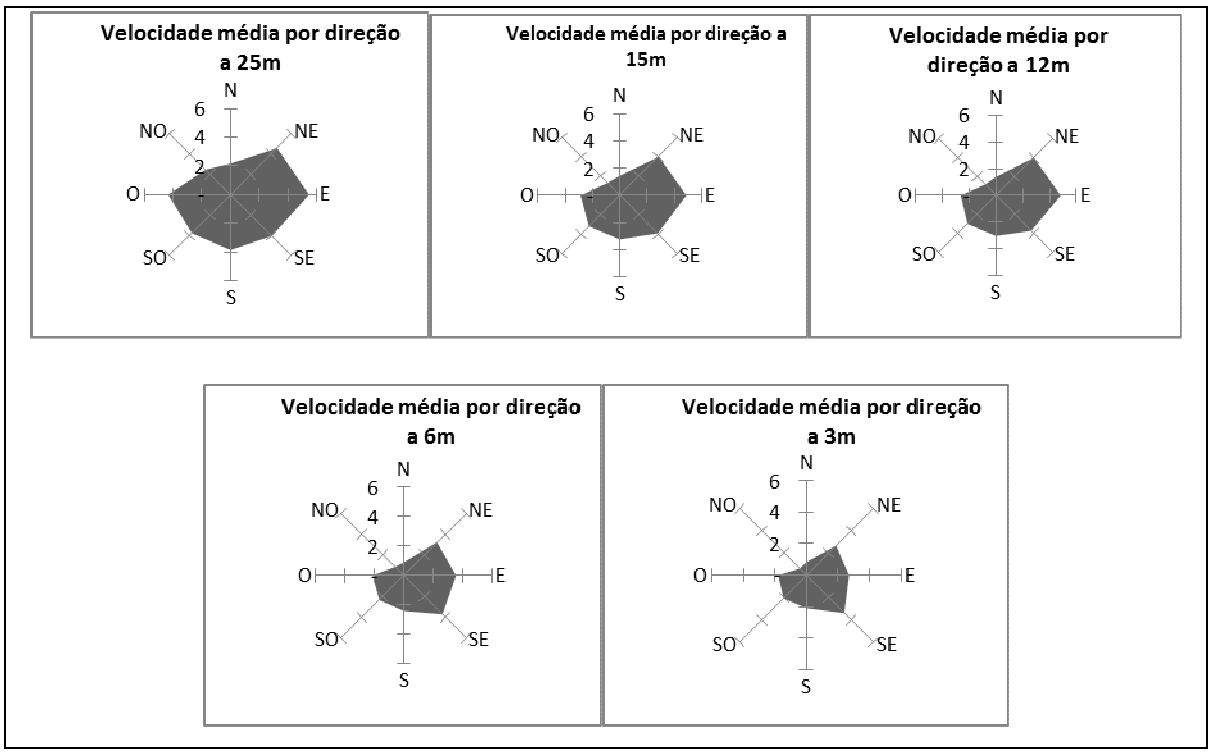


Figura 12: Direção e velocidade média do período de estudo nos 5 níveis em m s^{-1}.

Na Figura 12 pode-se observar que a maior média das velocidades médias a 25 m de altura está na direção leste, com 5,4 m s^{-1}. A 15 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 4,8 m s^{-1}. A 12 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 4,8 m s^{-1}. A 6 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção sudeste, com 3 m s^{-1}. A 3 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção sudeste, com 3,3 m s^{-1}.

4.7.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA DO PERÍODO DE ESTUDO

Na Figura 13 é apresentado a rosa dos ventos com a velocidade média para cada direção nos 5 níveis.

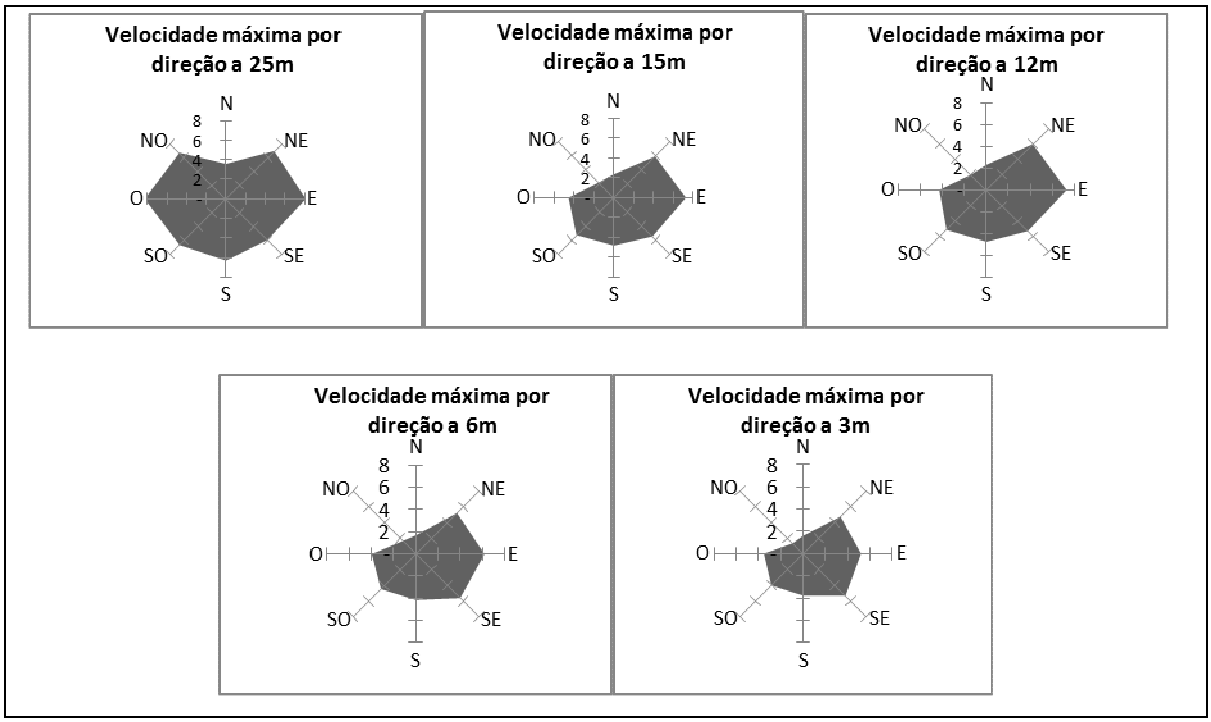


Figura 13: Direção e velocidade máxima do período de estudo nos 5 níveis em m s^{-1}.

Na Figura 13 pode-se observar que a maior média das velocidades médias a 25 m de altura está na direção oeste, com 8,2 m s^{-1}. A 15 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 7,2 m s^{-1}. A 12 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 7,3 m s^{-1}. A 6 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 6,1 m s^{-1}. A 3 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção sudeste, com 5,3 m s^{-1}.

4.7.3 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA DO PERÍODO DE ESTUDO

Na Figura 14 é apresentado a média da velocidade mínima para cada direção nos 5 níveis.

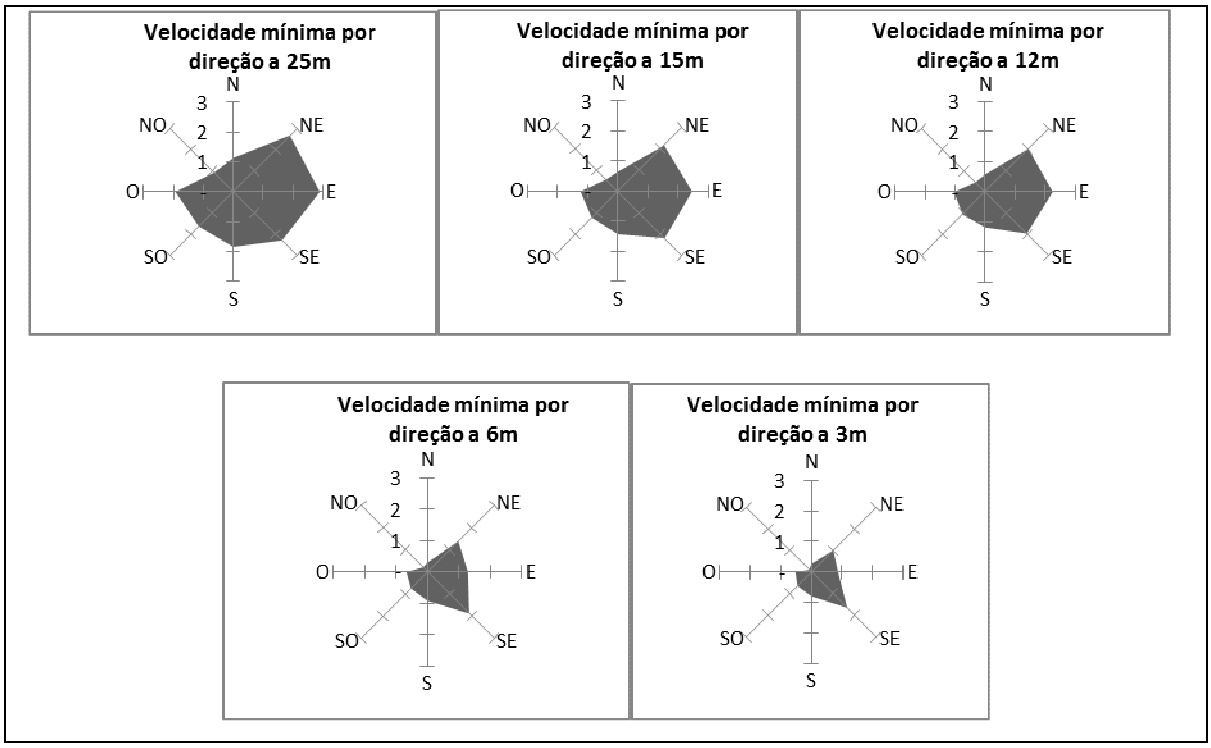


Figura 14: Direção e velocidade mínima do período de estudo nos 5 níveis, em m s^{-1}.

Com a Figura 14 pode-se observar que a maior média das velocidades médias a 25 m de altura está na direção leste, com 2,9 m s^{-1}. A 15 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 2,4 m s^{-1}. A 12 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção leste, com 2,2 m s^{-1}. A 6 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção sudeste, com 1,8 m s^{-1}. A 3 m de altura a maior média das velocidades médias está na direção sudeste, com 1,6 m s^{-1}.

4.8 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL

Com os registros de velocidade média e direção do vento foi calculado a velocidade média mensal para cada direção nos 5 níveis de monitoramento (25, 15, 12, 6 e 3 m), assim gerando a rosa dos ventos em anexo nas Figuras 15, 16, 17, 18 e 19.

4.8.1 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL A 25 m

Analisando a Figura 15, que apresenta as médias mensais das velocidades a 25 m, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2010 na direção leste com velocidade de 7 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 1,2 m s^{-1} em junho/2011 na direção nordeste. O vento leste apresenta a maior média de velocidade em quase todos os meses com exceção setembro/2010, maio/2011, junho/2011 e agosto/2011.

4.8.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL A 15 m

Analisando a Figura 16, que apresenta as médias mensais das velocidades a 15 m de altura, pode-se observar que a maior média calculada foi registrada em setembro/2010 com 5,8 m s^{-1} na direção nordeste. A menor velocidade média registrada foi 0,8 m s^{-1} na direção noroeste em julho/2010.

A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses exceto maio/2010, julho/2010 e novembro/2010.

4.8.3 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL A 12 m

Analisando a Figura 17, que apresenta as médias mensais das velocidades a 12 m de altura, pode-se observar que a maior velocidade média foi de 5,8 m s^{-1} em janeiro/2010 na direção leste. A menor velocidade média registrada foi 0,6 m s^{-1} na direção norte em setembro/2009.

A altura de 12 m a direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em todos os meses.

4.8.4 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL A 6 m

Analisando a Figura 18, que apresenta as médias mensais das velocidades a 6 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se inicia no mês de dezembro/2009. Pode-se observar ainda que a maior média de

velocidade foi 5,1 m s^{-1} registrada em fevereiro/2010 na direção sudeste. A menor velocidade média registrada foi 0,5 m s^{-1} em julho/2011 na direção noroeste.

Em dezembro/2009, a maior velocidade média foi na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.8.5 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA MENSAL A 3 m

Analisando a Figura 19, que apresenta as médias mensais das velocidades a 3 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se inicia no mês de dezembro/2009. Pode-se observar ainda que a maior média de velocidade foi 4,6 m s^{-1} registrada em fevereiro/2010na direção sudeste. A menor velocidade média registrada foi 0,4 m s^{-1} em julho/2011 na direção noroeste.

Em dezembro/2009 a maior velocidade média foi na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.9 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL

Com os registros de velocidade máxima e direção do vento foi calculado a velocidade máxima mensal para cada direção nos 5 níveis de monitoramento (25, 15, 12, 6 e 3 m), assim gerando a rosa dos ventos em anexo nas Figuras 20, 21, 22, 23 e 24.

4.9.1 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL A 25 m

Analisando a Figura 20, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 25 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de dezembro/2010, na direção nordeste com velocidade de 10,6 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 1,8 m s^{-1} em junho/2011 na direção noroeste. O vento leste apresenta a maior média de velocidade em quase todos os meses com exceção de setembro/2010, dezembro/2010, março/2011 e agosto/2011.

4.9.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL A 15 m

Analisando a Figura 21, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 15 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2010 na direção leste com velocidade de 9,2 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 1,4 m s^{-1} em junho/2011 na direção noroeste. Apesar do vento leste apresentar a maior média de velocidade em quase todos os meses, as velocidades médias foram bem distribuídas em todas as direções exceto para as direções noroeste e norte.

4.9.3 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL A 12 m

Analisando a Figura 22, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 12 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2010 na direção leste com velocidade de 9,2 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi m s^{-1} em junho/2011 na direção noroeste. Apesar do vento leste apresentar a maior média de velocidade em quase todos os meses, as velocidades médias foram bem distribuídas em todas as direções exceto para as direções noroeste e norte.

4.9.4 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL A 6 m

Analisando a Figura 23, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 6 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se iniciam no mês de dezembro/2009. Pode-se observar que a maior média de velocidade máxima foi 7,9 m s^{-1} registrada em outubro/2010 na direção leste. A menor velocidade média registrada foi 1,3 m s^{-1} em junho/2010 na direção noroeste.

Em dezembro/2009 a maior velocidade média máxima foi 4,8 m s^{-1} na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.9.5 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÁXIMA MENSAL A 3 m

Analisando a Figura 24, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 3 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se inicia no mês de dezembro/2009. Pode-se observar que a maior média de velocidade máxima foi 7,2 m s^{-1} registrada em fevereiro/2010 na direção sudeste. A menor velocidade média registrada foi 1,0 m s^{-1} em junho/2011 na direção noroeste.

Em dezembro/2009 a maior velocidade média máxima foi 4,4 m s^{-1} na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.10 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL

Com os registros de velocidade mínima e direção do vento foi calculado a velocidade máxima mensal para cada direção nos 5 níveis de monitoramento (25, 15, 12, 6 e 3 m), assim gerando a rosa dos ventos em anexo nas Figuras 25, 26, 27, 28 e 29.

4.10.1 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL A 25 m

Analisando a Figura 25, que apresenta as médias mensais das velocidades mínimas a 25 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2011 na direção leste com velocidade de 3,8 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 0,6 m s^{-1} em setembro/2010 na direção noroeste. Apesar do vento leste apresentar a maior média de velocidade em quase todos os meses, as velocidades médias foram bem distribuídas em todas as direções exceto para as direções noroeste e norte.

4.10.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL A 15 m

Analisando a Figura 26, que apresenta as médias mensais das velocidades mínimas a 15 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2011 na direção leste com velocidade de 3,3 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 0,2 m s^{-1} em setembro/2009 na direção leste. Apesar do vento leste apresentar a maior média de velocidade em quase todos os meses, as velocidades médias foram bem distribuídas em todas as direções exceto para as direções noroeste e norte.

4.10.3 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL A 12 m

Analisando a Figura 27, que apresenta as médias mensais das velocidades mínimas a 12 m de altura, pode-se observar que a maior média mensal calculada foi no mês de fevereiro/2010 na direção leste com velocidade de 3,0 m s^{-1}. A menor média mensal calculada foi 0,1 m s^{-1} em setembro/2009 na direção norte. A direção leste teve a maior velocidade, mas houve variações para sudeste e nordeste em alguns meses como dezembro/2009, março, abril, maio, junho/2010 e junho 2011. Na direção norte e noroeste houve pouco vento em todo o período.

4.10.4 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL A 6 m

Analisando a Figura 28, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 6 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se inicia no mês de dezembro/2009. Pode-se observar que a maior média de velocidade foi 2,5 m s^{-1} registrada em fevereiro/2011 na direção sudeste. A menor velocidade média mínima registrada foi 0,1 m s^{-1} em junho/2010 na direção norte.

Em dezembro/2009 a maior velocidade média mínima foi 1,3 m s^{-1} na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.10.5 DIREÇÃO E VELOCIDADE MÍNIMA MENSAL A 3 m

Analisando a Figura 29, que apresenta as médias mensais das velocidades máximas a 3 m de altura, pode-se observar que o registro das velocidades e direções se inicia no mês de dezembro/2009. Pode-se observar que a maior média de velocidade mínima foi 2,2 m s^{-1} registrada em fevereiro/2010 na direção sueste. A menor velocidade média registrada foi 0,06 m s^{-1} em julho/2011 na direção norte.

Em dezembro/2009 a maior velocidade média mínima foi 1,2 m s^{-1} na direção norte. A direção leste apresenta as maiores médias de velocidades em quase todos os meses, seguido da direção sudeste.

4.11. DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DO PERÍODO DE ESTUDO

Os valores de velocidade média, máxima e mínima, registrados a cada 20 e 15 minutos, nos cinco níveis de monitoramento foram classificados dentro de intervalos de velocidade, com objetivo de visualizar sua distribuição no período de estudo, caracterizando os picos máximos e o período de calmarias, em função dos meses e do horário ao longo do dia. Os intervalos correspondem à velocidade maior ou igual a 9 m s^{-1}, maior ou igual a 6 m s^{-1} e menor que 9 m s^{-1}, maior ou igual a 3 m s^{-1} e menor que 6 m s^{-1} e menor que 3 m s^{-1}.

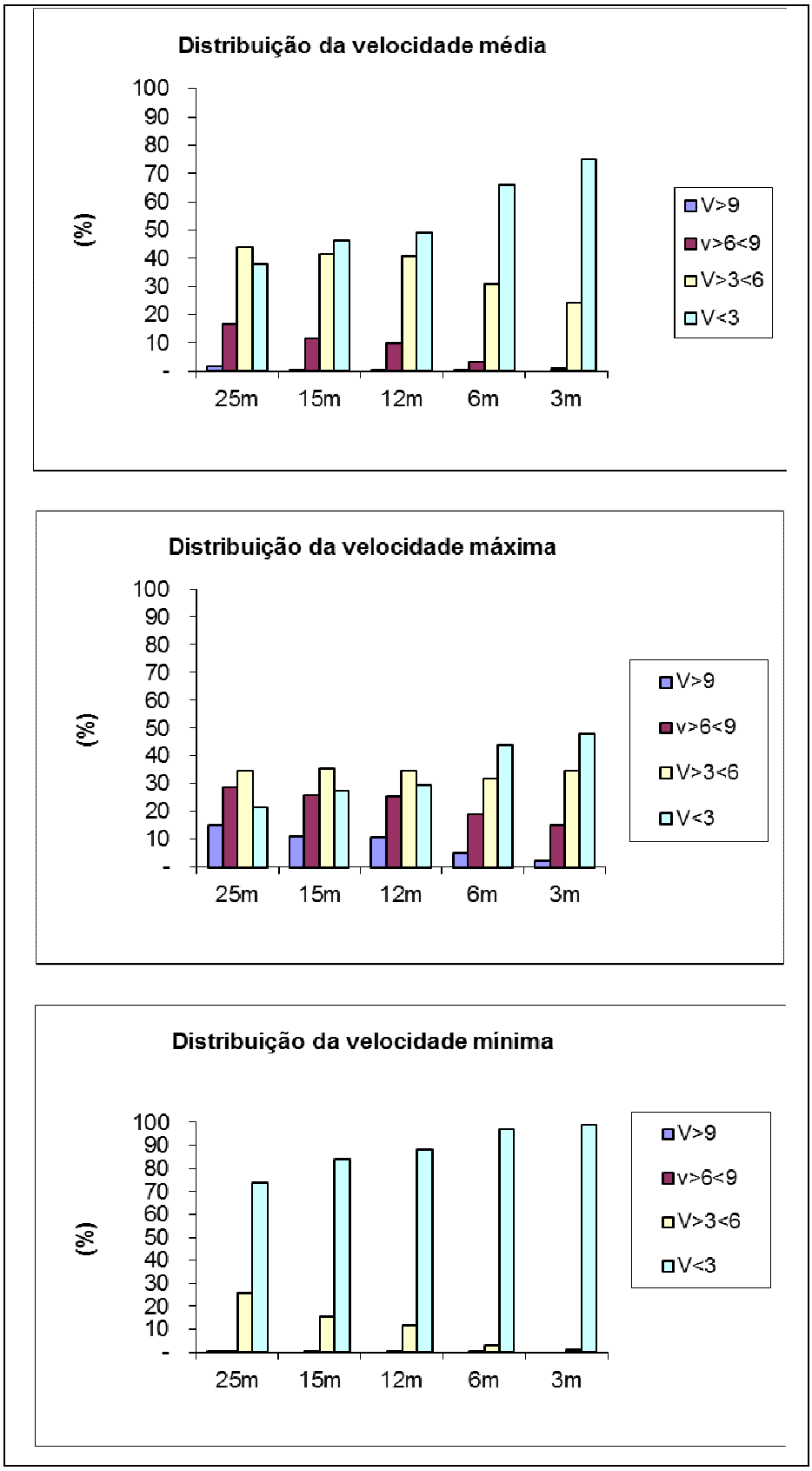


Figura 30: Distribuição da velocidade média, máxima e mínima nos intervalos determinados, nos cinco níveis.

É possível notar na Figura 30 que velocidades maiores que 9 m s^{-1} só foram encontradas significativamente na distribuição da velocidade máxima nas alturas 25 m, 15 m, 12 m com 15%, 11,1%, 10,6% das ocorrências respectivamente. Na distribuição da velocidade média, as velocidades maiores que 3 m s^{-1} e menores do que 6 m s^{-1} nas alturas 25 m, 15 m, 12 m, 6 m e 3 m tiveram 44%, 41,6%, 40,6%, 31% e 24% das ocorrências respectivamente. A velocidade menor que 3 aconteceu significativamente em todas as distribuições de velocidades e todas as alturas, chegando a 97% e 99,1% nos níveis 6 m e 3 m da distribuição das velocidades mínimas.

4.12. DIREÇÃO DOS PICOS MÁXIMOS DO PERÍODO DE ESTUDO

Na Figura 31 são apresentados à direção dos picos máximos maior que 9 m s^{-1} nos 5 níveis. Na figura 32 são apresentados a direção dos picos com velocidade entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1} nos cinco níveis.

Os picos maiores que 9 m s^{-1} e entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1} foram distribuídos de acordo com a sua direção.

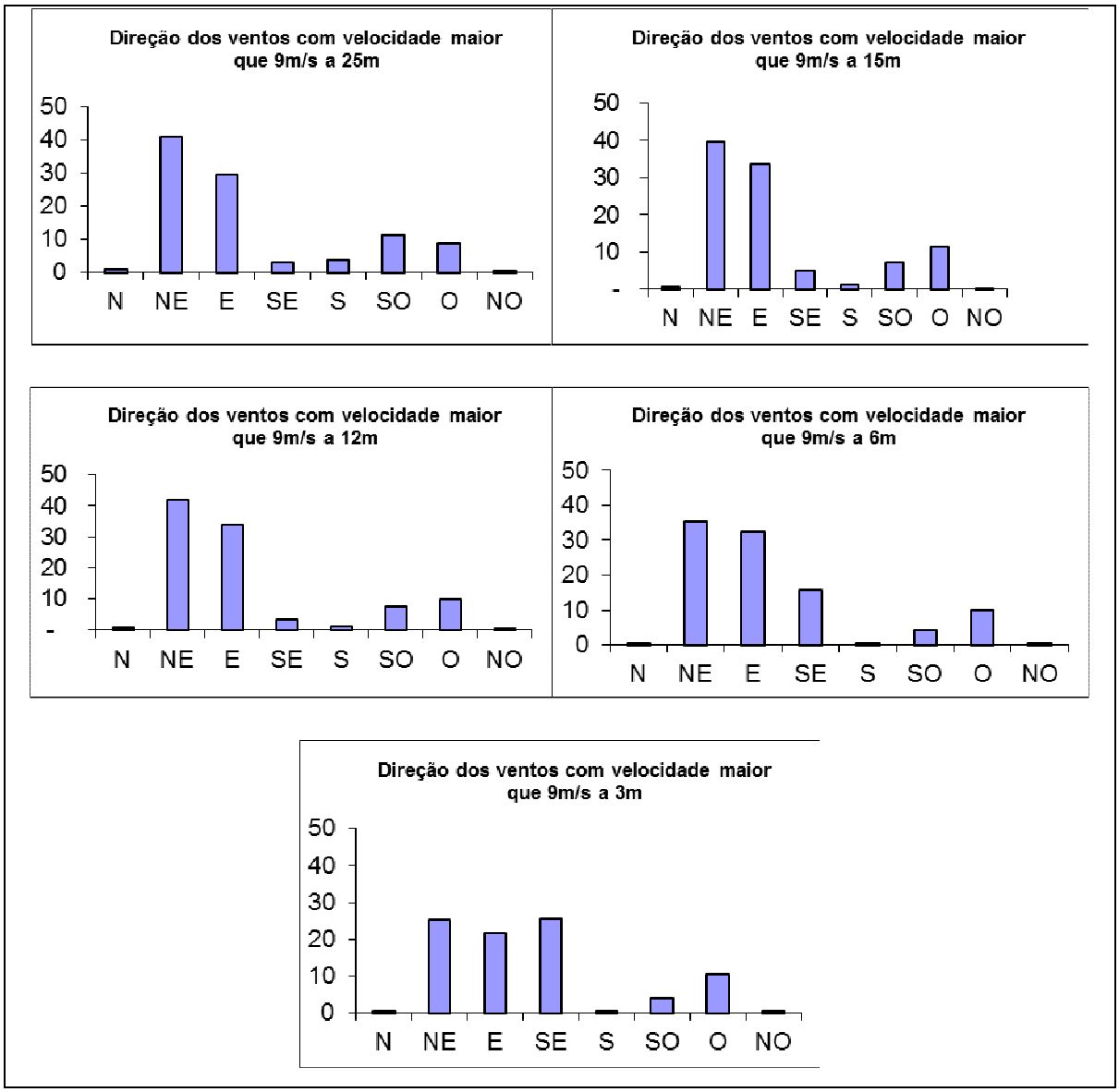


Figura 31: Direção do vento com velocidade maior que 9 m s^{-1}.

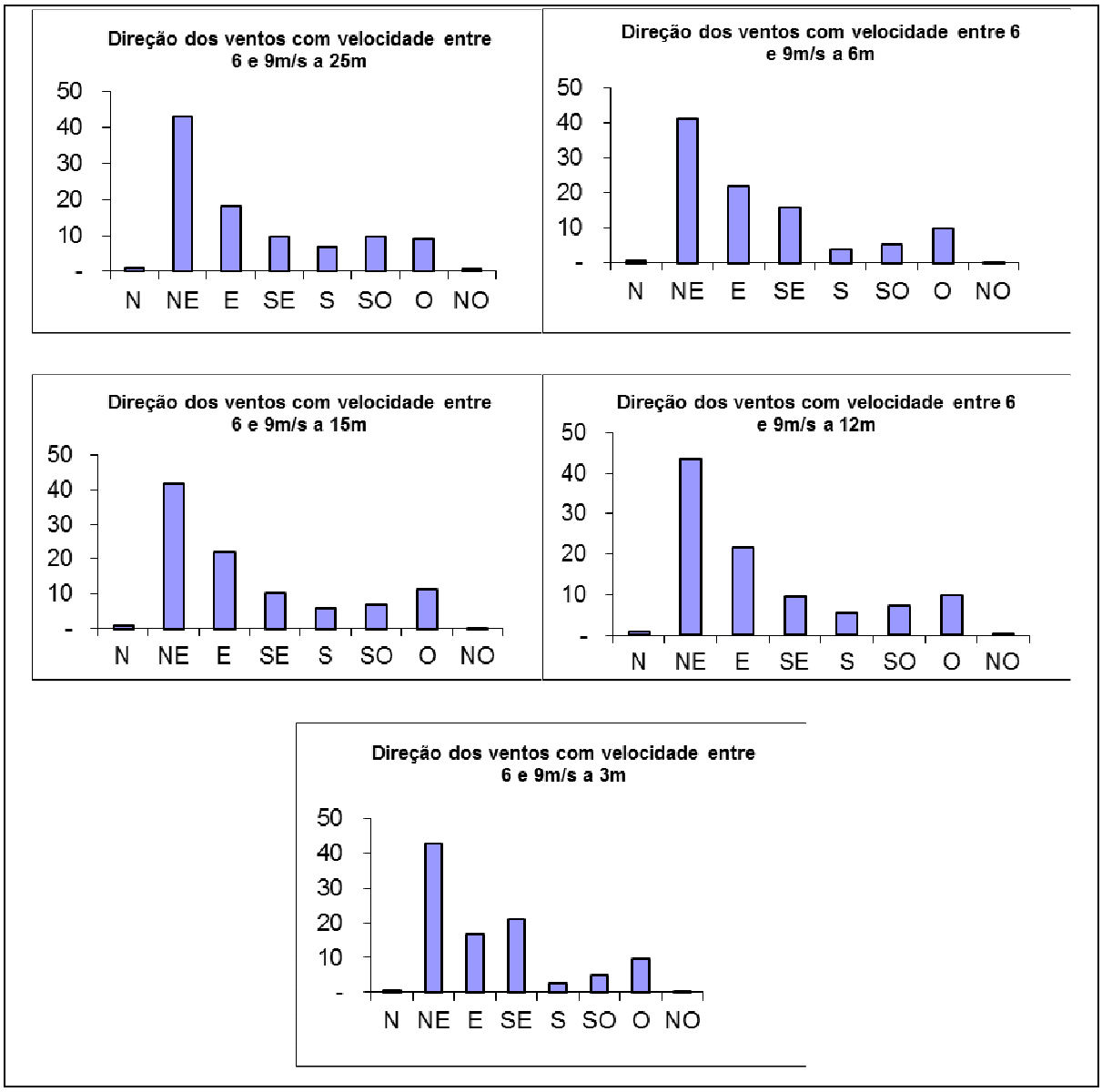


Figura 32: Direção do vento com velocidade entre 6 e 9 m s^{-1}.

Na Figura 31 percebemos que nos picos máximos com velocidades superiores a 9 m s^{-1} os ventos predominantes de nordeste, leste e sudeste descrito na rosa dos ventos. Já na Figura 32, que mostra o intervalo entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1}, pode-se observar a concordância com a rosa dos ventos com as maiores freqüências na direção nordeste, leste e sudeste para todas as alturas de monitoramento.

4.13. DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS PICOS MÁXIMOS

Na Figura 33 são apresentados os gráficos da distribuição dos picos máximos e na Figura 34 os gráficos da distribuição mensal dos picos com velocidade entre 6 a 9 m s^{-1}.

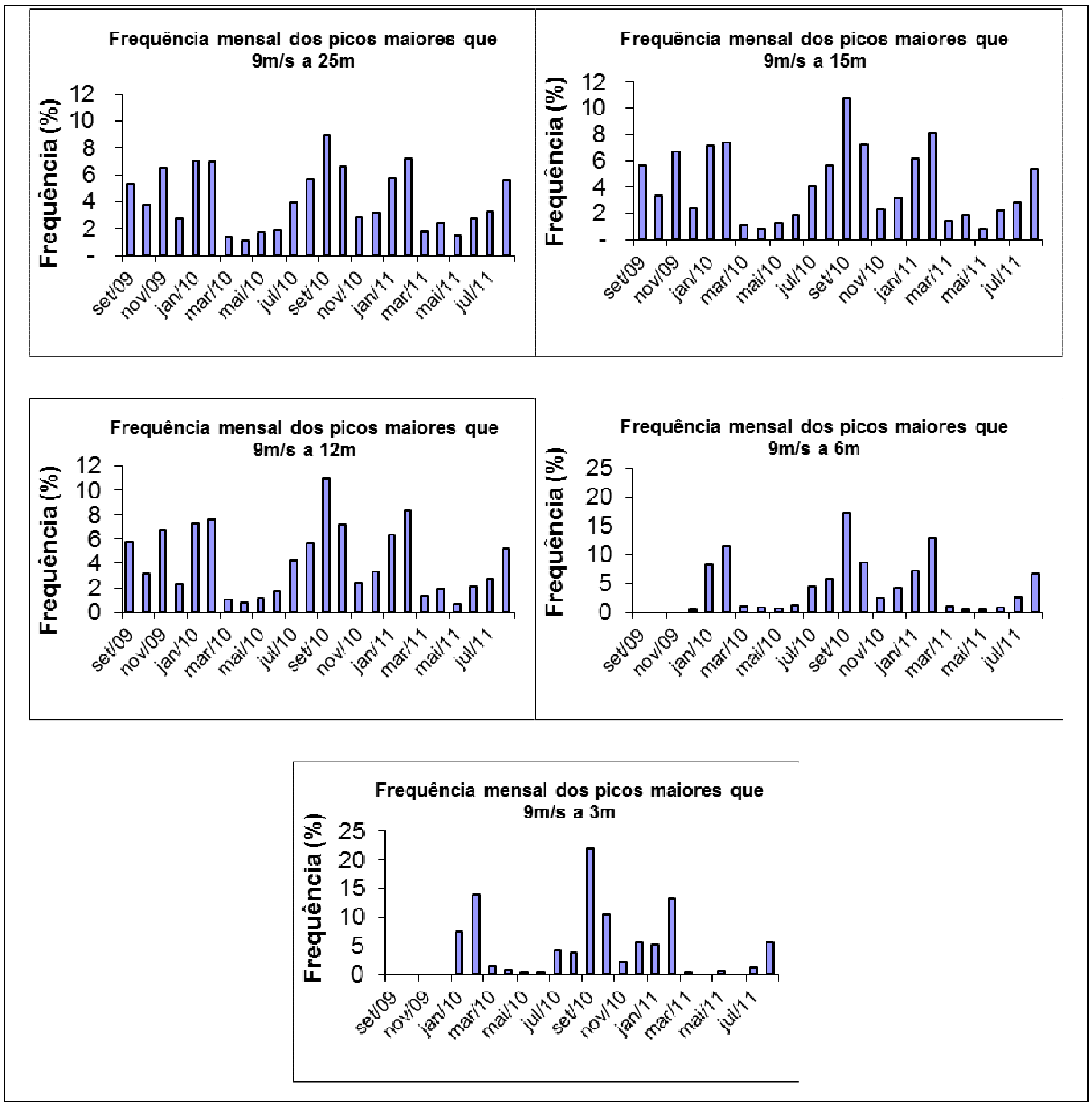


Figura 33: Freqüência mensal do vento com velocidade maior que 9 m s^{-1}.

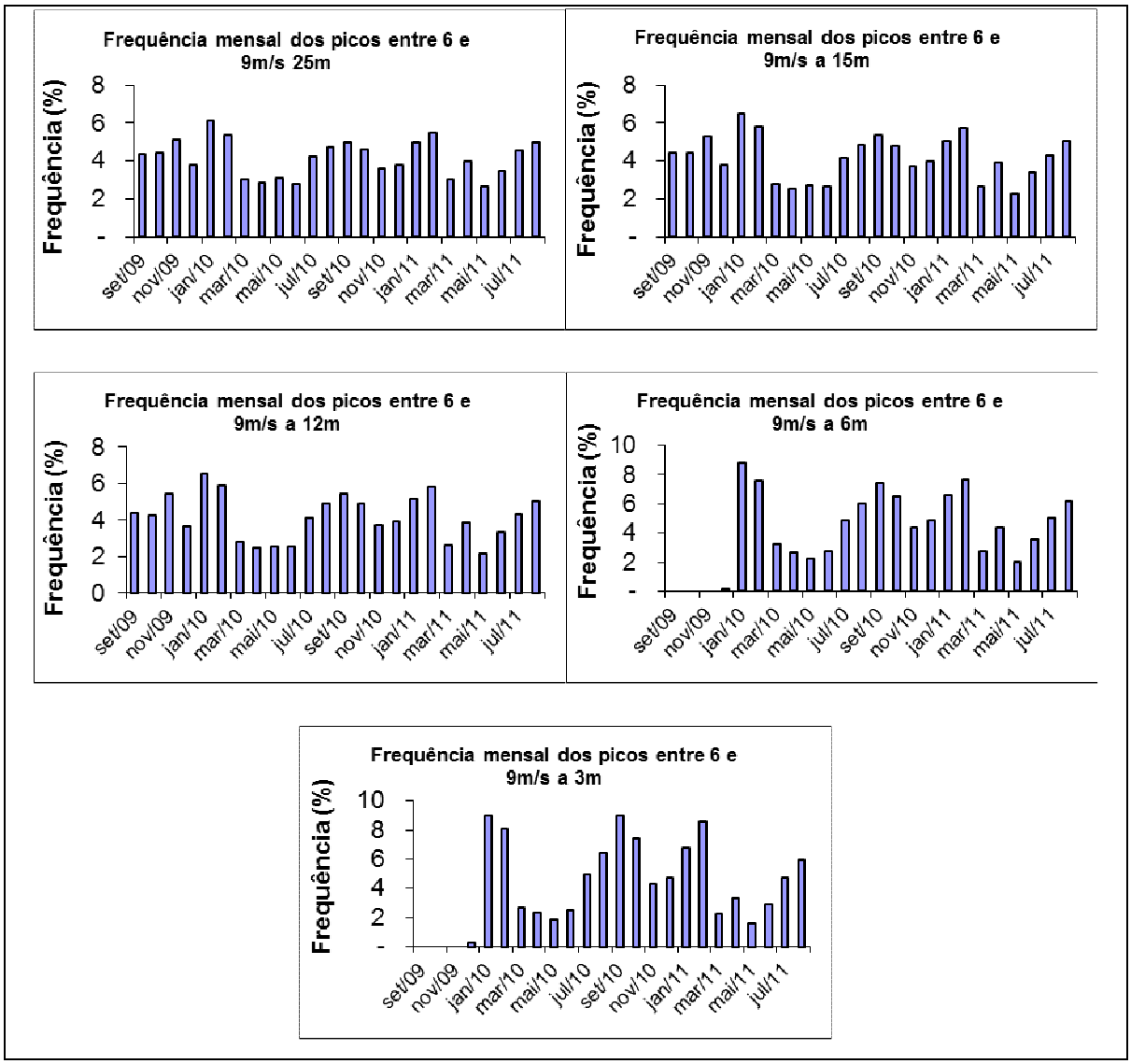


Figura 34: Freqüência do vento com velocidade entre 6 e 9 m s^{-1}.

De acordo com a Figura 33, as maiores ocorrências de velocidade superiores a 9 m s^{-1} ocorrem entre setembro, outubro e novembro, atingindo em setembro 8,97% das observações em 25 m de altura e 10,74% das observações a 15 m de altura.

A Figura 34, indica que a freqüência mensal dos ventos entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1}, além da acentuação da freqüência de ventos em setembro, outubro e novembro, ocorrem ciclicamente outros picos menores de ventos em janeiro e fevereiro. Esse comportamento cíclico do vento ao longo do ano só é possível analisar em todos os níveis de estudo.

4.14. FREQÜÊNCIA HORÁRIA DOS PICOS MÁXIMOS

Na Figura 35 é apresentada a freqüência horária dos picos máximos com velocidade 9 m s^{-1} e entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1} em função das horas do dia.

Com os dados de velocidade máxima maior que 9 m s^{-1} e entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1} e horário de ocorrência, calculou-se a freqüência horária. O período de 24h do dia foi dividido em intervalos a cada 2 horas.

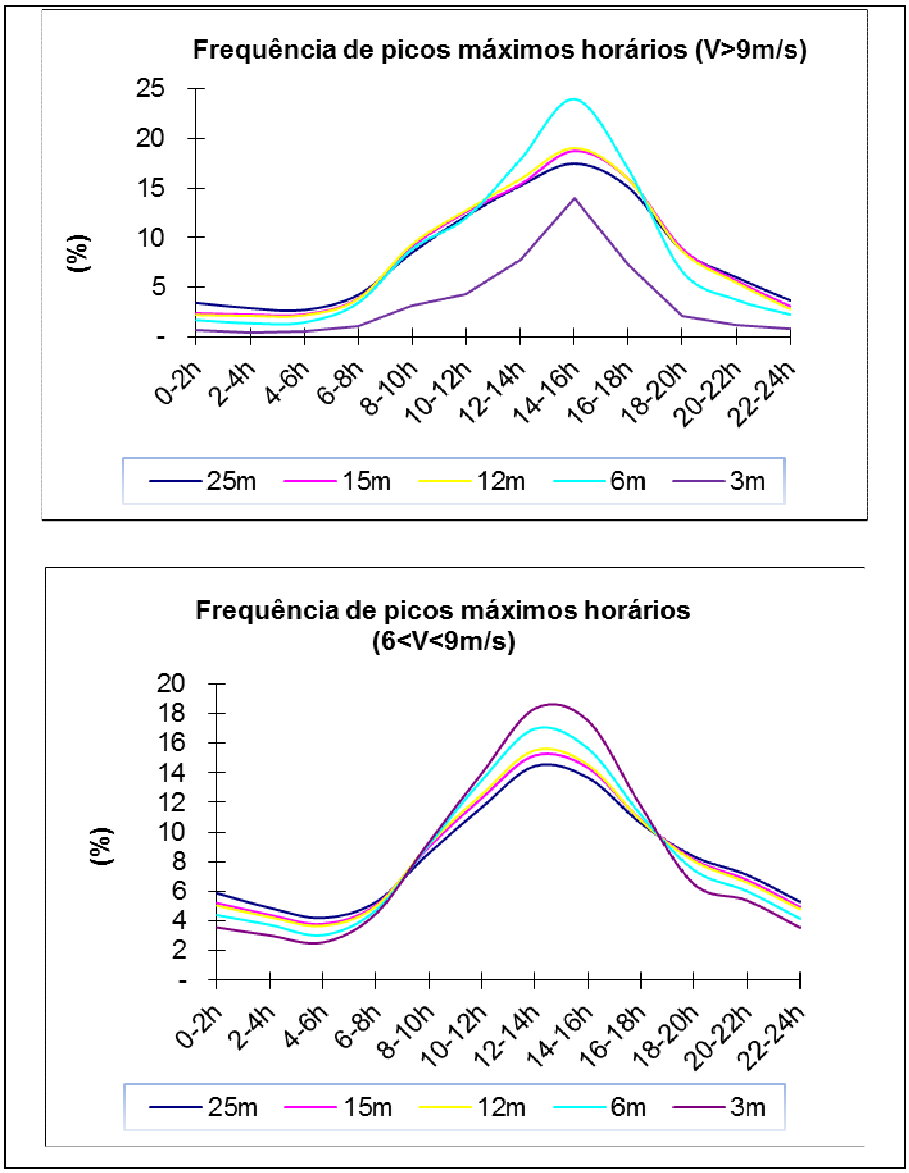


Figura 35: Freqüência horária dos picos máximos.

Na freqüência horária dos picos máximos pode-se observar o comportamento das rajadas de vento ao longo do dia. No intervalo entre 6 m s^{-1} e 9 m s^{-1} verificamos a ocorrência dos picos máximos entre as 14 e 16 horas.

Quanto menor a altura de medição, maior é a acentuação da curva no horário do pico máximo.

4.15. CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS DE CALMARIA

Na Figura 36 é apresentada a freqüência mensal de calmaria ao longo dos 24 meses de estudo.

O período de calmaria foi distribuído a partir das observações com velocidade mínima inferior a 1 m s^{-1}.

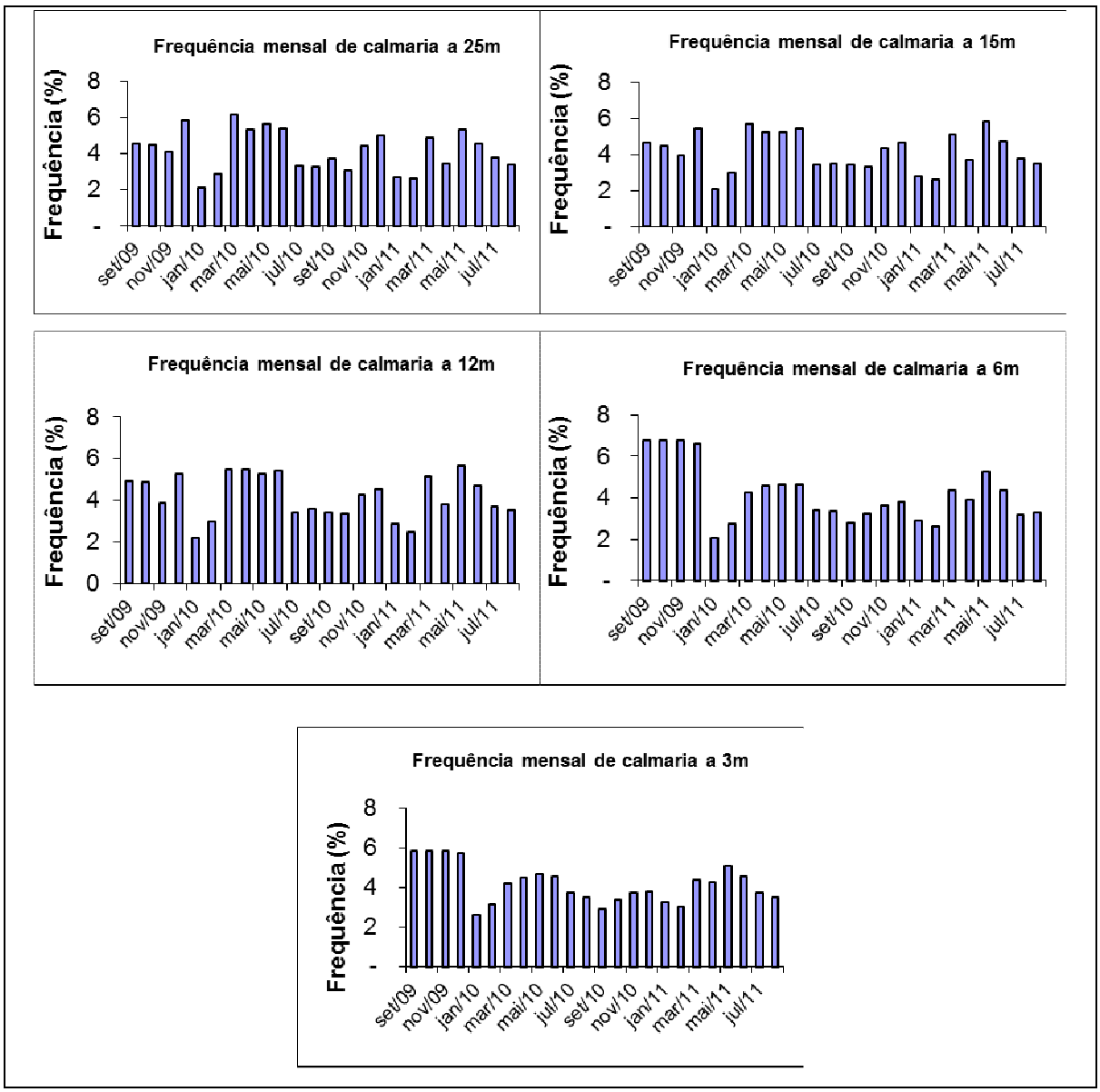


Figura 36: Freqüência mensal dos períodos de calmaria, nos cinco níveis.

O período de calmaria ocorre em função inversa ao período dos picos máximos. Podemos observar que ocorre ciclicamente a maior freqüência de calmaria de março a julho.

4.15.1 FREQÜÊNCIA HORÁRIA DOS PERÍODOS DE CALMARIA

Na Figura 37 é apresentada a freqüência horária dos períodos de calmaria ao longo das horas do dia.

Com os dados de velocidade mínima menor que 1 m s^{-1} e o horário de ocorrência, calculou-se a freqüência horária do período de calmaria. O período de 24h do dia foi dividido em intervalos a cada 2 horas.

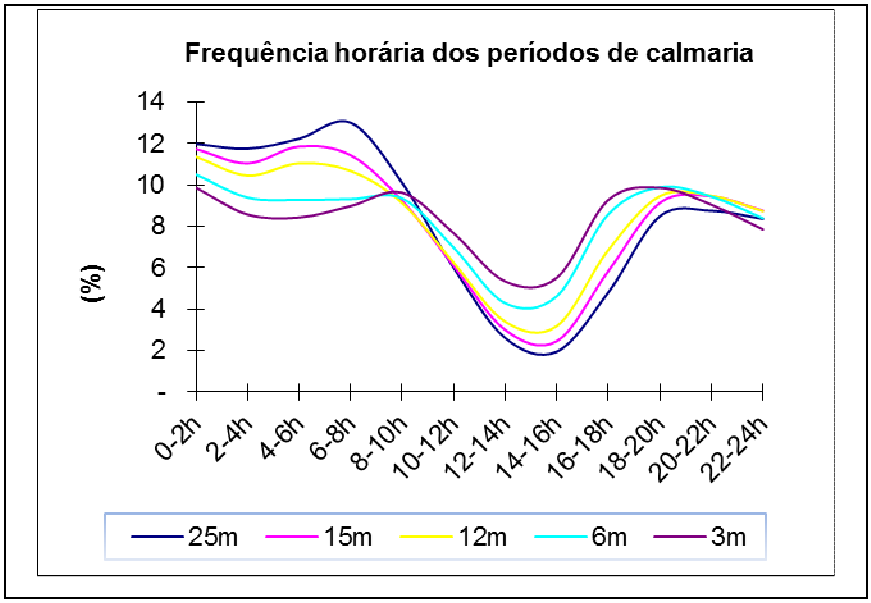


Figura 37: Freqüência horária dos períodos de calmaria nos cinco níveis.

O período de maior freqüência de calmaria esta entre às 0 horas e as 8 horas da manhã. O período de menor freqüência de calmaria está entre 14h e 16h que coincide com o horário de maior freqüência dos picos máximos.

5. Conclusões

Com os resultados obtidos na caracterização preliminar da direção e velocidade do vento no município de Macaé, no biênio de setembro de 2009 à agosto de 2011, pode-se concluir que a velocidade e a direção do vento variou em função da altura de monitoramento, ao longo dos meses do ano e ao longo das horas do dia.

A velocidade média do período do estudo para os cinco níveis foram 1,85 m s^{-1} a 3 m, 2,2 m s^{-1} a 6 m, 3,3 m s^{-1} a 12 m, 3,4 m s^{-1} a 15 m e 4 m s^{-1} a 25 m de altura; a velocidade máxima do período foi 3,3 m s^{-1} a 3 m, 3,7 m s^{-1} a 6 m, 5,1 m s^{-1} a 12 m, 5,2 m s^{-1} a 15 m e 5,8 m s^{-1} a 25 m de altura; a velocidade mínima do período foi 0,7 m s^{-1} a 3 m, 0,9 m s^{-1} a 6 m, 1,5 m s^{-1} a 12 m, 1,7 m s^{-1} a 15 m e 2,1 m s^{-1} a 25 m de altura.

Separados por direção, as maiores médias de velocidade média foram 3,4 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 3,7 m s^{-1} a 6 m na direção SE, 4,8 m s^{-1} a 12 m na direção E, 4,9 m s^{-1} a 15 m na direção E, 5,4 m s^{-1} a 25 m na direção E; as maiores médias de velocidade máxima foram 5,3 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 6,2 m s^{-1} a 6 m na direção E, 7,3 m s^{-1} 12 m na direção E, 7,2 m s^{-1} 15 m na direção E, 8,3 m s^{-1} 25m na direção O; as maiores médias de velocidade mínima foram

1,6 m s^{-1} a 3 m na direção SE, 1,8 m s^{-1} a 6 m na direção SE, 2,2 m s^{-1} 12 m na direção E, 2,4 m s^{-1} 15 m na direção E, 2,8 m s^{-1} 25 m na direção E.

Ventos com velocidade entre 6 e 9 m s^{-1} apresentaram maiores freqüências nos meses de setembro, outubro e novembro.

Ventos com velocidade acima de 9 m s^{-1} também apresentaram maiores freqüências nos meses de setembro, outubro e novembro.

A direção predominante do período em todos os níveis foi nordeste, que junto com leste apresentaram maiores velocidades médias e freqüências.

Os picos máximos estão concentrados em setembro, outubro, novembro e janeiro.

O período de calmaria ocorreu de março a julho.

Nesses dois anos de estudo pode-se observar que o período de picos máximos e de calmaria ocorre de uma forma cíclica. Os picos máximos ocorrem com maior freqüência de 14 h às 16 h, e o período de calmaria ocorre com maior freqüência de 0 h às 8 h.

6. Recomendações

Os resultados deste trabalho são preliminares, e segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as normais meteorológicas necessitam de 30 anos de observações e as normais provisórias, que são médias de curto período são baseadas em observações que se estendam num período mínimo de 10 anos.

Devido ao período de estudo trabalhado na monografia de 24 meses, só houve possibilidade de uma caracterização preliminar do regime de ventos no município de Macaé. É recomendado a continuação deste trabalho para que se possa obter resultados para a caracterização do regime de ventos no município de Macaé.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aita, L. (1983) Informações sobre a coleta de alguns fungos fitopatogênicos por amostragem do ar. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, (8): 377-379.

Amarante, O. A. C., Zack, M. B. J., Sá, A.L (2001) *Atlas do potencial eólico Brasileiro*http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm acessado em 25/07/2011

Amarante, O. A. C., Silva, F. J. L. S., Filho, L. G. R (2002) *Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro*.

ANEEL (2011), Atlas de energia elétrica do Brasil, CD-ROM 2ª edição,http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06- Energia Eólica(3).pdf em 22/07/2011

Areas, U. D. (2010) Estatística de ventos em baixos níveis para uso na aviação – região sul do Brasil - *Revista IC* on-line v.2-2010

Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010 / *Empresa de Pesquisa Energética*. – Rio de Janeiro : EPE, 2011. 266 p.

Carvalho, I. V., Santos, J. S. (2010) Análise da velocidade do vento em dois municípios da costa do Estado do Ceará – *Jericoacoara e Beriberibe Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará* (IFCE)

Castro, R. M. G. (2008) Introdução a energia eólica. *Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico*. Ed 3.1 março de 2008.

Corrêa, Cléber Souza, Clarke, Robin Thomas e Silveira, André L. L. da, (2002) Análise Espectral do decréscimo da velocidade do vento acima do jato de nível baixo em situações de El Niño-oscilações sul (enso) sobre Porto Alegre, Brasil – *Revista Brasileira de Meteorologia,* 17 (2): 153-163.

Dallacort, R., Moreira. P. S. P., Inoue, M. H., Silva, D. J., Carvalho, I. F., Santos, C. (2010) Wind speed and direction characterization in Tangará da Serra, Mato Grosso state, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25 (3): 359 – 364.

IBGE (2010) *Instituto brasileiro de geografia e estatística* Censo 2010 http://www.censo2010.ibge.gov.br/

Lutgens, F.K. and Tarbuck, E.J. (1995) The Atmosphere: An Introduction to Metorology (Prentice Hall, Inc., New Jersey, 6th ed.

Macedo, I. C. (2003) Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia.

Martins, F. R. Guarnieri, R. A, Pereira, E.B (2008) O aproveitamento da energia eólica Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos*, São José dos Campos, SP, Brasil *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30 (1): 1304

Mendes, C. S. (2002) Flutuação de inóculo no ar, desenvolvimento e validação de um sistema de previsão do míldio-da-videira.. 123 p. *Dissertação* (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

Muniz, R. A., (2008) Caracterização Preliminar da Direção e Velocidade dos Ventos em Campos dos Goytacazes, RJ. *Monografia de conclusão de curso*, UENF nº. 10570

Pereira, A. R., Angelocci, L. R., Sentelhas, P. C. (2002) *Agometeorologia: fundamento e aplicações*. 1ª ed. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. 478p.

PMM (2011) Prefeitura municipal de Macaé http://www.macae.rj.gov.br/index.php em 07/08/2011.

PMSFI (2011) Prefeitura municipal de São Francisco do Itabapoana http://www.pmsfi.rj.gov.br/noti/noticia.php?id=412&mod=7 acessado em 23/07/2011.

Rede presença (2011) http://www.redepresenca.com.br/campos-noticias/499-novo-parque-eolico-de-r-540-milhoes-na-divisa-campos-e-sfi em 23/07/2011

SEAPPA –RJ (2010) Secretaria de agricultura pecuária pesca e abastecimento do Rio de Janeiro http://www.seaapi.rj.gov.br/default.asp

SEINFRACE (2010) Secretaria de infraestrutura do Estado do Ceará. Disponível em: http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/listanoticias/623-ceara-devera-ter-seus-14-parques-do-proinfa-funcionando-ate-o-final-de-abril Acesso em: 23/ 04/ 2010.

Silva, E. M., Lira, M. A. T. (2010) Estimativa dos recursos eólicos na região de Camocim/CE usando um método baseado em regressão linear. Universidade Estadual do Ceará – UECE Laboratório de Pesquisas Avançadas em Energia Eólica – EOLUS www.cbmet2010.com/anais/artigos/709_24087.pdf

Silva, V. J. M. (2008) Uso de sistemas agroflorestais como viabilizadores de corredores ecológicos *Monografia de pós-graduação* 78 p. Universidade Federal de Lavras - MG

Veiga, P. M. S., Velho, H. F. C., Freitas, S. R. (2007) Climatologia e Modelos de Dispersão de Poluentes no Vale do Rio Paraíba Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, *São José dos Campos* – SP, Brasil.

Ventos do Sul Energia (2011) http://www.ventosdosulenergia.com.br/highres.php em 09/08/2011

Wind Force, (2003) A blue print to achiev e 12% of the world's electricity from wind power by 2020. *European wind energy association/Greenpeace*.

Zampiron, I. (2008). Avaliação das Características e Desempenho de Estruturas para Telecomunicações Visando o Projeto de Novo Modelo de Torre Autoportante, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil* – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

ANEXOS

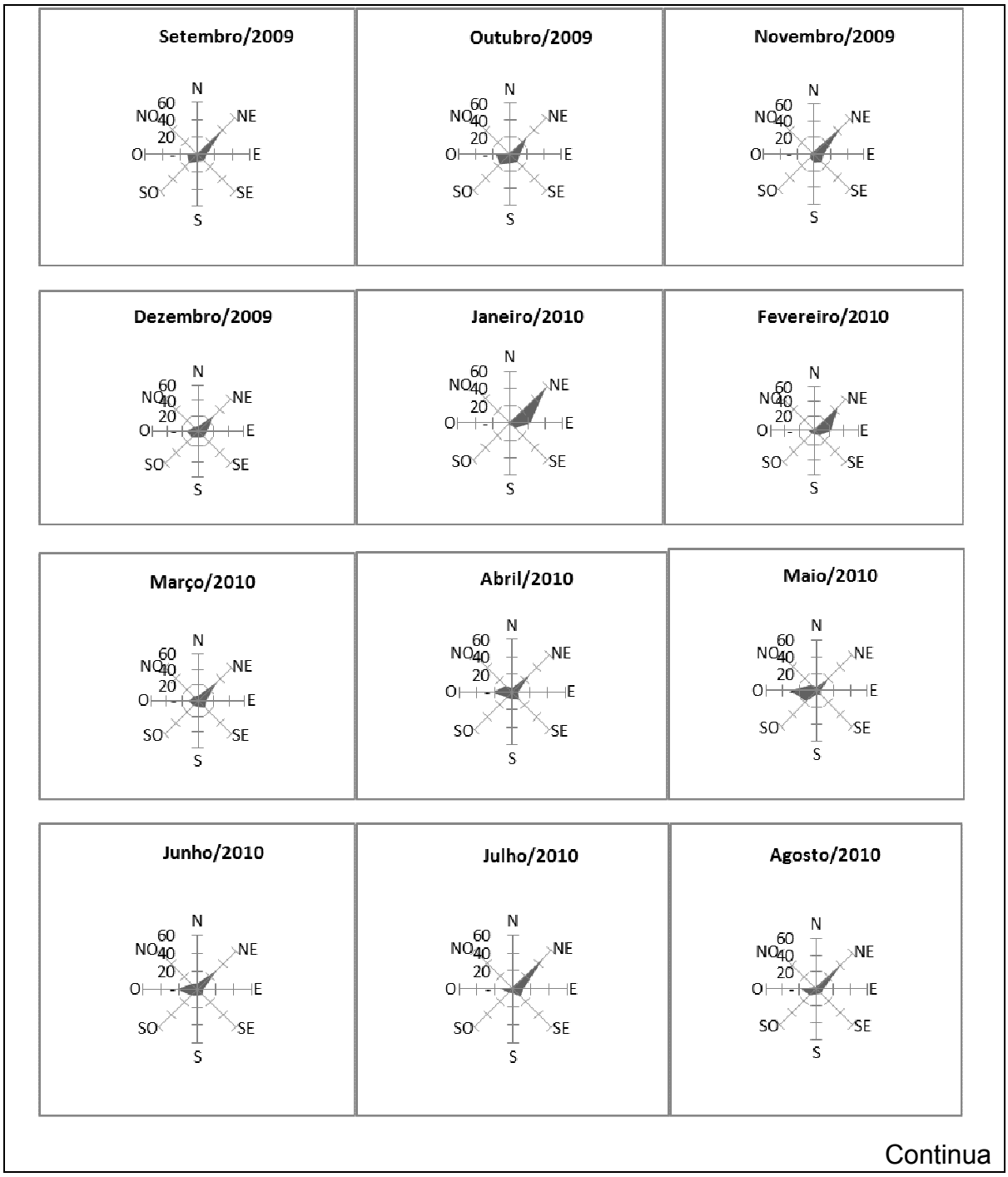


Figura 7: Rosa dos ventos mensal a 25 m de altura.

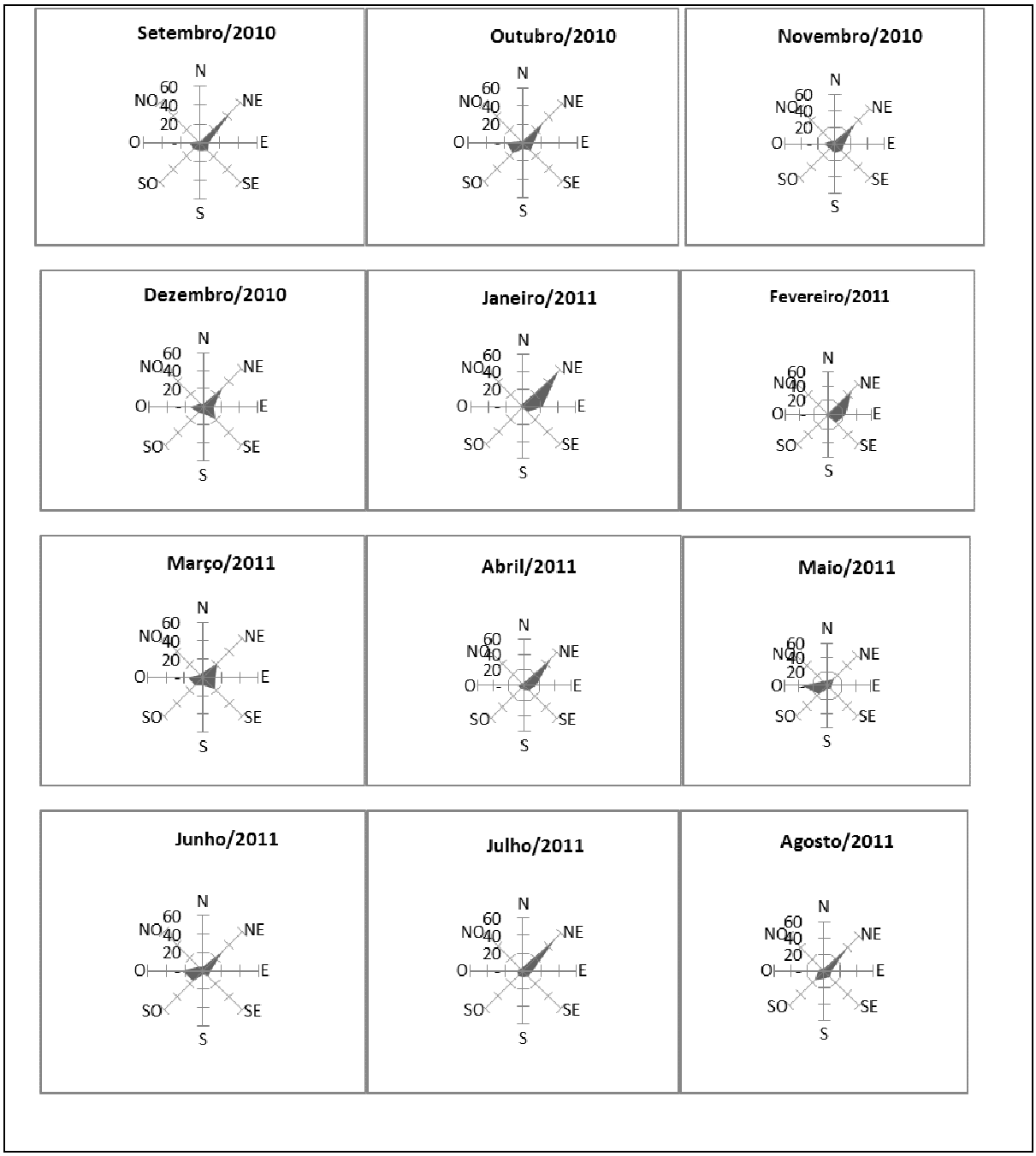


Figura 7: Rosa dos ventos mensal a 25 m de altura.

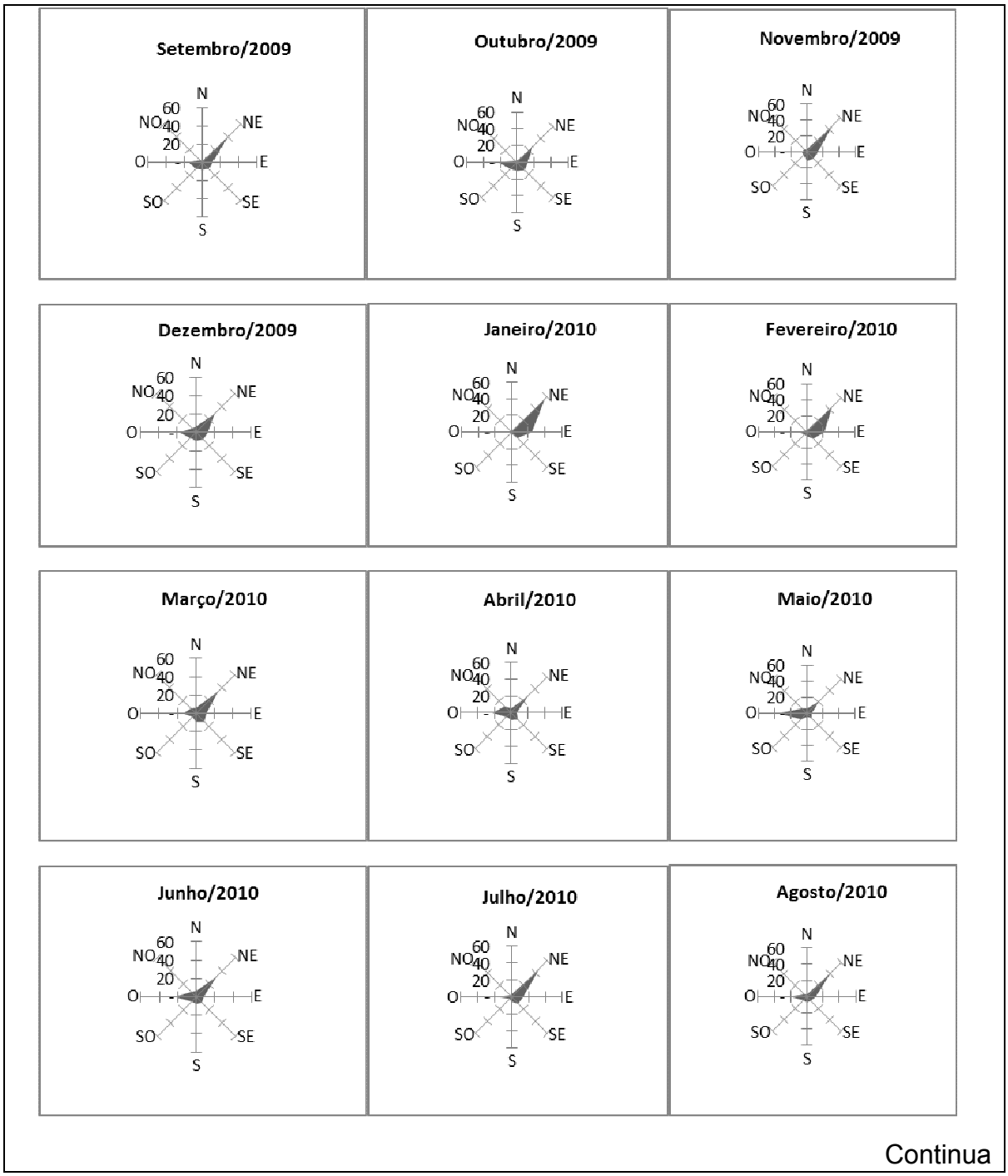


Figura 8: Rosa dos ventos mensal a 15 m de altura.

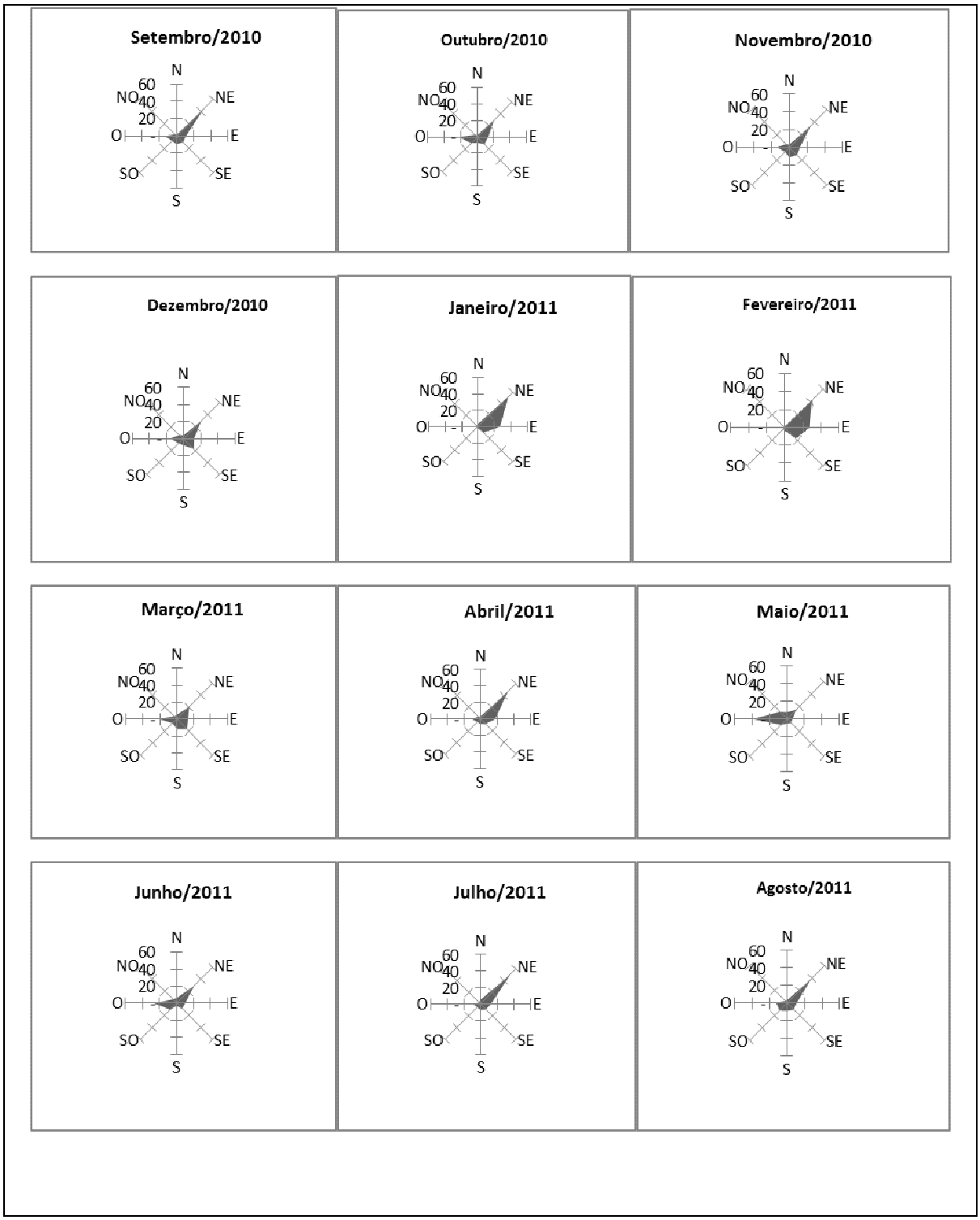


Figura 8: Rosa dos ventos mensal a 15 m de altura.

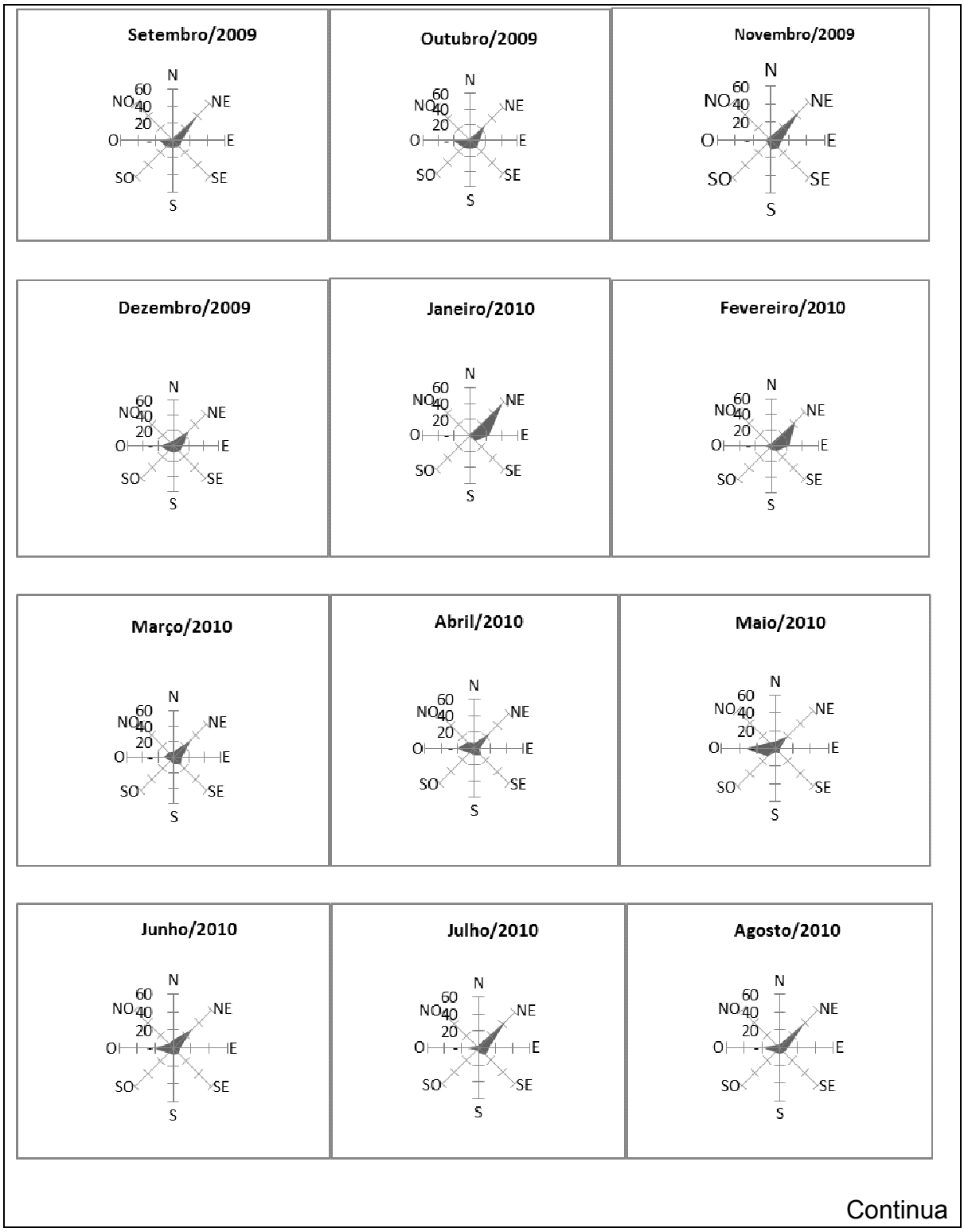


Figura 9: Rosa dos ventos a 12 m de altura.

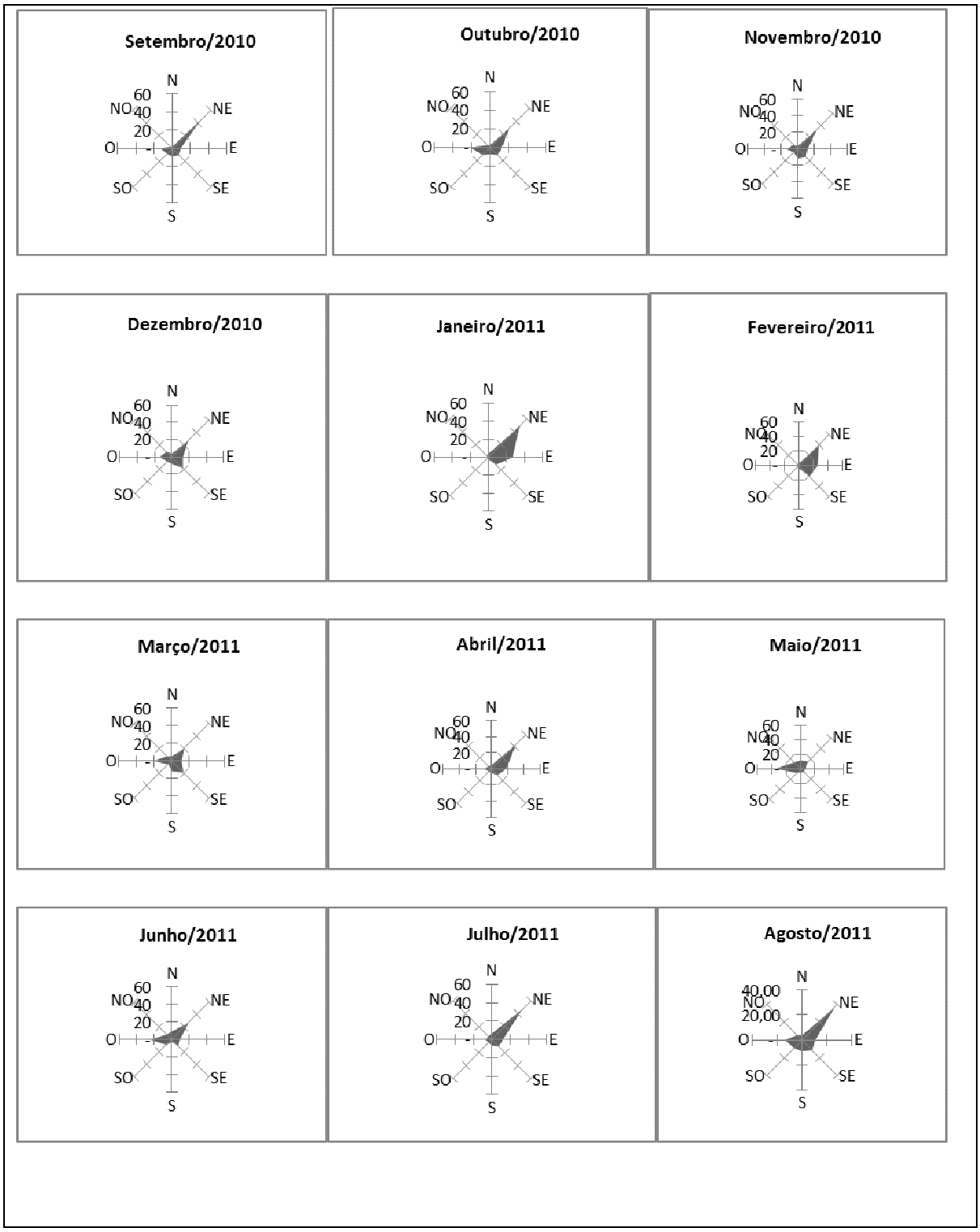


Figura 9: Rosa dos ventos a 12 m de altura.

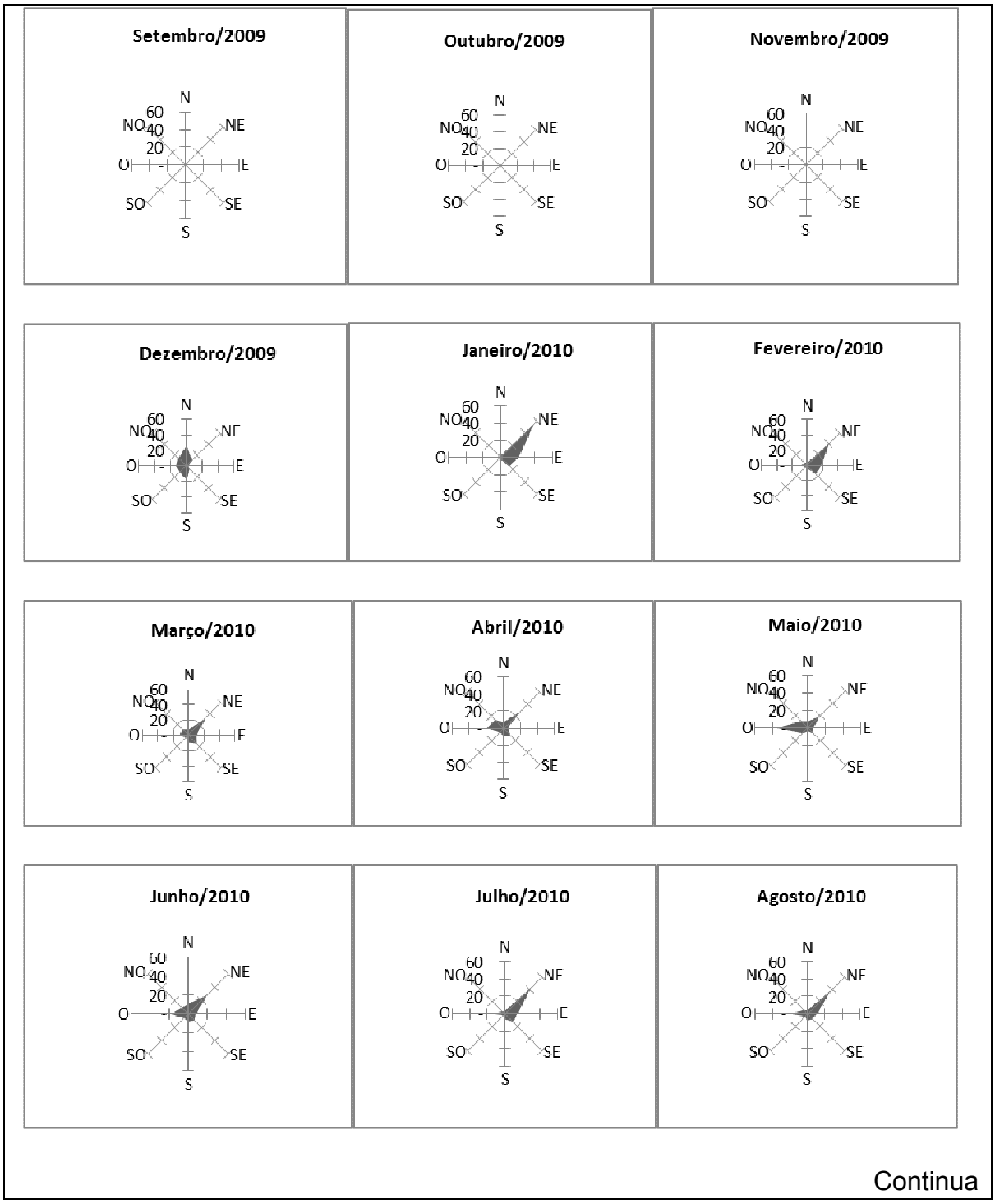


Figura 10: Rosa dos ventos mensal a 6 m de altura.

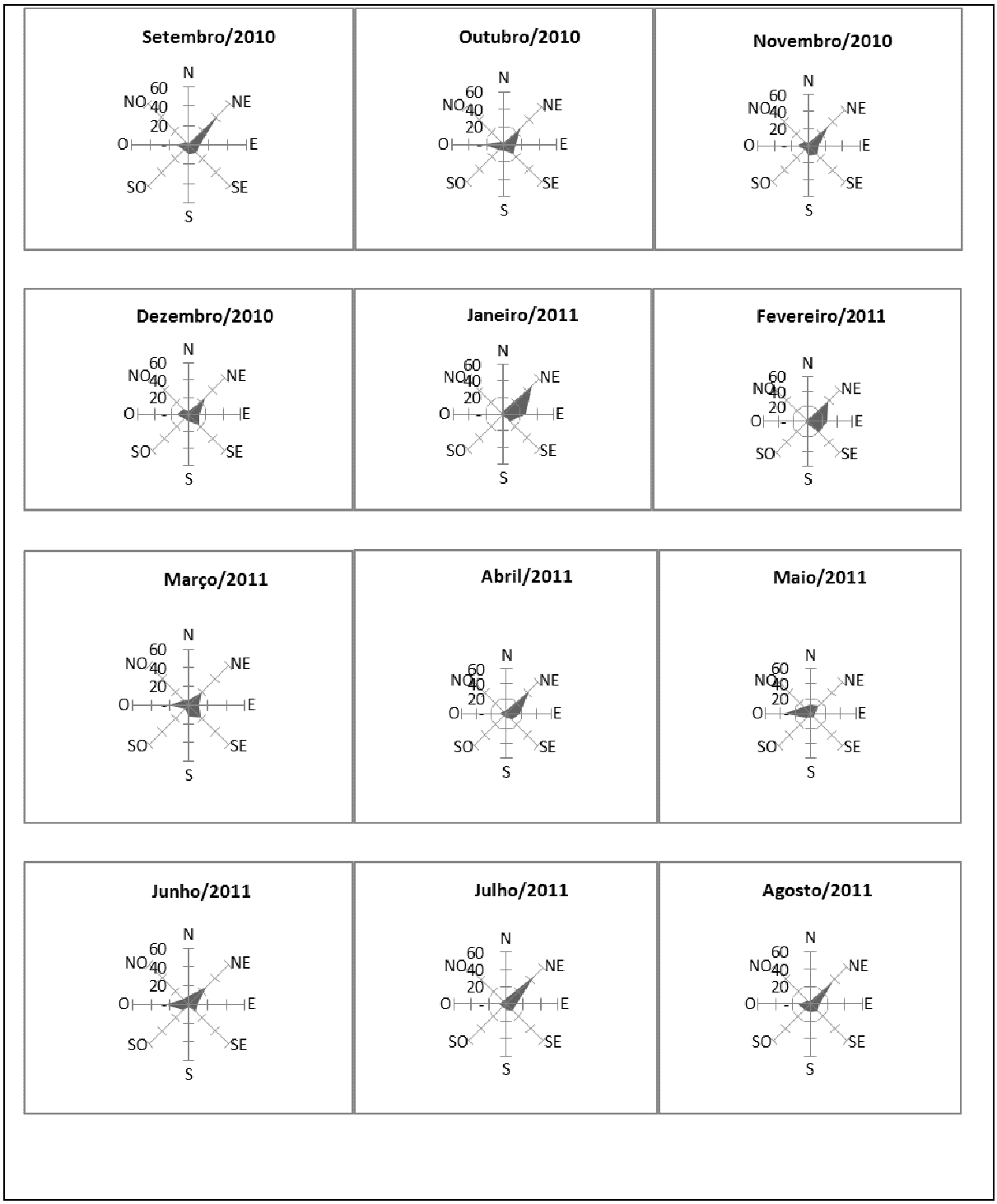


Figura 10: Rosa dos ventos mensal a 6 m de altura.

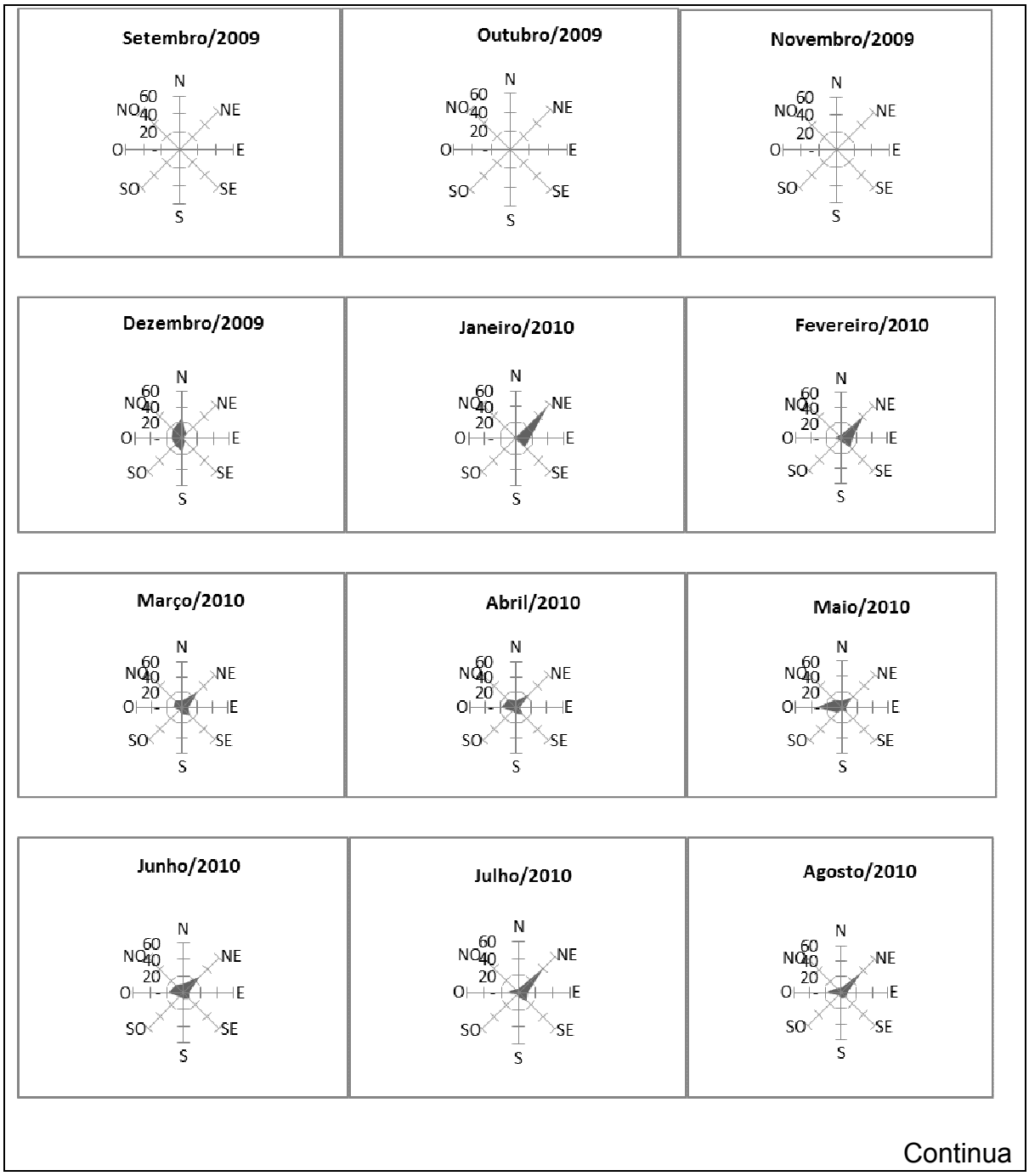


Figura 11: Rosa dos ventos a 3 m de altura.

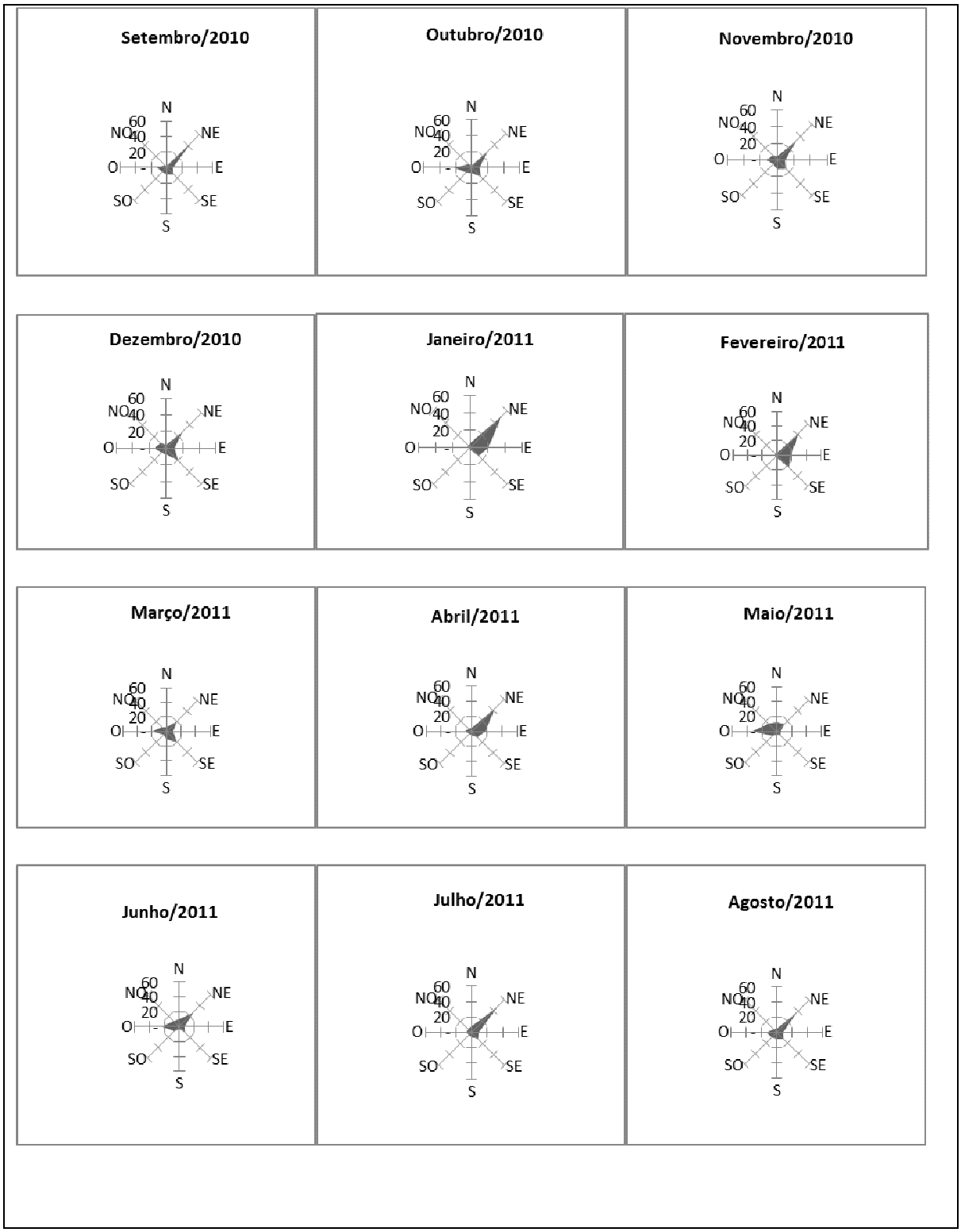
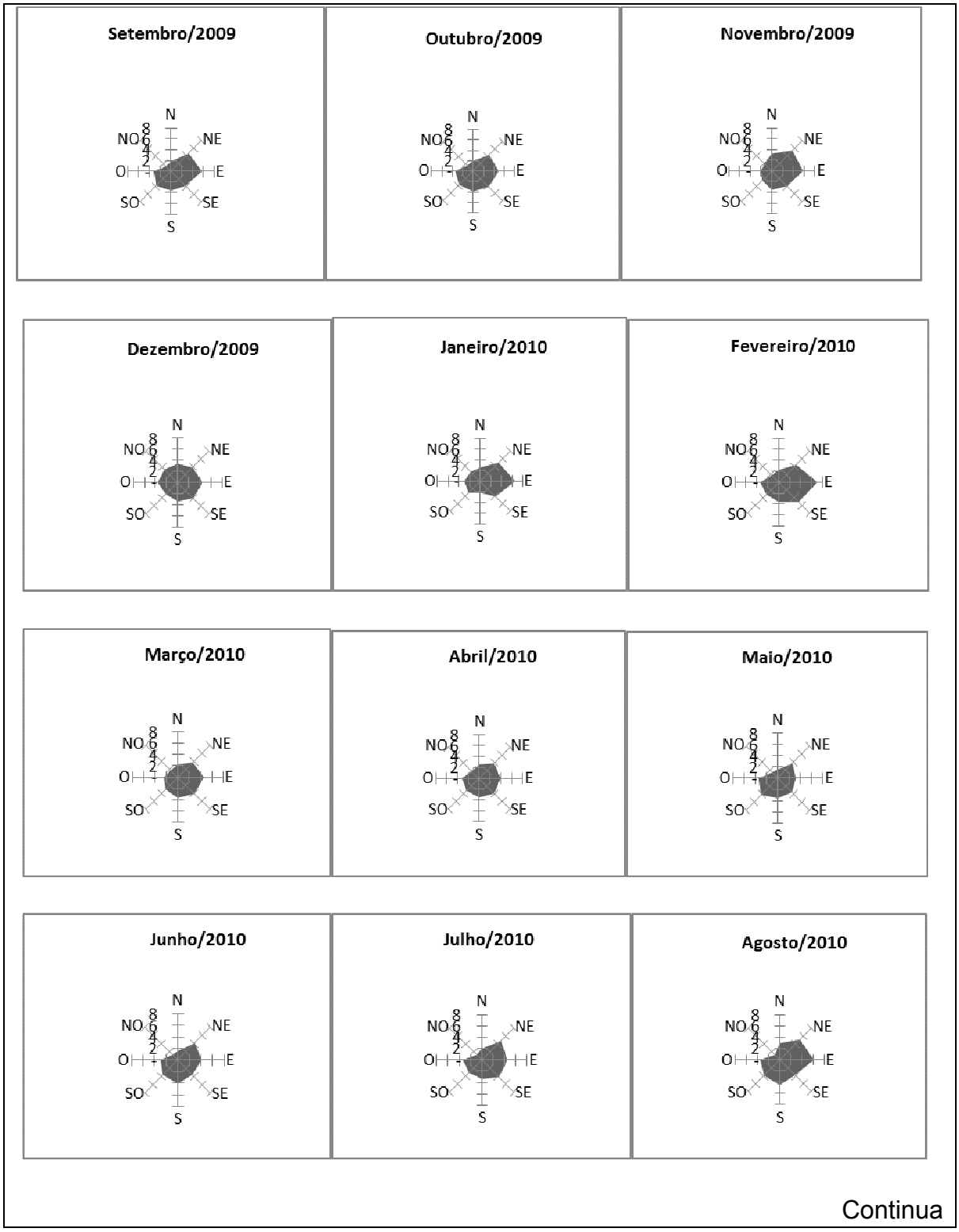


Figura 11: Rosa dos ventos a 3 m de altura.



Continua

Figura 15: Direção e velocidade média mensal a 25 m de altura.

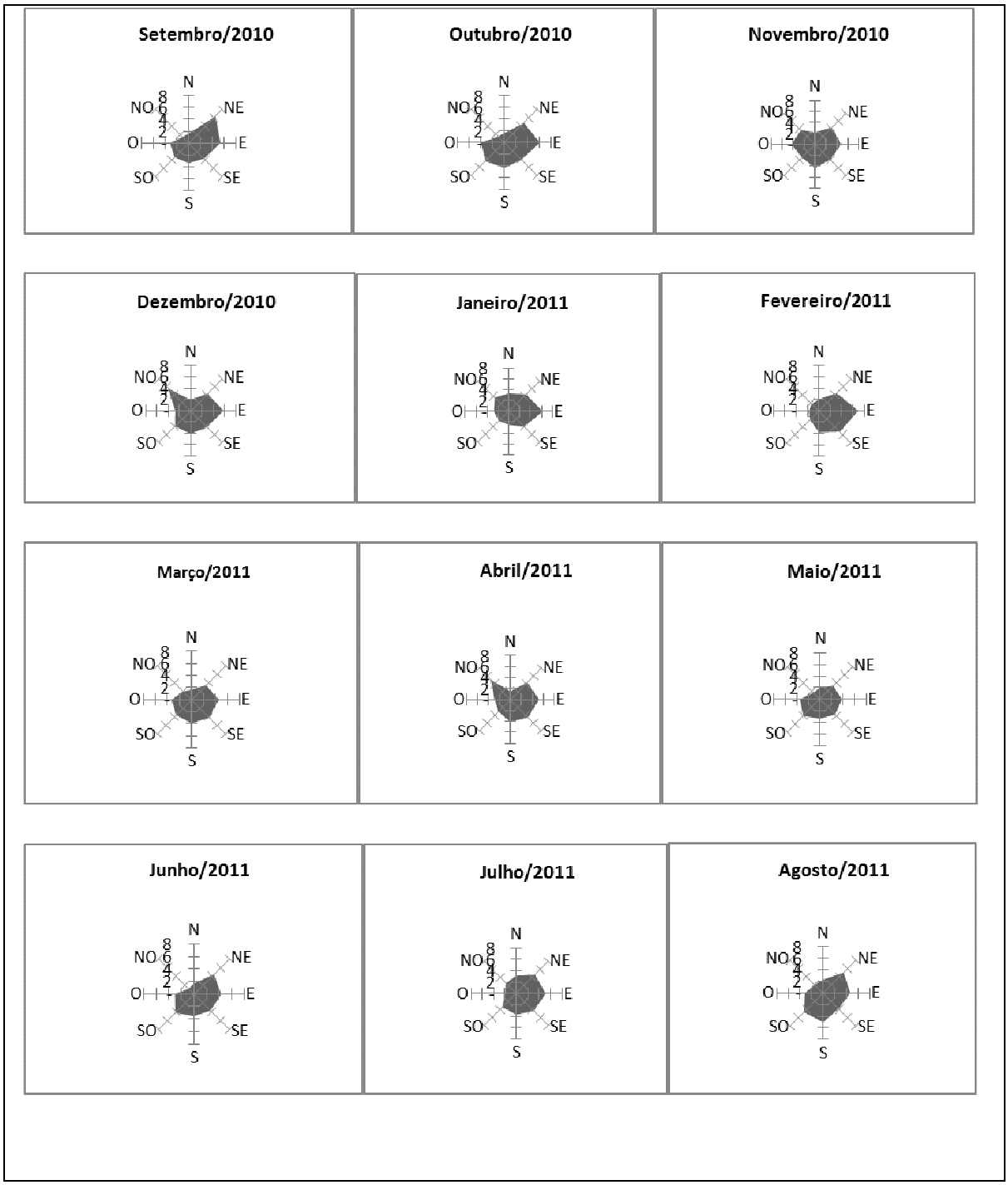
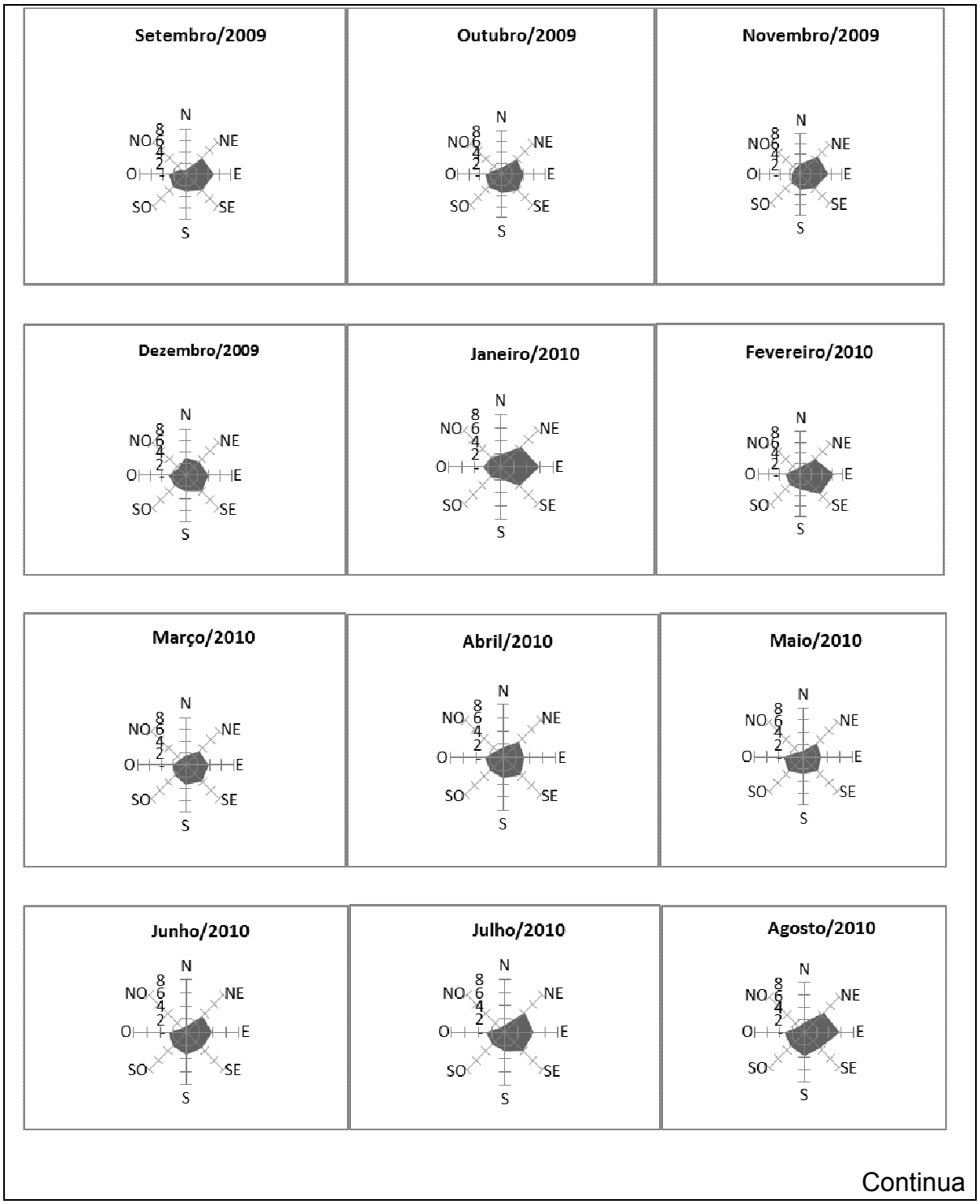


Figura 15: Direção e velocidade média mensal a 25 m de altura.



Continua

Figura 16: Direção e velocidade média mensal a 15 m de altura.

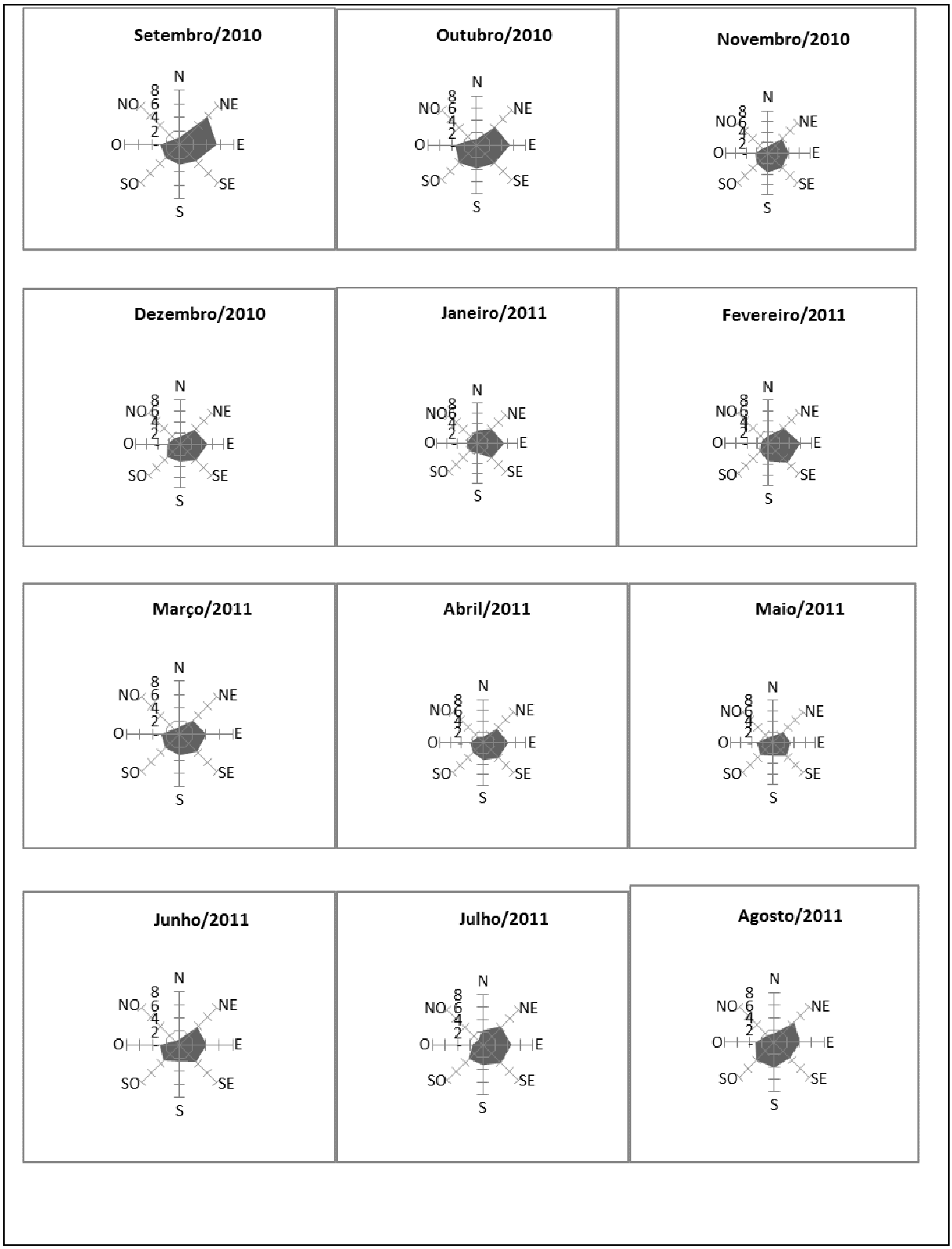


Figura 16: Direção e velocidade média mensal a 15 m de altura.

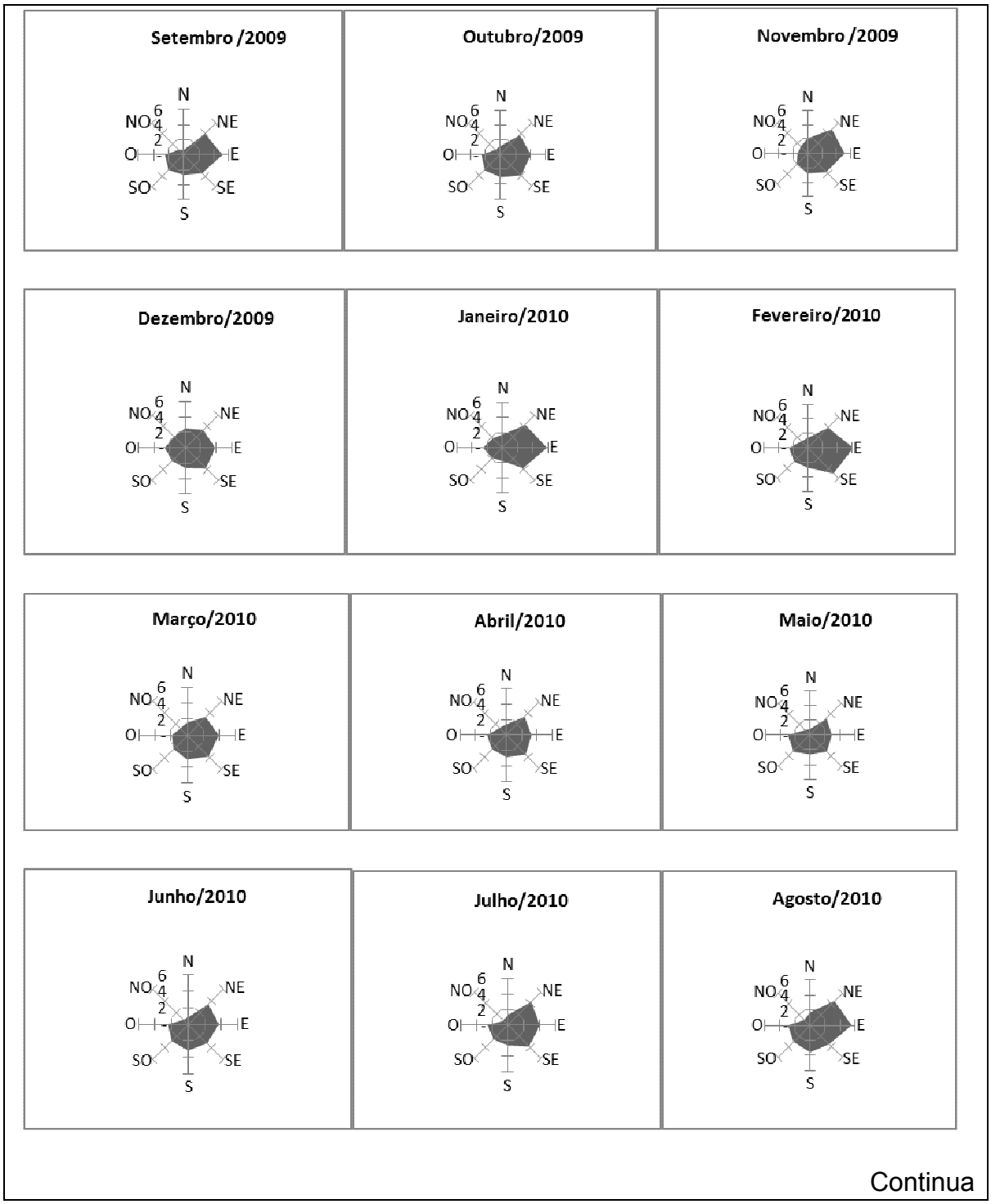


Figura 17: Direção e velocidade média mensal a 12 m de altura.

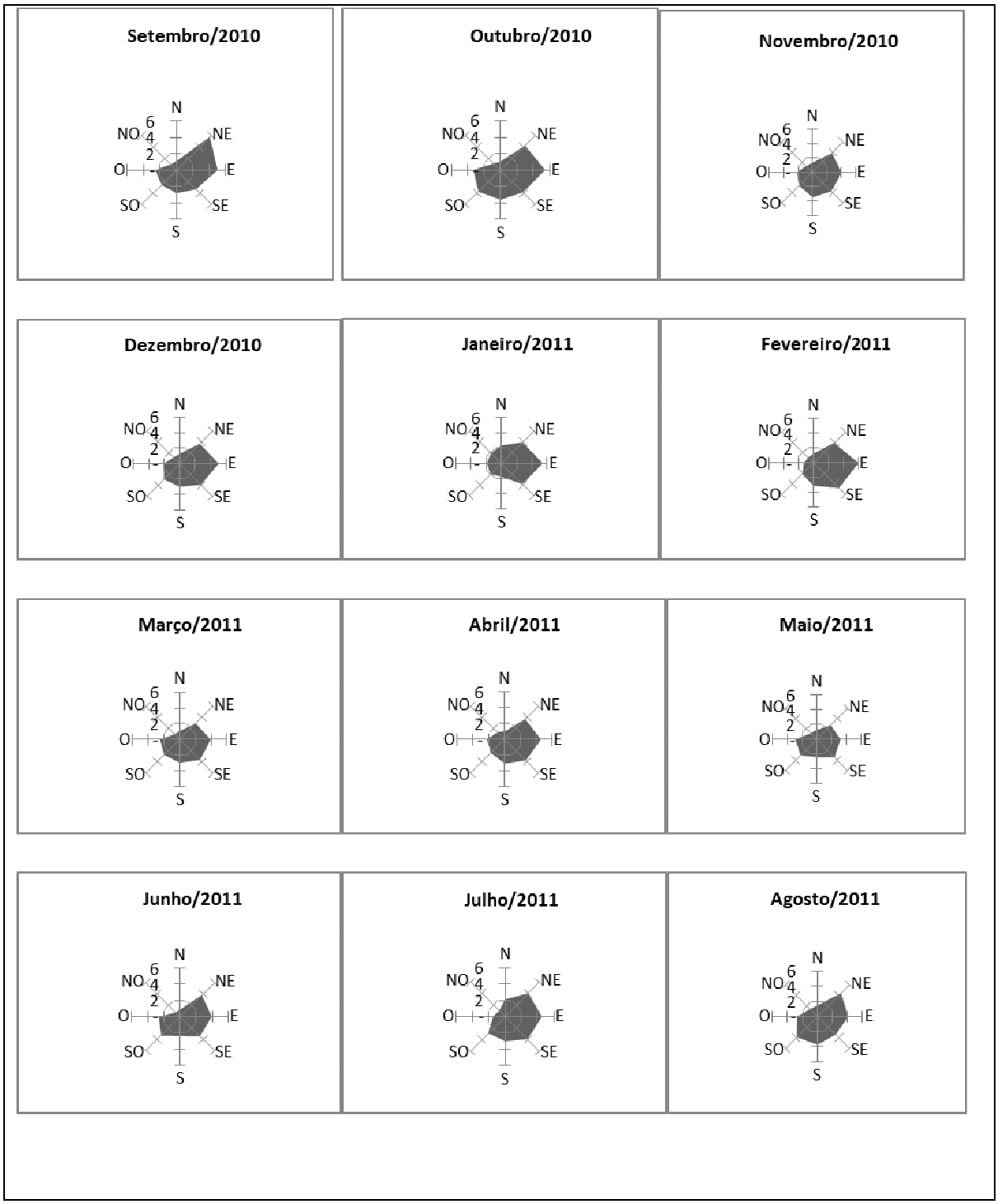


Figura 17: Direção e velocidade média mensal a 12 m de altura.

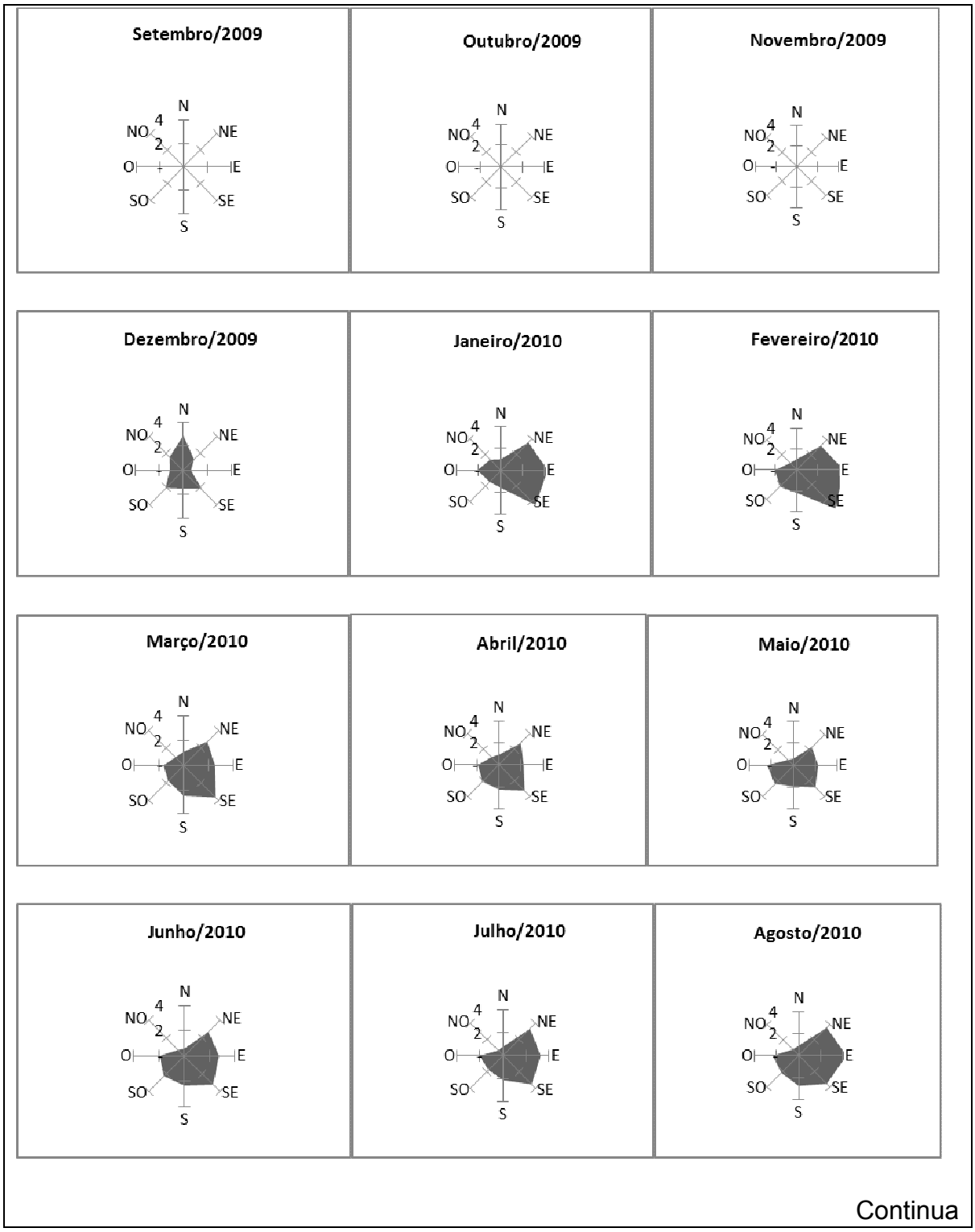


Figura 18: Direção e velocidade média mensal a 6 m de altura.

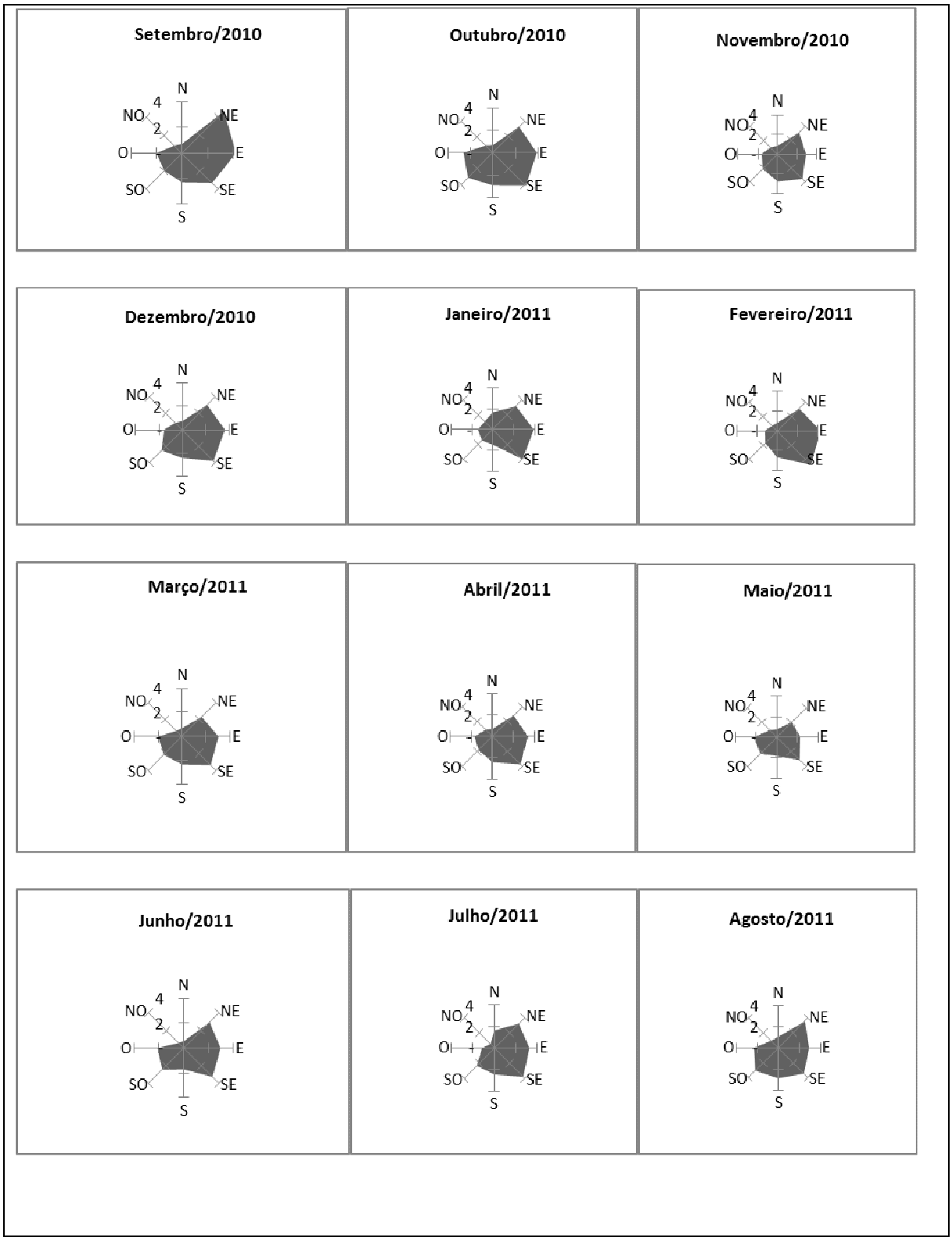


Figura 18: Direção e velocidade média mensal a 6 m de altura.

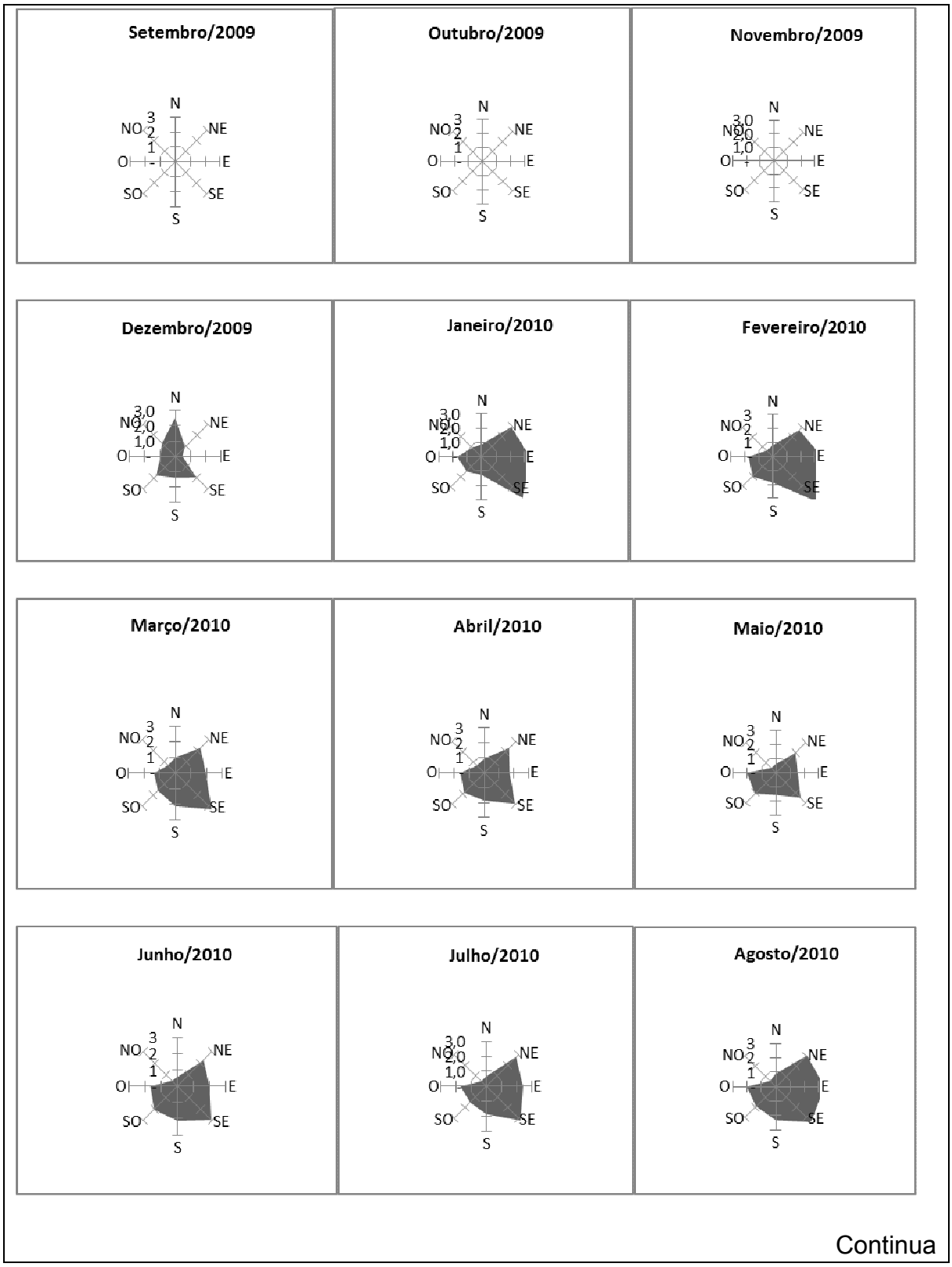


Figura 19: Direção e velocidade média mensal a 3 m de altura.

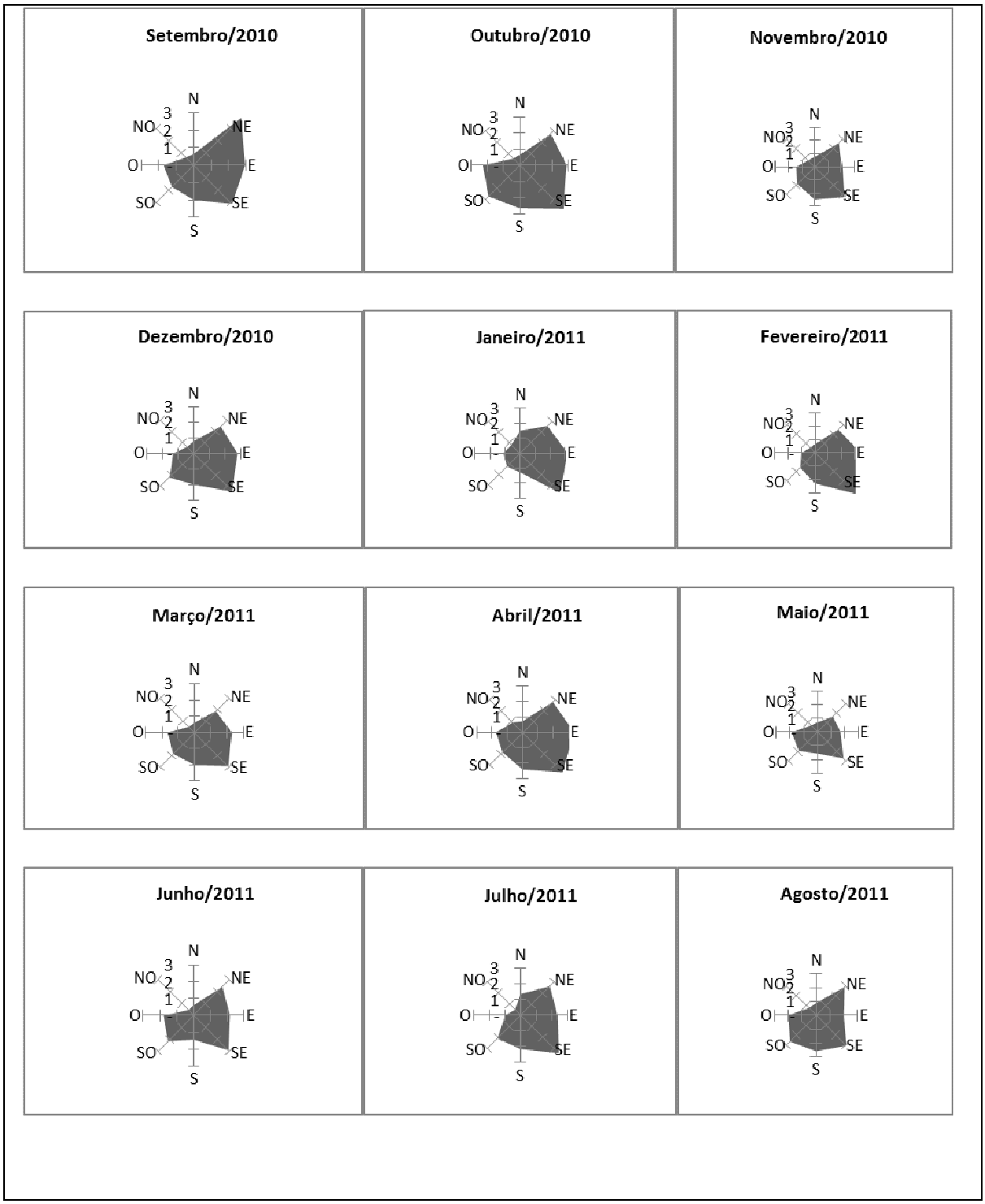
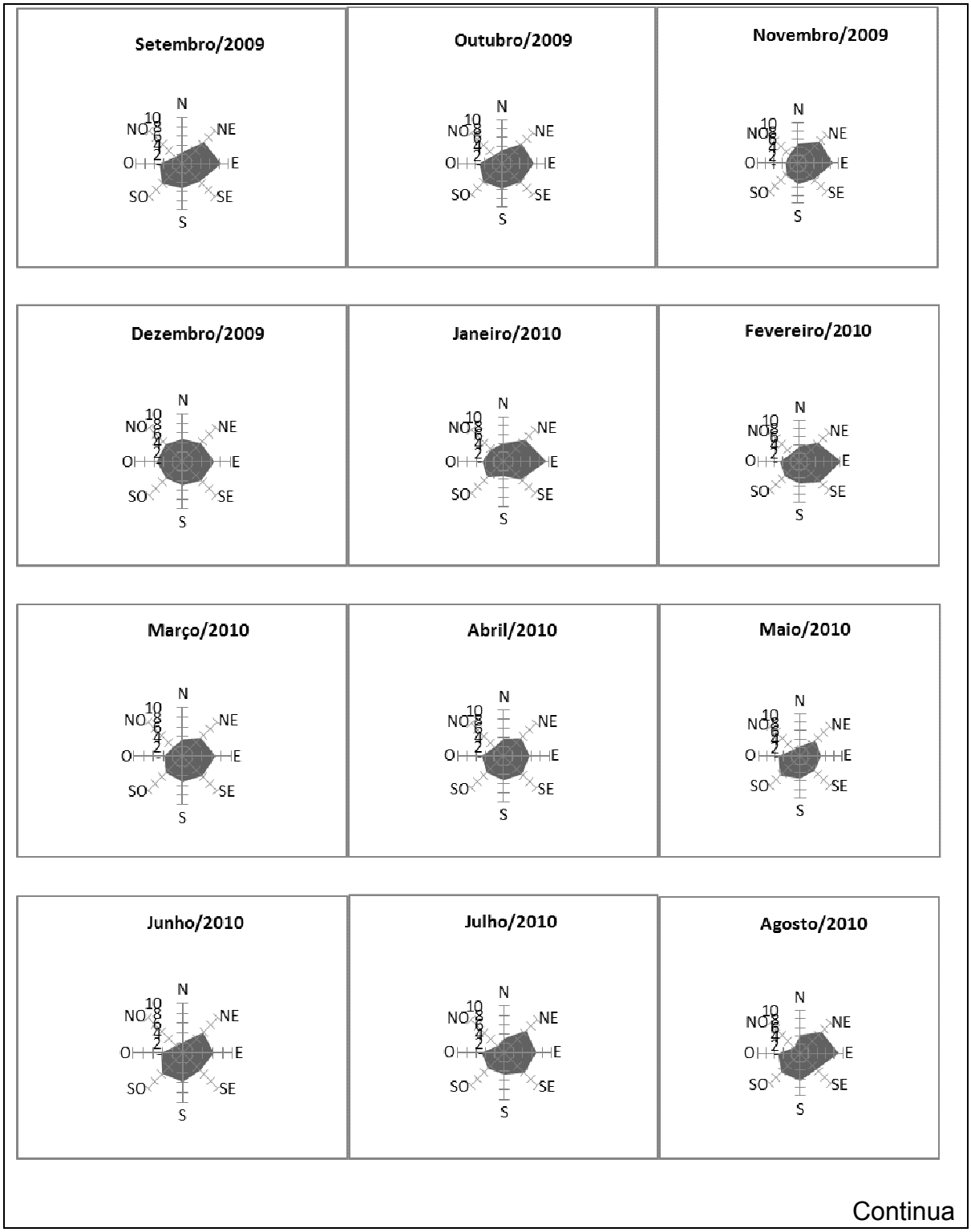


Figura 19: Direção e velocidade média mensal a 3 m de altura.



Continua

Figura 20: Direção e velocidade máxima mensal a 25 m de altura.

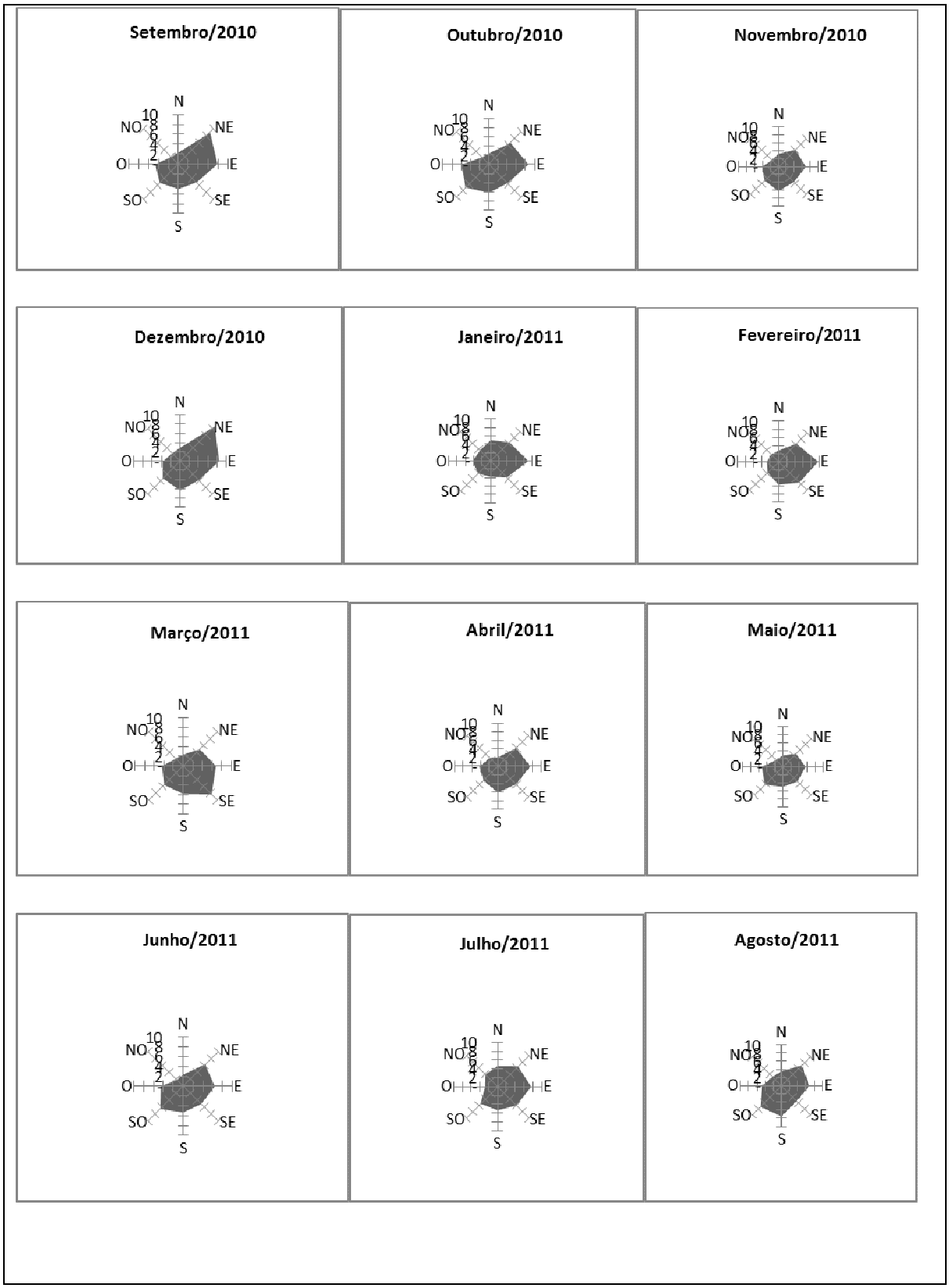
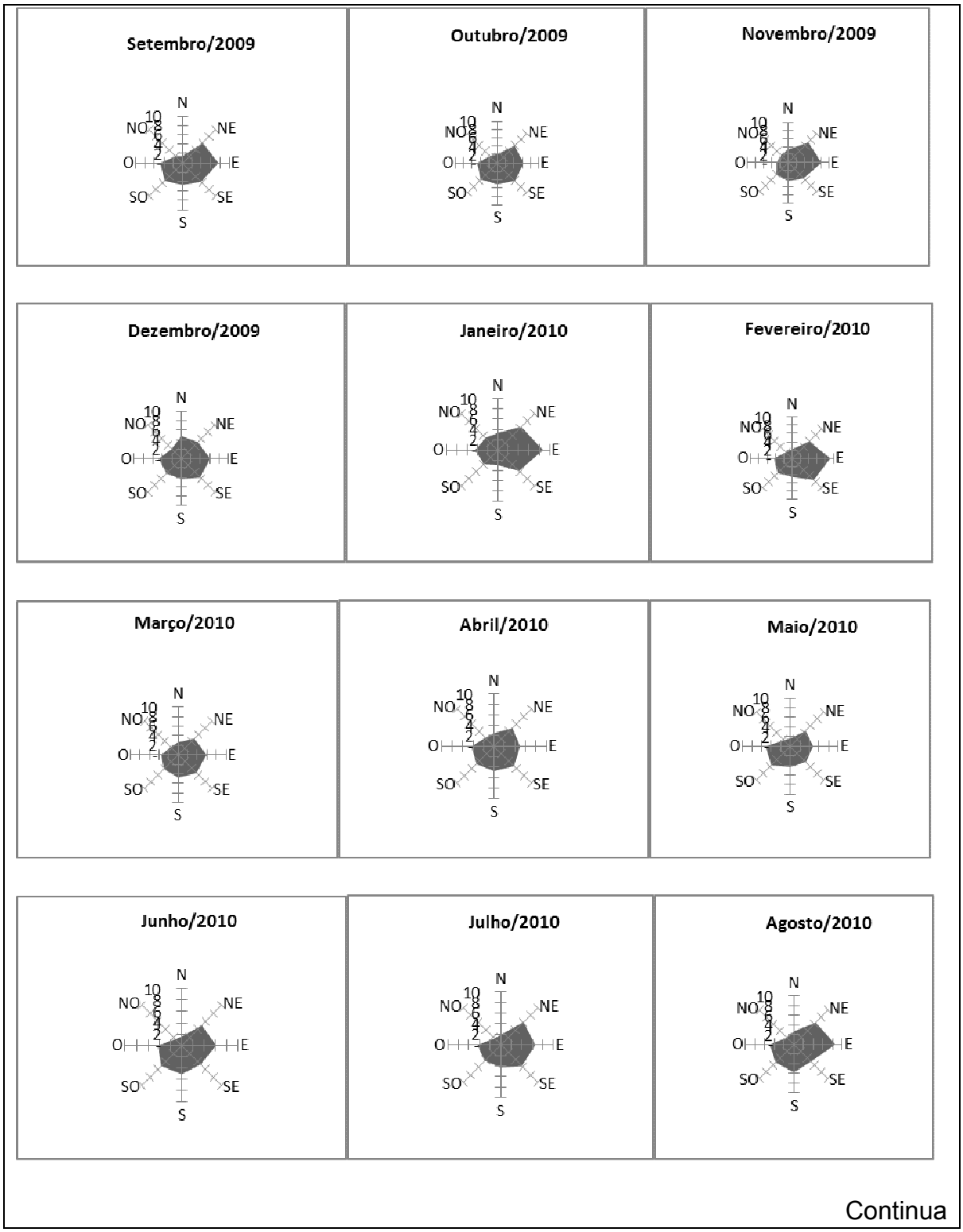


Figura 20: Direção e velocidade máxima mensal a 25 m de altura.



Continua

Figura 21: Direção e velocidade máxima mensal a 15 m de altura.

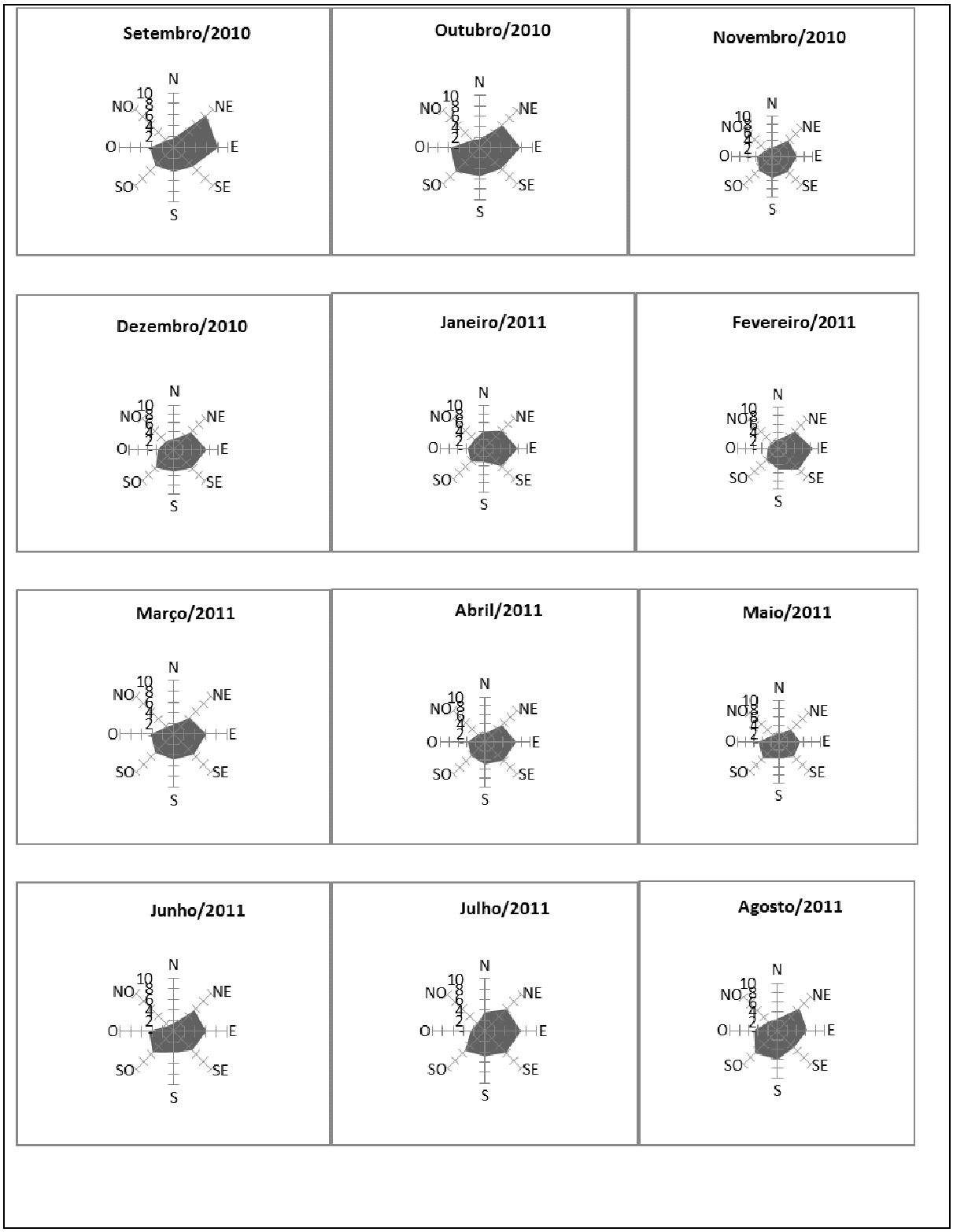
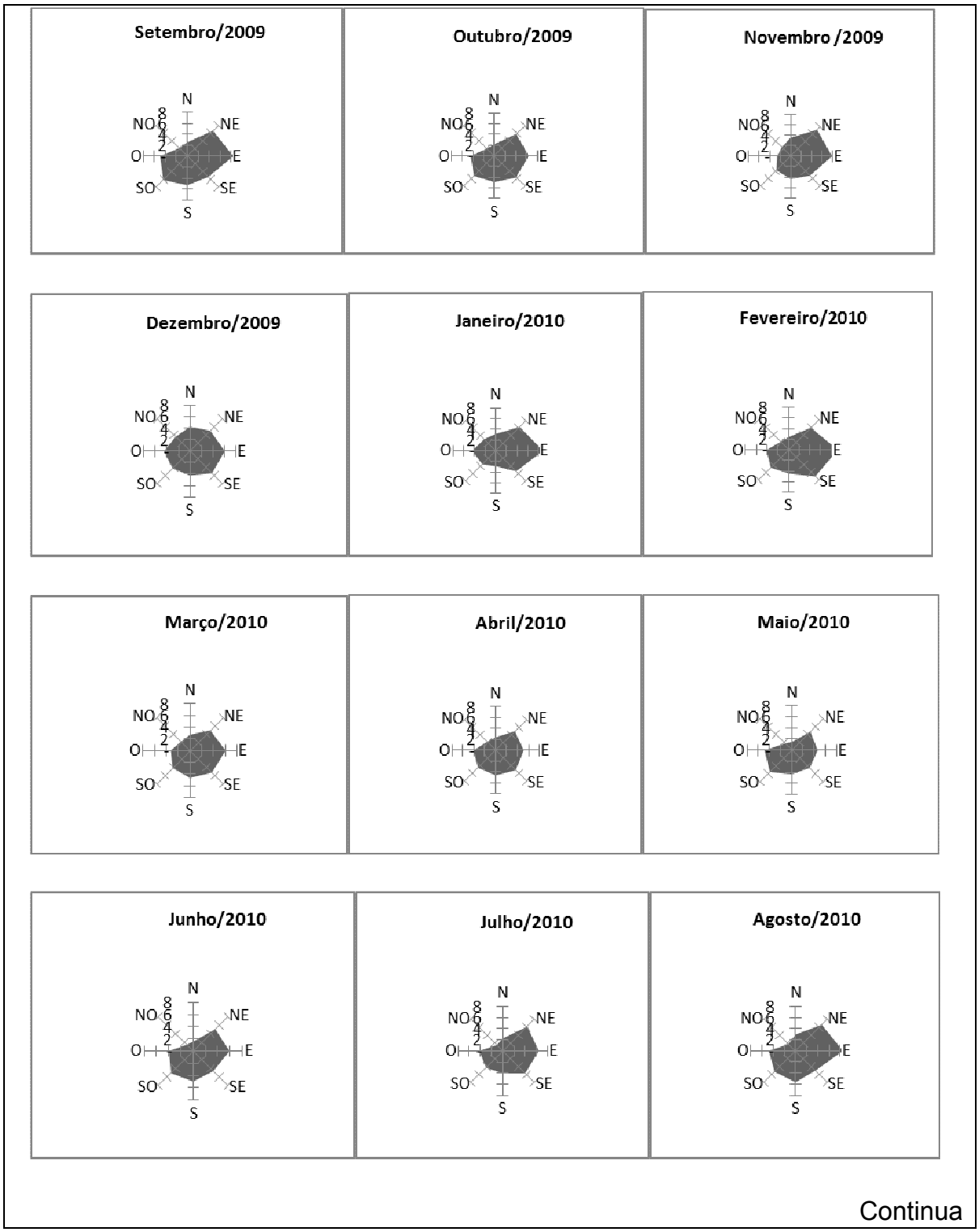


Figura 21: Direção e velocidade máxima mensal a 15 m de altura.



Continua

Figura 22: Direção e velocidade máxima mensal a 12 m de altura.

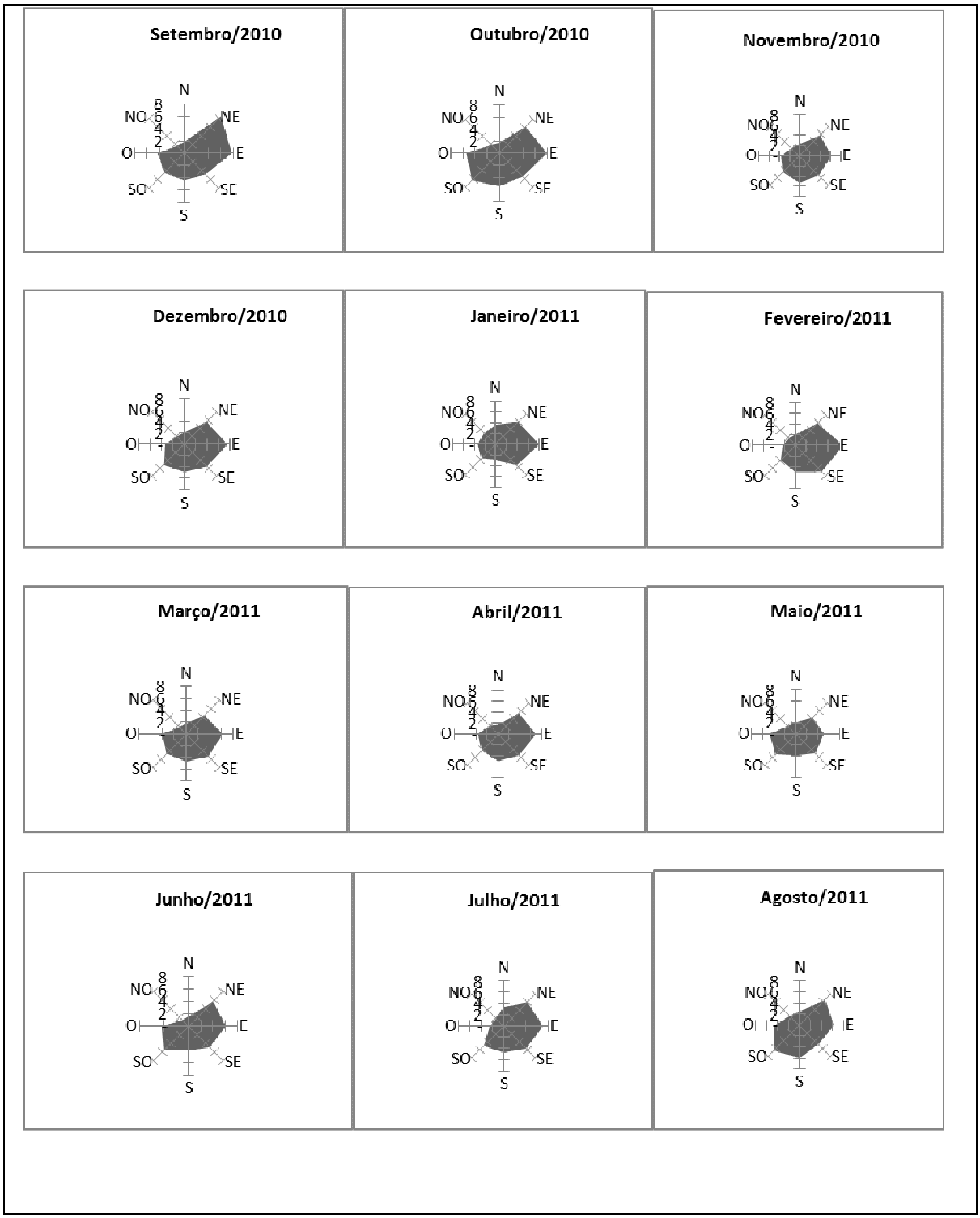


Figura 22: Direção e velocidade máxima mensal a 12 m de altura.

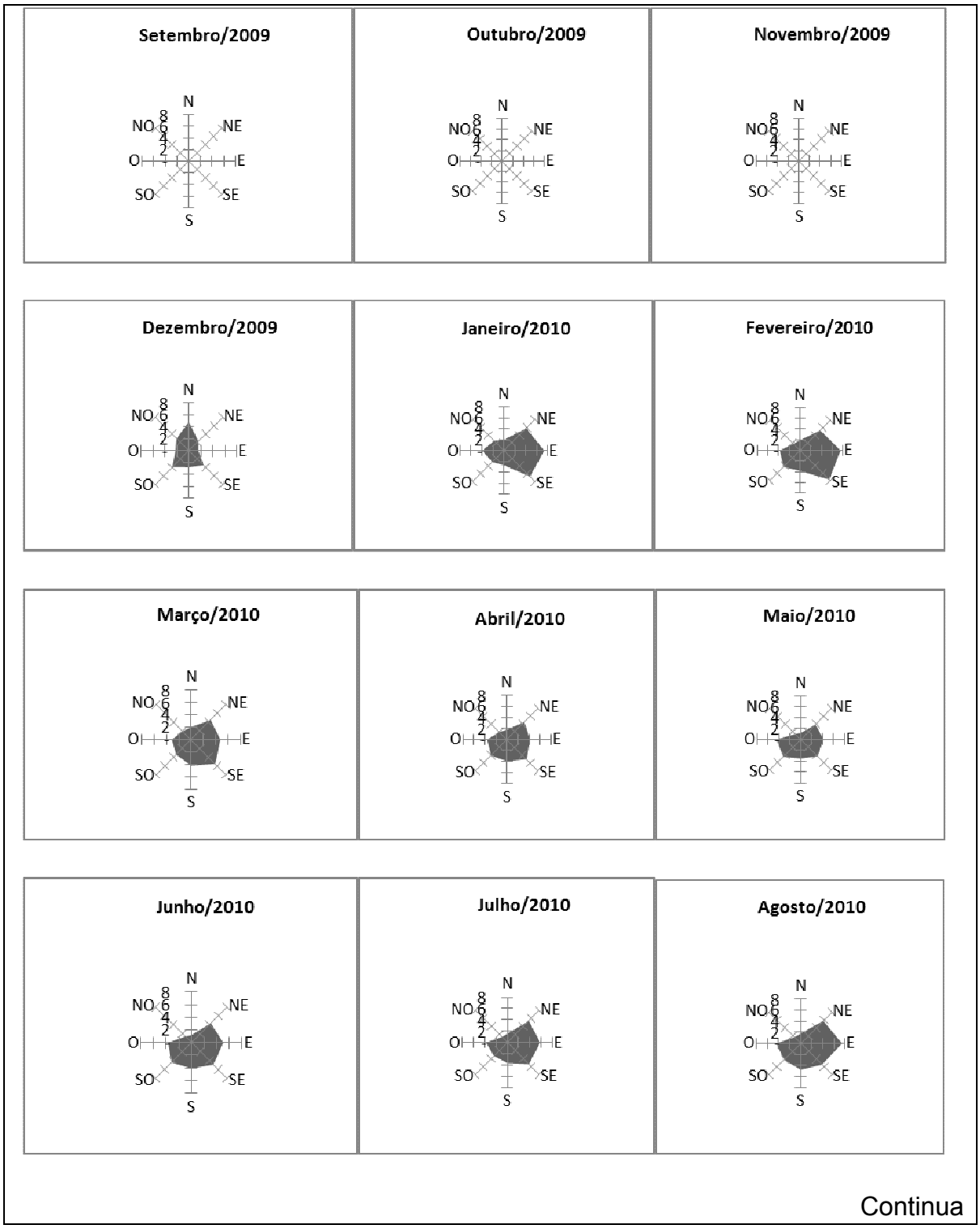


Figura 23: Direção e velocidade máxima mensal a 6 m de altura.

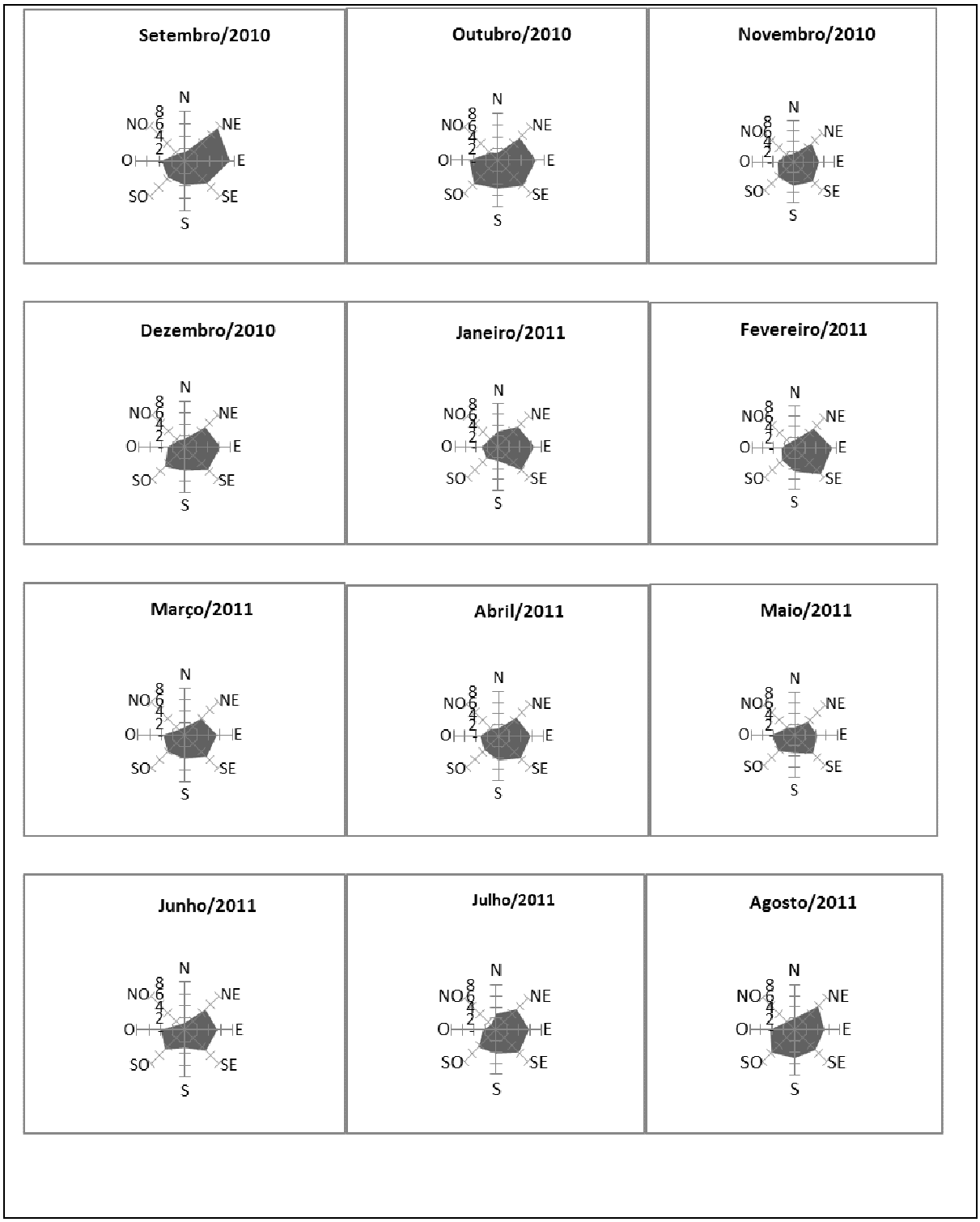


Figura 23: Direção e velocidade máxima mensal a 6 m de altura.

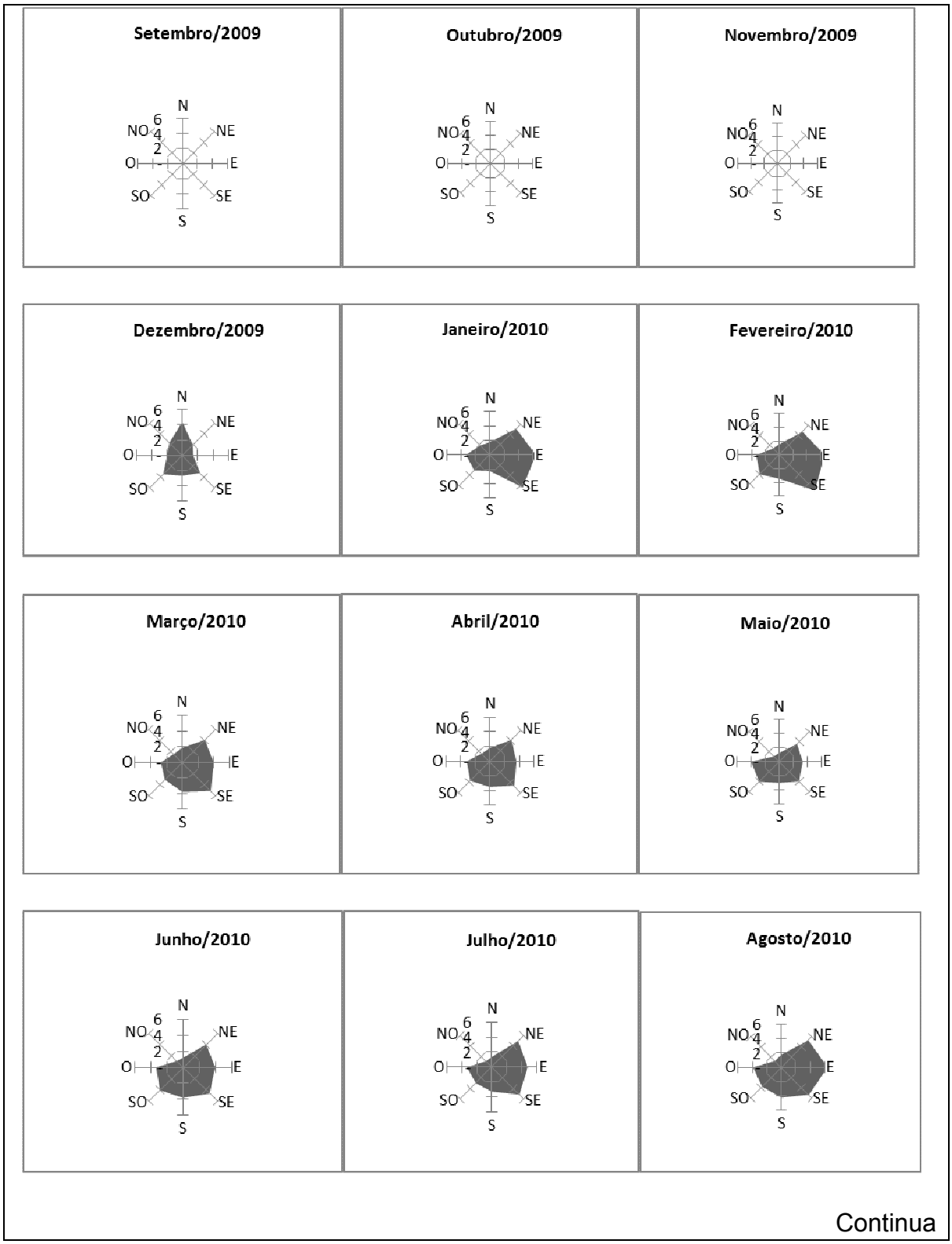


Figura 24: Direção e velocidade máxima mensal a 3 m de altura.

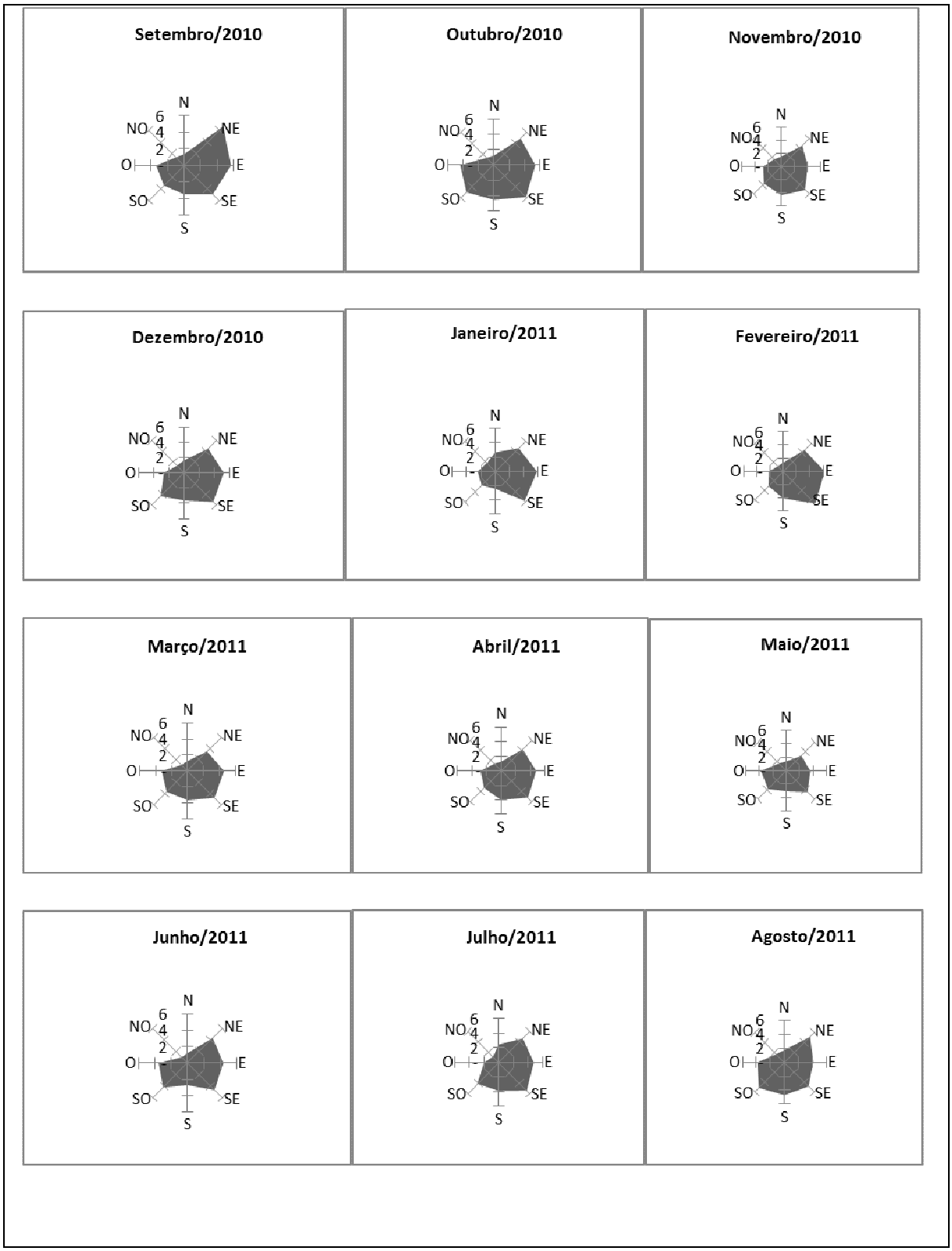


Figura 24: Direção e velocidade máxima mensal a 3 m de altura.

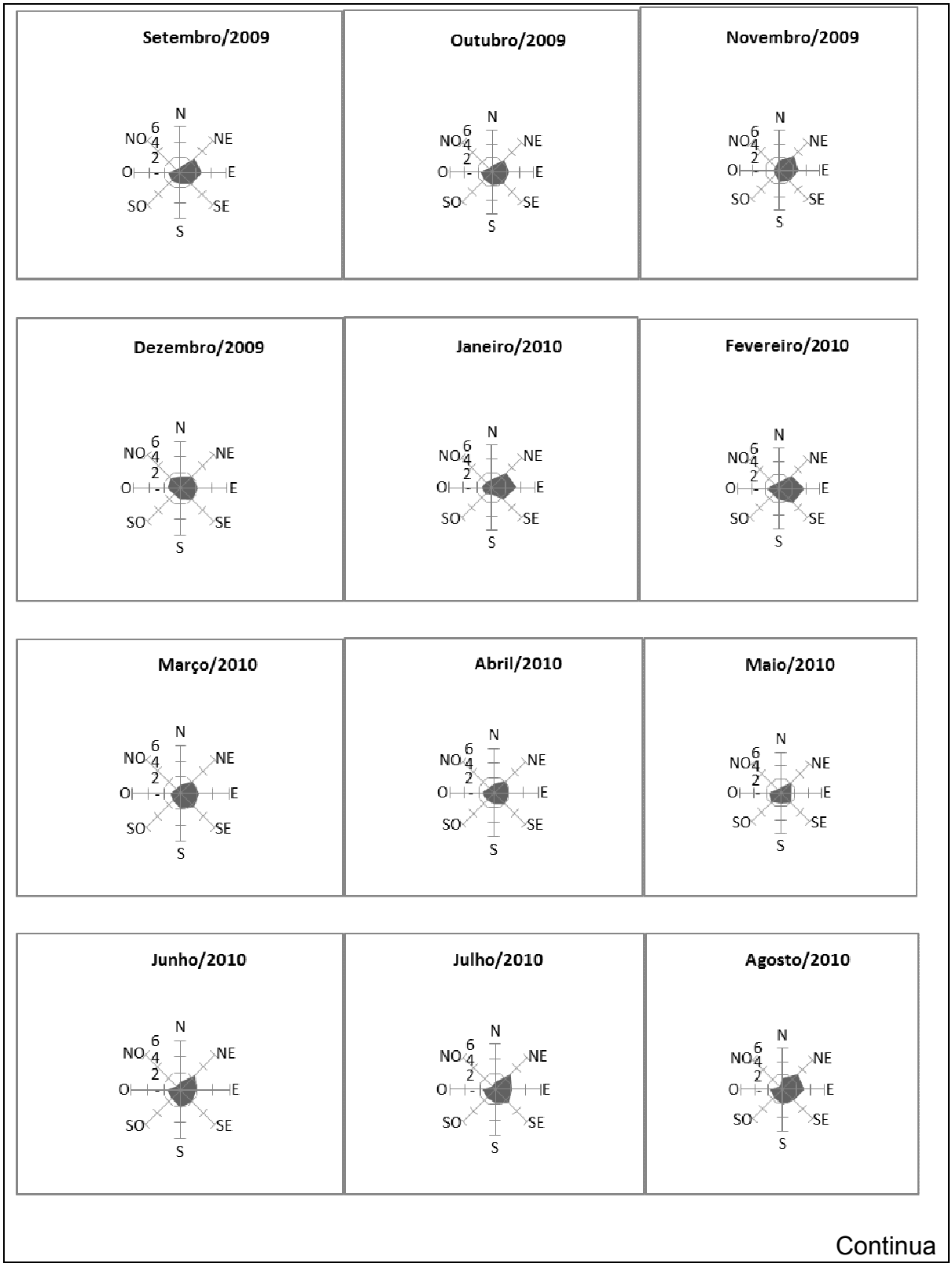


Figura 25: Direção e velocidade mínima mensal a 25 m de altura.

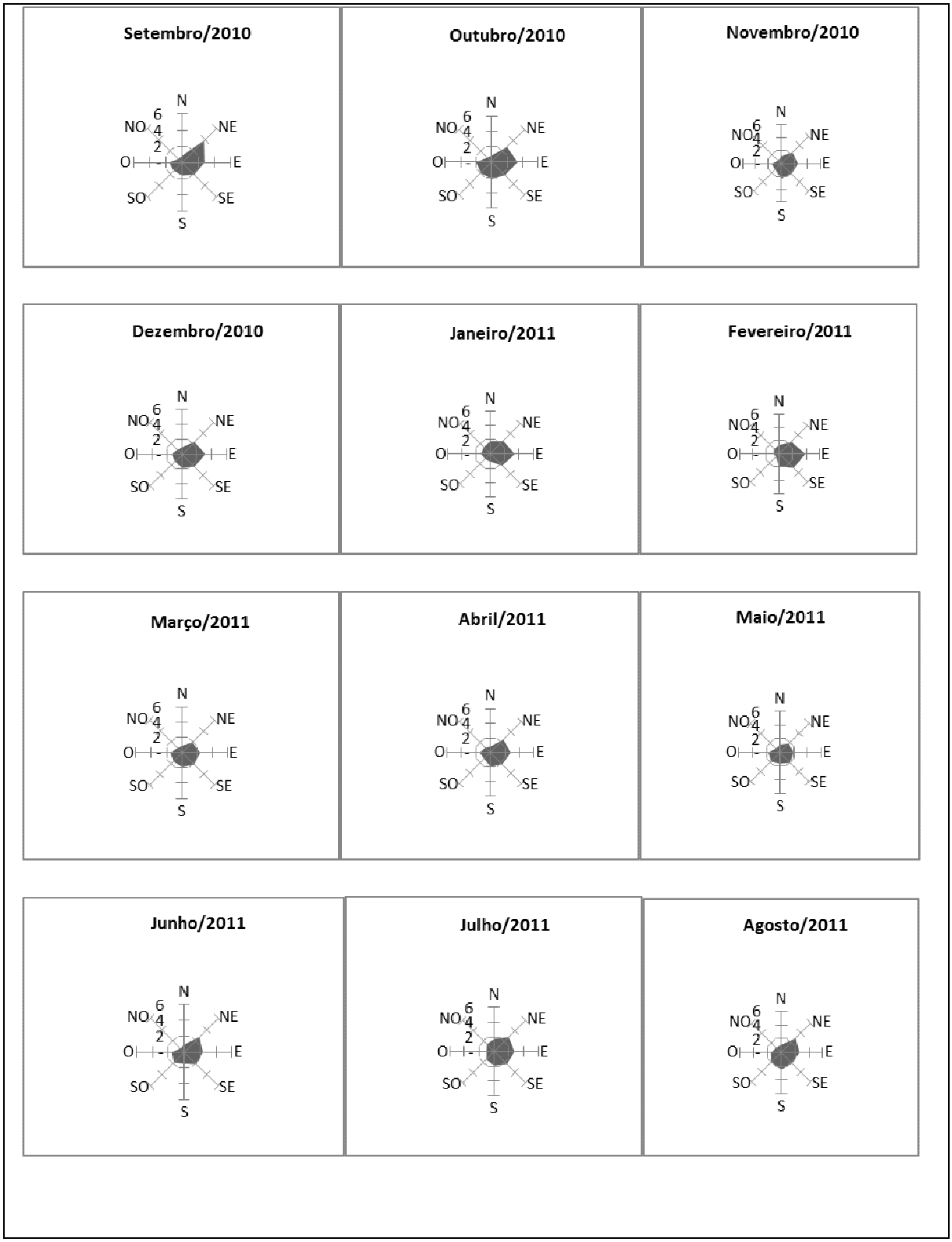


Figura 25: Direção e velocidade mínima mensal a 25 m de altura.

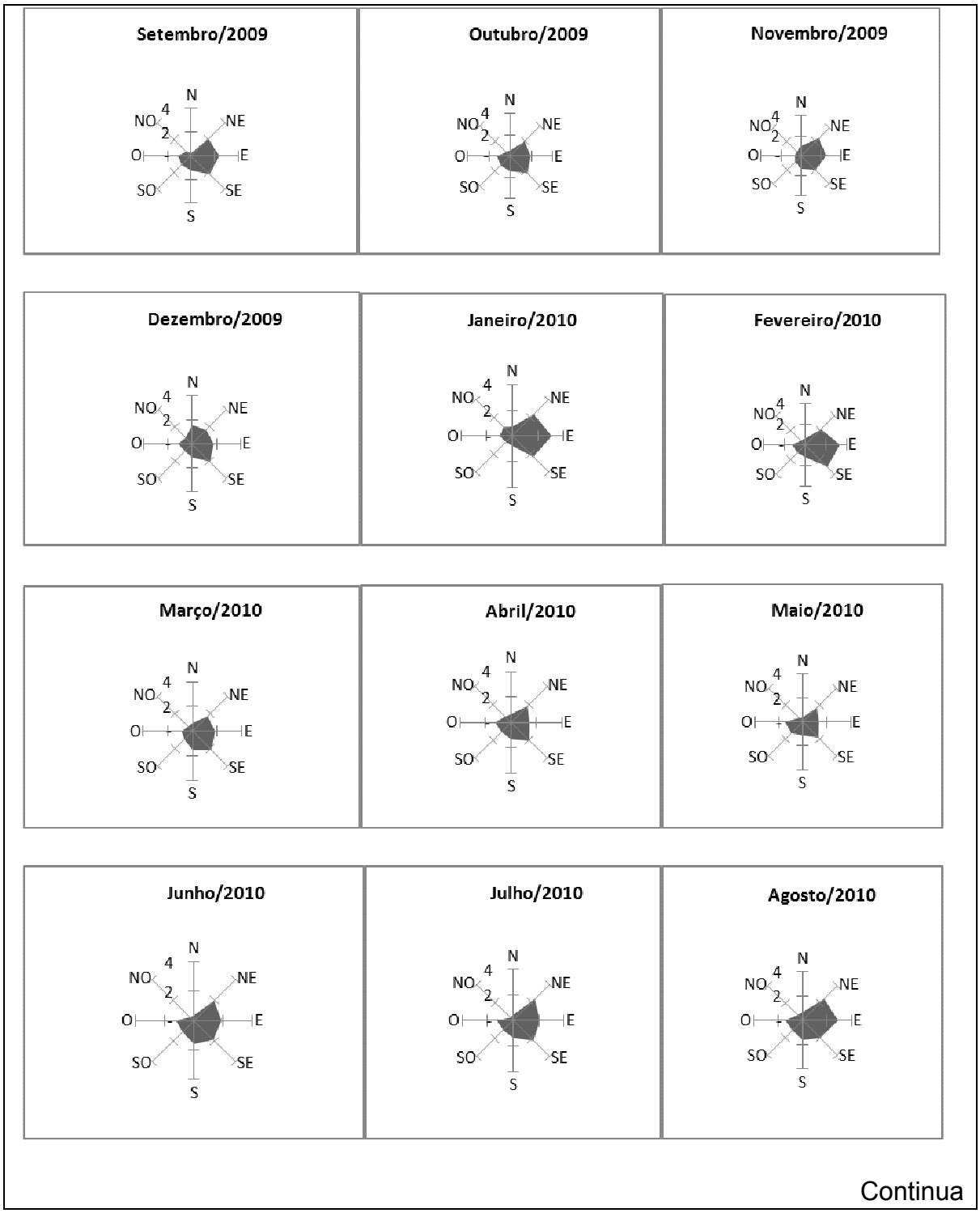


Figura 26: Direção e velocidade mínima a 15 m de altura.

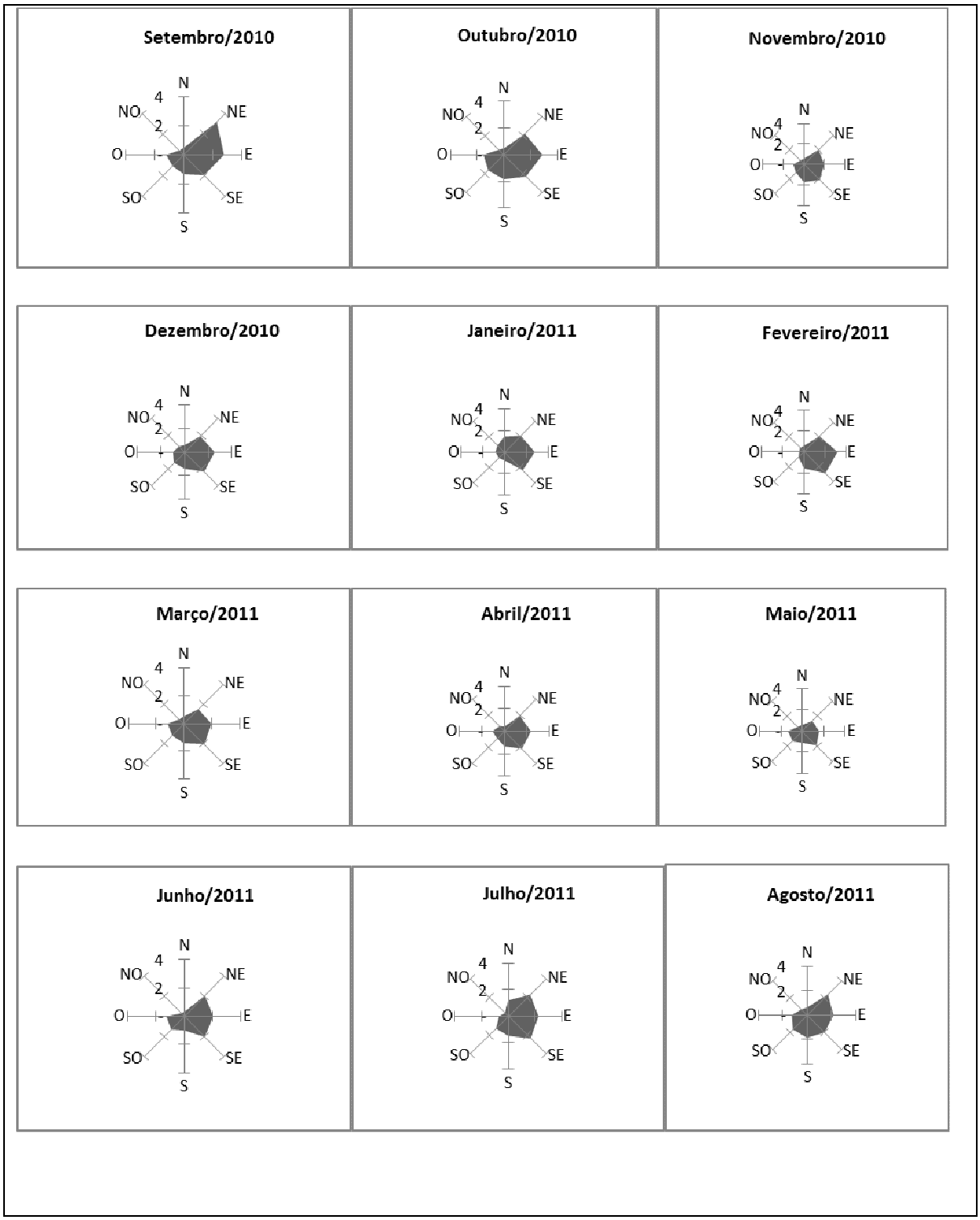


Figura 26: Direção e velocidade mínima a 15 m de altura.

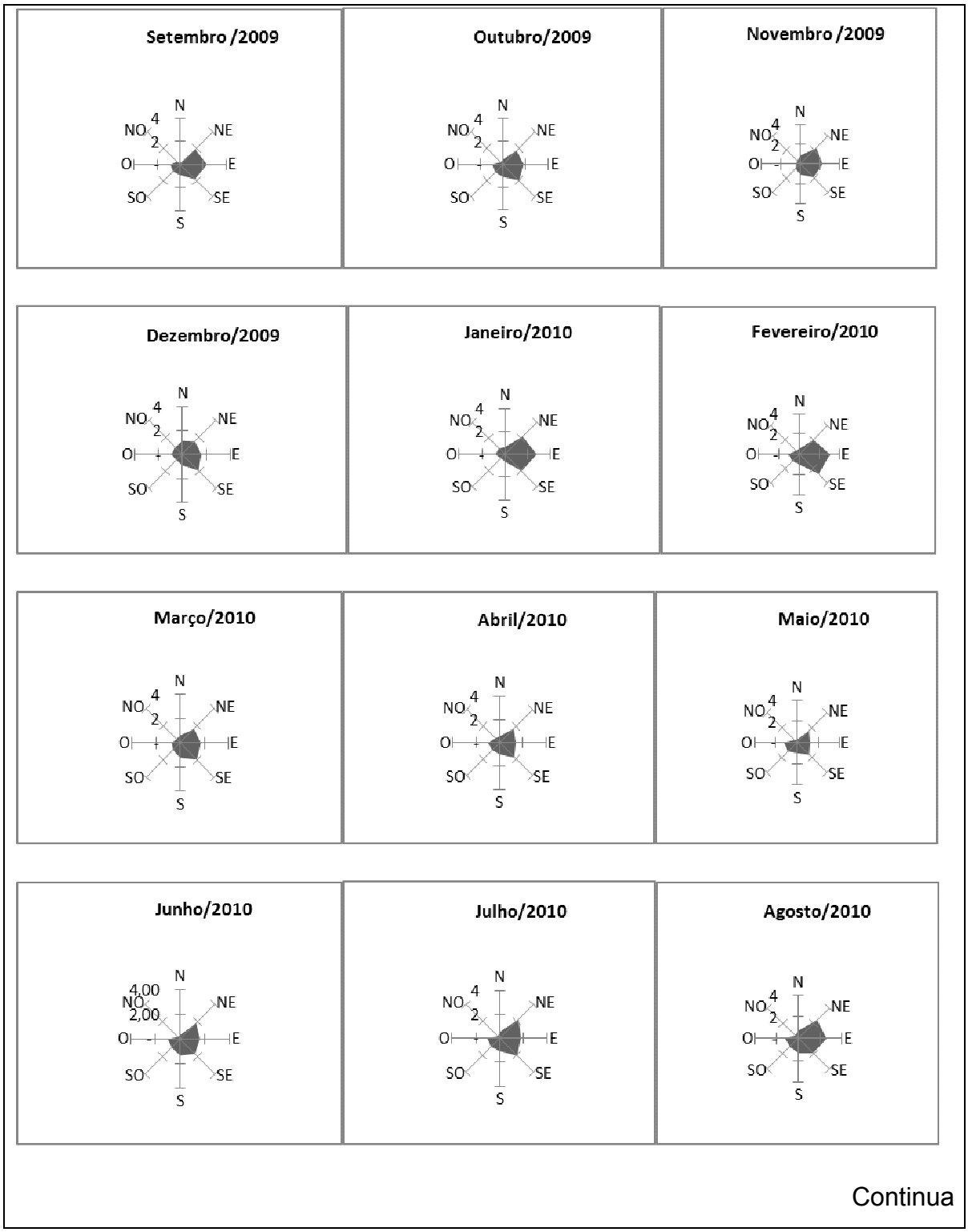


Figura 27: Direção e velocidade mensal a 12 m de altura.

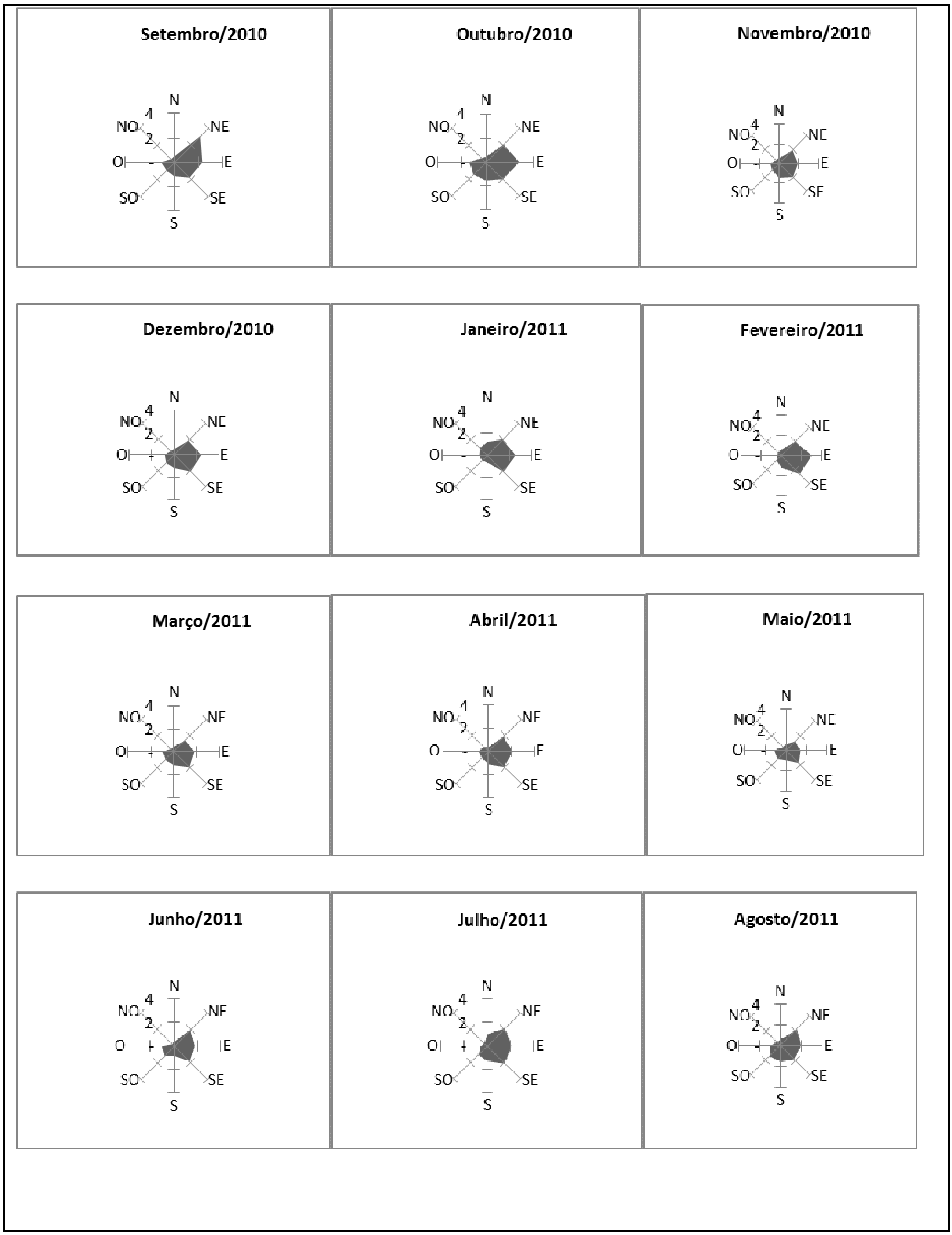


Figura 27: Direção e velocidade mensal a 12 m de altura.

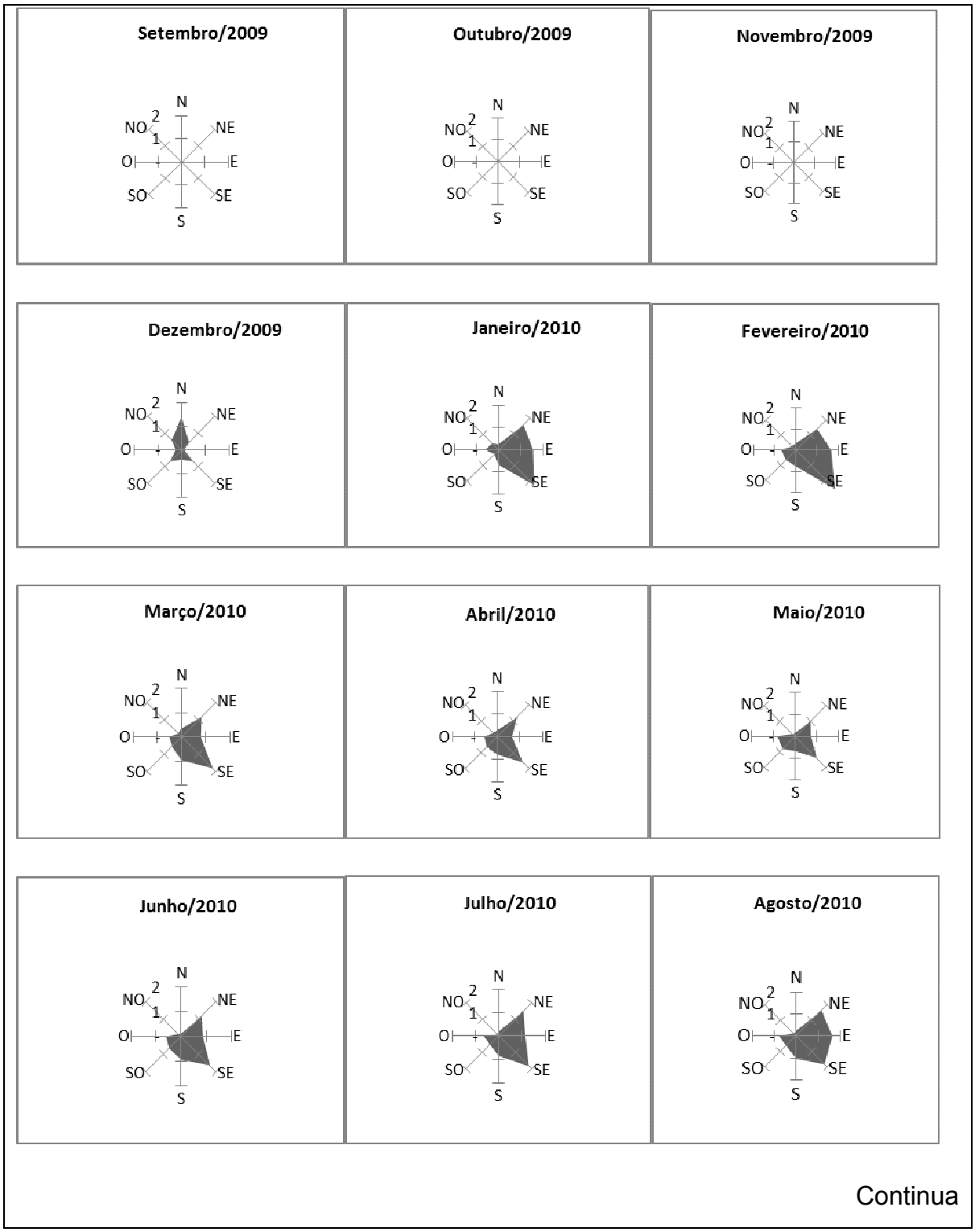


Figura 28: Direção e velocidade mínima mensal a 6 m de altura.

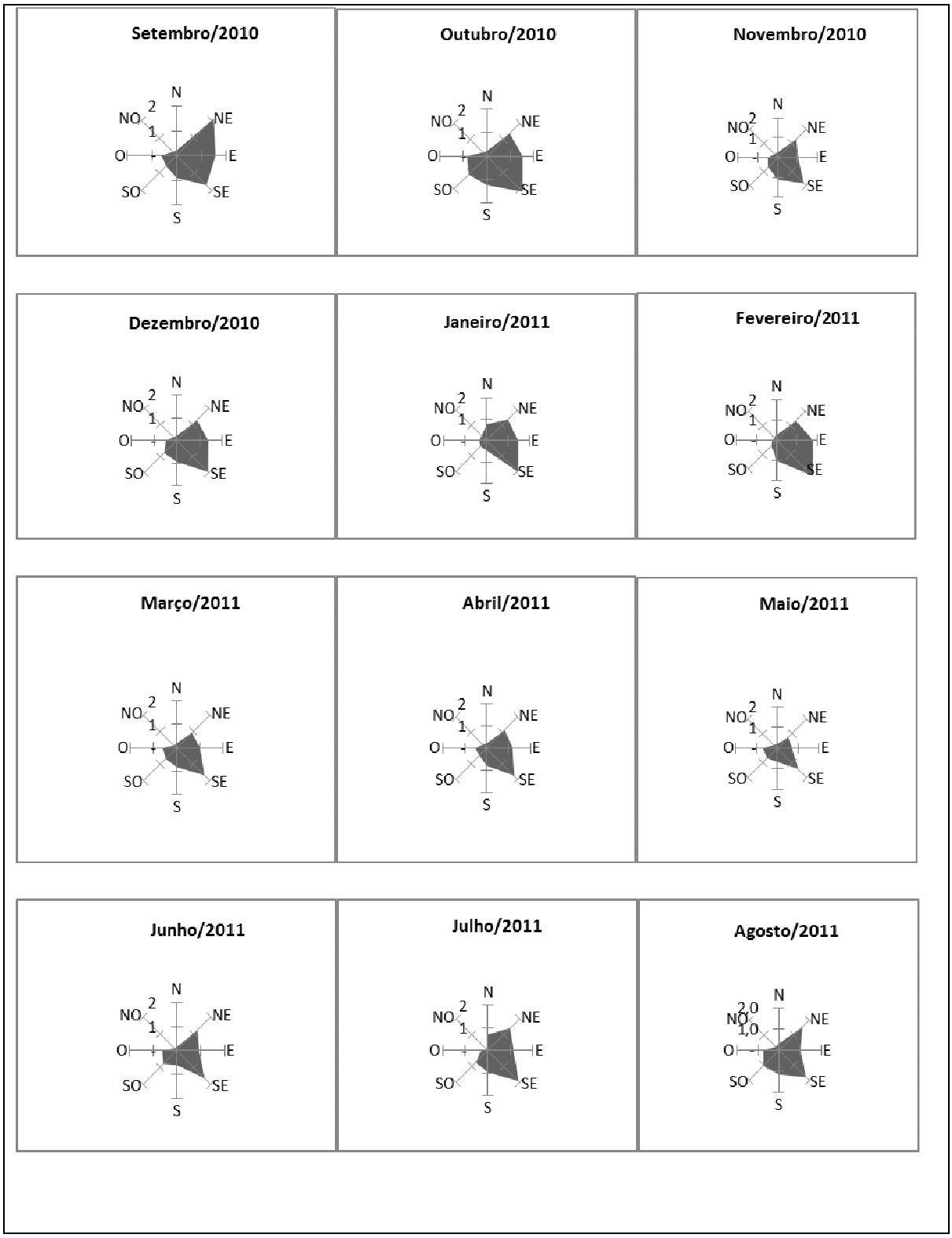


Figura 28: Direção e velocidade mínima mensal a 6 m de altura.

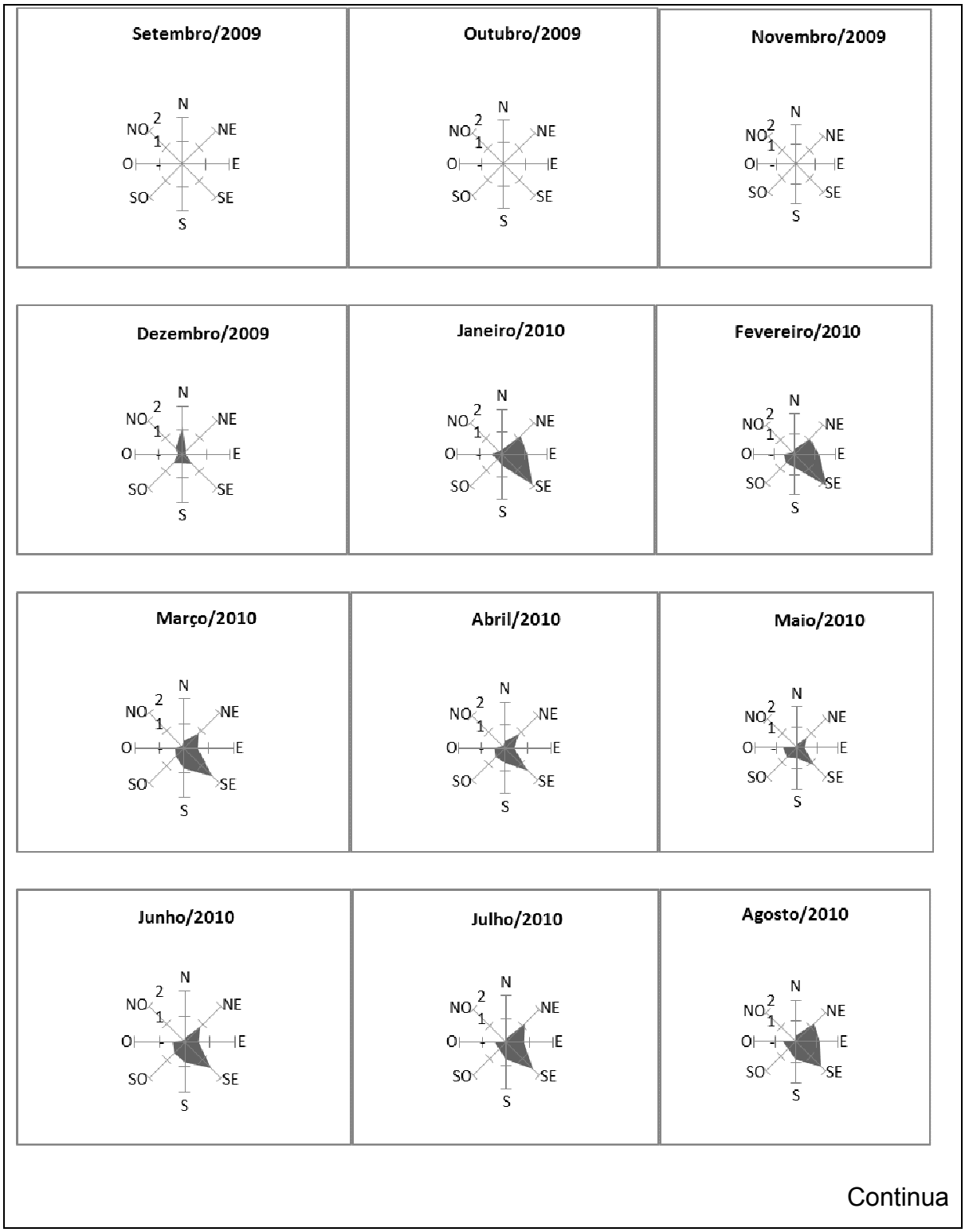


Figura 29: Direção e velocidade mínima a 3 m de altura.

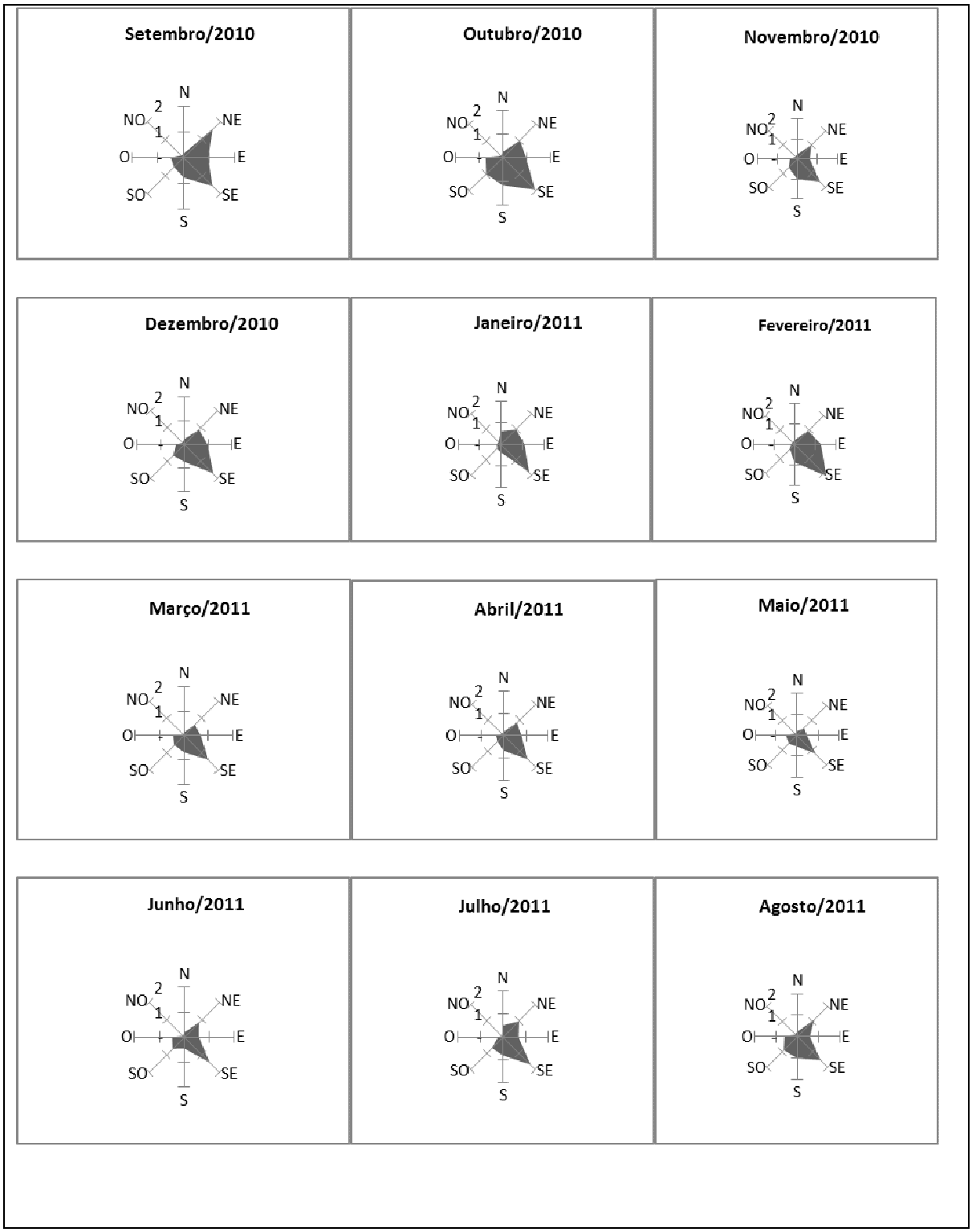


Figura 29: Direção e velocidade mínima a 3 m de altura.

APÊNDICES

Grau	Designação	m/s	km/h	nós	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	*Calmo*	<0,3	<1	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	*Aragem*	0,3 a 1,5	1 a 5	1 a 3	Pequenas rugas na superfície do mar	Fumaça indica direção do vento
2	*Brisa leve*	1,6 a 3,3	6 a 11	4 a 6	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	*Brisa fraca*	3,4 a 5,4	12 a 19	7 a 10	Ondulação até 60 cm, com alguns *carneiros*	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	*Brisa moderada*	5,5 a 7,9	20 a 28	11 a 16	Ondulação até 1m ,*carneiros* freqüentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	*Brisa forte*	8 a 10,7	29 a 38	17 a 21	Ondulação até 2.5 m, com cristas e muitos *carneiros*	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	*Vento fresco*	10,8 a 13,8	39 a 49	22 a 27	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto; assobio em fios de postes
7	*Vento forte*	13,9 a 17,1	50 a 61	28 a 33	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	*Ventania*	17,2 a 20,7	62 a 74	34 a 40	Mar revolto até 5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento; barcos permanecem nos portos
9	*Ventania forte*	20,8 a 24,4	75 a 88	41 a 47	Mar revolto até 7 m; visibilidade precária	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	*Tempestade*	24,5 a 28,4	89 a 102	48 a 55	Mar revolto até 9 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções
11	*Tempestade violenta*	28,5 a 32,6	103 a 117	56 a 63	Mar revolto até 11 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos generalizados em construções
12	*Furacão*	>32,7	>118	>64	Mar todo de espuma, com até 14 m; visibilidade nula	Estragos graves e generalizados em construções

Quadro 1A Escala Beaufort Francis Beaufort , metereologista anglo-inglês no início do século XIX.

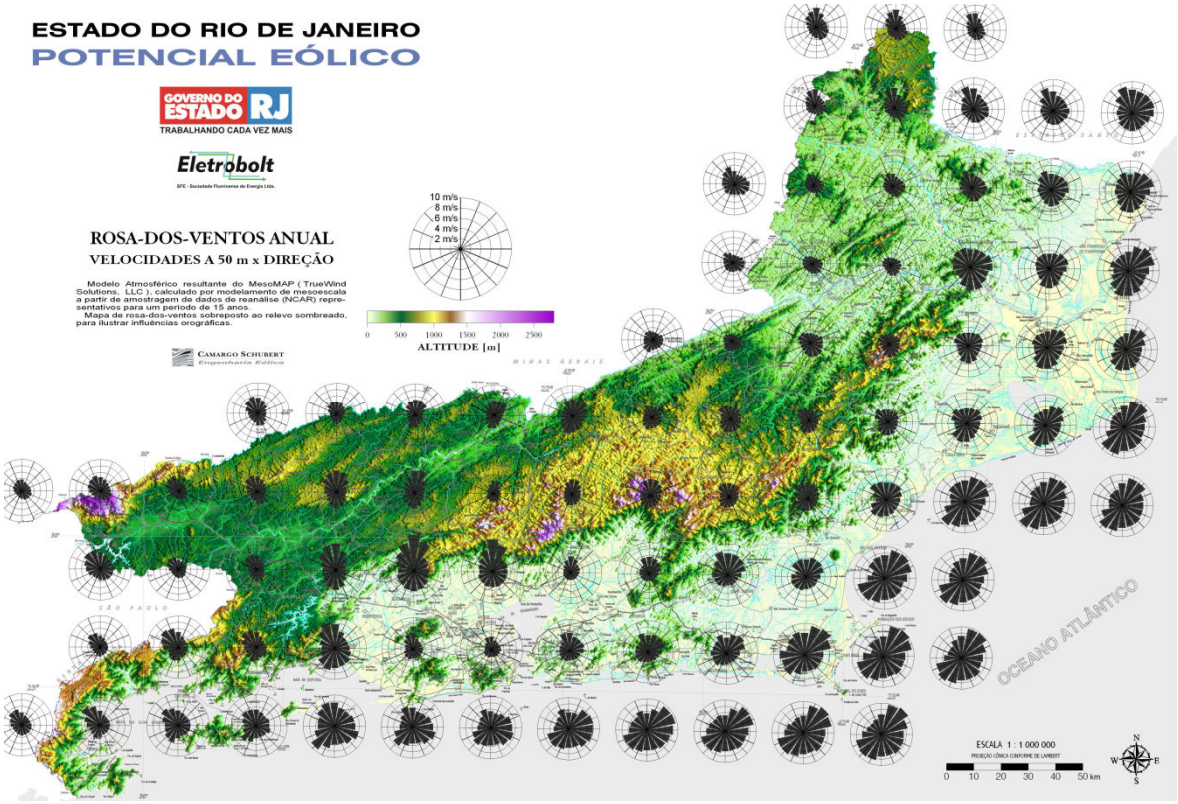


Fig. 1A Rosa dos ventos anual a 50 m de altura, Velocidade Média X Direção.

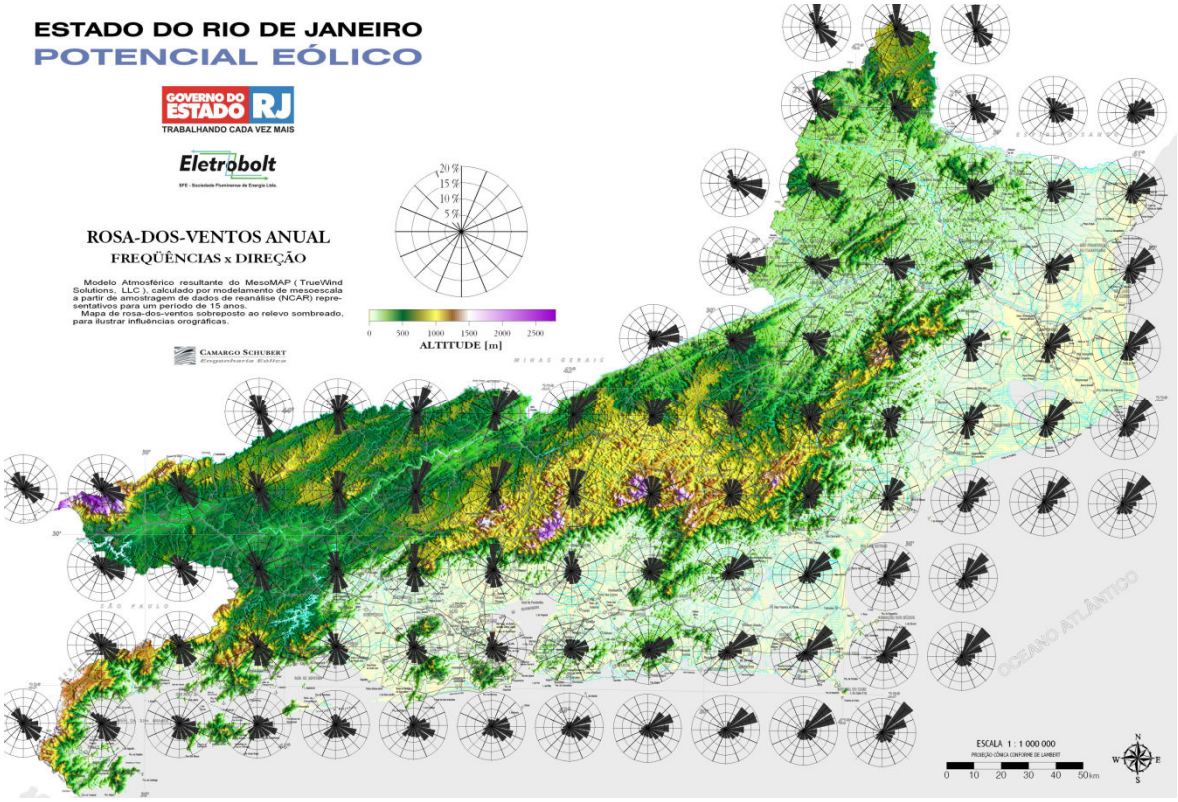


Fig. 1B Rosa dos ventos anual a 50 m de altura, Freqüência X Direção.