

Artigo

## Regime de Vento na Serra do Mar - Rio de Janeiro, Brasil

Bruno Serafini Sobral<sup>1,2</sup> , José Francisco de Oliveira Júnior<sup>3,1</sup> , Givanildo de Gois<sup>4</sup> ,  
Paulo Miguel de Bodas Terassi<sup>5</sup> , Carlos Rodrigues Pereira<sup>6,1</sup> 

<sup>1</sup>*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas,  
Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup>*Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>3</sup>*Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.*

<sup>4</sup>*Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal  
Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.*

<sup>5</sup>*Programa de Pós-Graduação em Geografia Física,  
Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>6</sup>*Departamento de Engenharia Agrícola e do Meio Ambiente,  
Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.*

Recebido em 12 de Abril de 2018 – Aceito em 16 de Junho de 2018

### Resumo

O objetivo deste estudo é avaliar o regime de vento nas estações meteorológicas dos municípios de Duque de Caxias e Petrópolis localizadas, respectivamente, na base (A603) e no topo (A610) da Serra do Mar - Rio de Janeiro, Brasil. O WRPLOT foi usado na elaboração das rosas de vento e histogramas. Comparou-se a persistência da direção do vento e com o número de dias com chuvas (NDC) a partir do boxplot. De modo geral o teste de sequência indica que as séries temporais anuais e mensais de ventos estão dentro da normalidade. As predominâncias da direção do vento foram identificadas em A603 como SSE (36,22%), SE (24,98%) e S (18,71%). Nesta estação a intensidade do vento foi majoritariamente classificada como calmaria (87,33%), apresentando ainda a predominância de ventos fracos que variam entre bafagem (8,80%) e aragem (3,90%). As predominâncias na estação A610 foram WSW (21,57%), NW (17,53%), WNW (10,81%) e NNW (7,66%), com variação de classes de velocidade de ventos e sem registro de calmaria. A correlação entre as direções cardinais em cada estação com o NDC mostrou que a estação A603 registrou as direções SSE, S e SE, devido ao efeito barreira gerado pela face S/SW (barlavento) da Serra do Mar, enquanto a estação A610 registrou chuvas associadas às direções NW, WNW e WSW.

**Palavras-chave:** escoamento atmosférico, sistemas meteorológicos, fatores fisiográficos, efeitos topoclimáticos.

## Wind Regime in Serra do Mar Ridge - Rio de Janeiro, Brazil

### Abstract

The objective of this study is to evaluate the relationship of wind regime in the meteorological stations of Duque de Caxias (A603) and Petrópolis (A610) located at the base and at the top of Serra do Mar ridge - Rio de Janeiro, Brazil. WRPLOT was used in the elaboration of wind roses and histograms. Wind persistence was calculated and the wind direction boxplot was done vs. the number of rainy days (NRD) in both seasons. In general, the sequence test indicates that the annual and monthly wind series are random and are within the normal range. The predominance of SSE (36.22%) winds was identified in A603, followed by SE (24.98%) and S (18.71%) winds, with wind intensity ranging mainly between light air (8.80%) e light breeze (3.90%) wind regimes. The wind predominance on A610 station was WSW (21.57%), NW (17.53%), WNW (10.81%) and NNW (7.66%), with variable wind speed classes and no calm winds. The correlation between the cardinal directions at each station with the NRD showed that the station A603 registered the directions SSE, S and SE, due to the barrier effect generated by the S/SW face (windward) of Serra do Mar ridge, while the A610 station recorded associated rainfall with wind directions NW, WNW and WSW.

**Keywords:** atmospheric flow, meteorological systems, physiographic factors, topoclimatic effects.

## 1. Introdução

O termo topoclimatologia foi introduzido por Thorntwaite em 1953, em virtude de pesquisas a respeito da variação da temperatura do ar, da umidade e dos ventos com a altura. Outra abordagem existente na literatura sobre topoclima corresponde à influência do clima local devida à rugosidade aerodinâmica superficial do terreno, durante o período diurno, para as diversas faces de exposição à radiação solar. Durante a noite, a rugosidade aerodinâmica superficial do terreno provoca a drenagem do ar frio em direção aos fundos de vale, principalmente na ausência de escoamento advectivos da circulação de mesoescala (Smith, 1975; Paiva *et al.*, 2014).

O vento é um dos principais objetos de estudo da Meteorologia Aplicada, no entanto, outras variáveis meteorológicas também são estudadas tais como, a chuva, a pressão atmosférica, a radiação solar, a umidade, temperatura do ar e a evaporação, que por sua vez influenciam diretamente nos regimes de vento em regiões de terreno complexo (Whiteman, 2000; Jonhasson e Chen, 2003).

No Brasil, foram realizados alguns estudos pontuais, como por exemplo, os estudos observacionais de Reboita *et al.* (2014), que caracterizaram a ocorrência da circulação da brisa de vale e montanha na cidade de Itajubá (MG), bem como os estudos numéricos de Alcântara e Souza (2008) que testaram a teoria termodinâmica em circulações de brisas marítimo-terrestres acopladas com brisas de vale-montanha por meio de simulações do Brazilian Regional Atmospheric Modelling System (BRAMS), em uma região da costa leste do Nordeste Brasileiro (NEB). De maneira pontual, o escoamento do vento também fora estudado por Acevedo *et al.* (2007) na região montanhosa de Nova Roma do Sul-RS, juntamente com outras variáveis meteorológicas tais como: temperatura do ar, concentração de vapor d'água e radiação solar incidente. Há ainda outros estudos que destacam a influência marcante da orografia na distribuição espacial do regime dos ventos e das chuvas, principalmente no Rio de Janeiro (Oliveira Júnior *et al.*, 2010; Pimentel *et al.*, 2014; Amorim *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2016; Sobral *et al.*, 2018).

Os regimes de vento que ocorrem na Camada Limite Atmosférica (CLA) caracterizam-se pela acentuada variação geográfica, influenciados pela topografia e rugosidade superficial, e também por fenômenos sinóticos e de mesoescala (Zimmermann, 2009; Oliveira Júnior *et al.*, 2010; Paiva *et al.*, 2014). Os estudos sobre a variabilidade e direção dos ventos são de grande importância, pois o conhecimento do padrão dos ventos propicia um melhor planejamento urbano, industrial e agropecuário, possibilitando determinar locais mais adequados para a instalação de conjuntos residenciais, distritos industriais, captadores de energia, lavouras e estábulos (Martins *et al.*, 2008). Pode-se planejar também melhor o posicionamento de fontes poluidoras e alternativas para melhoria do conforto térmico,

além de estudos de qualidade do ar (Munhoz e Garcia, 2008).

Neste contexto, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) possui topografia complexa, presença de corpos d'água e regimes de ventos diferenciados, nela encontra-se o município de Duque de Caxias. Além disso, a RMRJ é influenciada por diversos sistemas meteorológicos que variam desde a escala sinótica a local (Oliveira Júnior *et al.*, 2014), que por sua vez interferem no regime de escoamento da região, particularmente a circulação das brisas marítima-terrestres, vales/montanhas, baías e lacustres (Paiva *et al.*, 2014; Pimentel *et al.*, 2014; Oliveira Júnior *et al.*, 2017).

Na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ) encontra-se o município de Petrópolis, onde a temperatura média anual do ar é de 22 °C a 24 °C e a chuva entre 1.000 e 1.500 mm anuais. Na RSRJ existem condições propícias às temperaturas mais baixas e à alta pluviosidade, que por sua vez estão associados aos mecanismos dinâmicos de massas de ar polares, oceânicas, Linhas de Instabilidade (LI) e fatores estáticos orográficos proporcionados pela orientação sudoeste/nordeste (SW/NE) da Serra do Mar (Brito *et al.*, 2016). Guerra *et al.* (2007) ressaltam que os fatores dinâmicos e estáticos determinam o clima tropical de altitude úmido na RSRJ, com altos índices pluviométricos e temperaturas médias baixas.

A qualidade do ar depende não somente da quantidade de poluentes emitidos, mas também da capacidade da atmosfera de dispersar esses poluentes (Zimmermann; Moraes, 2009; Zeri *et al.*, 2011). Portanto, o regime de ventos juntamente com atuação dos sistemas meteorológicos e a topografia são determinantes na diluição dos poluentes (Lyra *et al.*, 2011; Gois *et al.*, 2017), principalmente no município de Duque de Caxias, na Baixada Fluminense (BF), onde se encontra a Refinaria Duque de Caxias (REDUC) que é responsável por 80% da produção de lubrificantes e pelo maior processamento de gás natural do Brasil.

Na RSRJ, vários estudos numéricos e observacionais têm sido realizados com o objetivo de compreender melhor a circulação atmosférica e a influência nos padrões de chuva na região (Chou *et al.*, 2006). Andrade *et al.* (2015) mostraram por meio do uso MeDPat (Método para Detecção de Padrões Atmosféricos) que a orografia da RSRJ favorece a intensificação da atividade convectiva, principalmente quando os ventos estão perpendiculares à costa.

Com estas perspectivas, este trabalho objetiva avaliar o regime de ventos nas estações meteorológicas automáticas dos municípios de Duque de Caxias (A603) e Petrópolis (A610) localizadas, respectivamente, na base e no topo da Serra do Mar - RJ, Brasil.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

As localidades em estudo correspondem aos municípios de Duque de Caxias e Petrópolis, onde estão localizadas as estações meteorológicas automáticas (EMA) Xerém (A603) e Pico do Couto (A610). As EMAs se encontram situadas na RMRJ (Duque de Caxias) e na RSRJ (Petrópolis) (Fig. 1).

O clima de Petrópolis é classificado como “Cfb”, clima mesotérmico úmido, caracterizado pelo inverno menos chuvoso e frio e com as chuvas abundantes no verão. O clima de Duque de Caxias é do tipo “Aw”, segundo a classificação de Köppen, sendo quente com chuvas concentradas nos meses de verão (Álvares *et al.*, 2013).

### 2.2. As séries meteorológicas

A escolha das estações meteorológicas baseou-se na disponibilidade dos dados do INMET (2018), visto que a estações A603 (base) e A610 (topo) estão localizadas na Serra do Mar (Tabela 1). Os dados meteorológicos da estação A603 são do período de 29/10/2002 a 28/02/2013, enquanto na estação A610 são do período de 28/10/2006 a 28/02/2013.

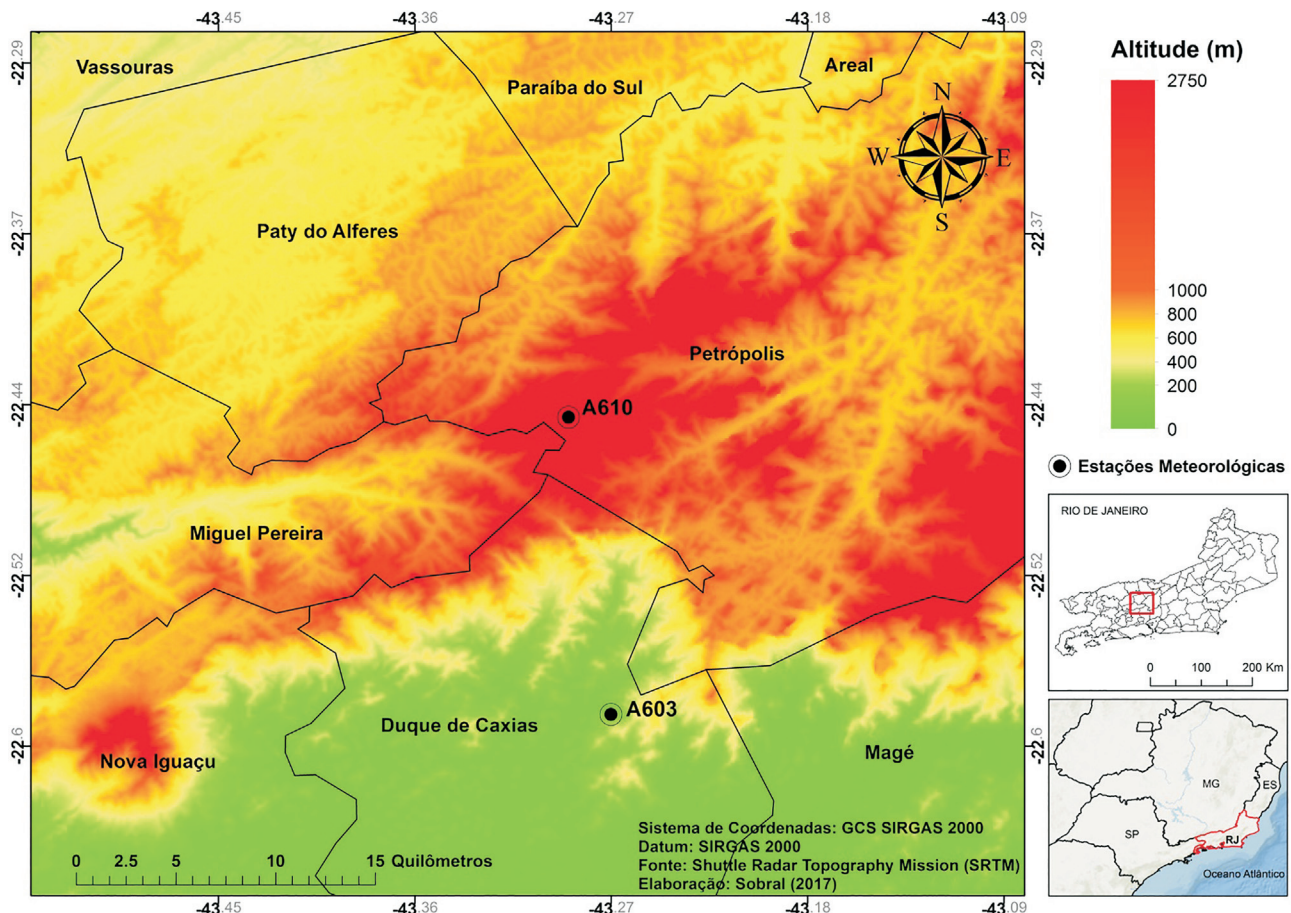
**Tabela 1** - Coordenadas geográficas (latitude, longitude (°) e altitude, m), identificação (ID) e fonte dos dados de velocidade e direção do vento e chuva das estações meteorológicas automáticas de Duque de Caxias e Petrópolis.

Estações	ID	Lat (°)	Lon (°)	Alt (m)
Duque de Caxias	A603	-22,589	-43,282	24
Petrópolis	A610	-22,464	-43,291	1758

Fonte: INMET.

Os dados utilizados pelas estações A603 e A610 apresentam diferenças marcantes, principalmente pela quantidade de registros incompletos e a disponibilidade de dados (Tabela 2). Todas as informações foram obtidas via programa WRPLOT, no qual possui um módulo para extrair todas essas informações. O WRPLOT foi utilizado na elaboração das rosas de vento e histogramas, sendo disponível de forma gratuita no seguinte endereço eletrônico weblakes (LAKES, 2017).

A partir da rosa dos ventos é possível relacionar a intensidade e direção dos ventos com sua frequência. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de ocorrência de cada direção do vento. Já as cores indicam a intensidade do vento. Para calcular a porcentagem de ocorrência de



**Figura 1** - Localização das estações meteorológicas automáticas A603 e A610, Rio de Janeiro com a respectiva hipsometria (m).

**Tabela 2** - Informações gerais a partir do software WRPLOT dos dados utilizados das estações meteorológicas automáticas de Duque de Caxias e Petrópolis.

Estações	Total de dias de observação	Disponibilidade de dados	Registros incompletos ou ausentes	Total de registros usados	Registros de calmarias
Duque de Caxias	3456	87,24%	441	3015	2880
Petrópolis	3015	70,61%	886	2219	1

uma determinada faixa de velocidade dos ventos é preciso considerar o respectivo intervalo de direção do vento (Reboita *et al.*, 2014).

Primeiramente, foi obtida a média da direção do vento em cada dia e associada a esta média uma direção cardinal conforme a Tabela 3. Após esta etapa, foi contabilizada a frequência (em dias) que o vento médio foi registrado de acordo com a direção cardinal. Posteriormente, foi contabilizada a frequência (em dias), no qual o vento médio esteve acompanhado do número de dias com chuvas (NDC) na região de estudo, de acordo com a direção cardinal em cada estação. Para a contagem do NDC no estudo, foram considerados apenas períodos com dados completos, isto é, meses em que não se registrou a falta de dado de chuva em nenhum dia, seguido contabilização do NDC, que a chuva acumulada foi superior 0 mm (INMET, 2017). No estudo a persistência do vento mostrou a razão entre o número de observações para as quais a direção do vento ficava dentro de um setor preestabelecido e o número total de observações na escala mensal.

### 2.3. Ferramentas estatísticas aplicadas à série temporal

O teste *Run* é um teste não paramétrico que avalia se uma série temporal se distribui de forma aleatória e se trata de um método bastante usado e descrito na literatura especializada (Back, 2010; Teodoro *et al.*, 2015; Oliveira Júnior *et al.*, 2017). O teste se baseia na contagem do número de oscilações dos valores superiores (codificado com 1) e abaixo (codificado com 0) da mediana, numa série de dados naturalmente ordenada. O número de oscilações é chamado de “run”, e deve-se testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Um valor alto de “run” indica várias oscilações, enquanto valores baixos indicam um menor desvio em relação à mediana durante o período de registros. Deste modo, se a sequência contém  $N_1$  símbolos de um tipo, e  $N_2$  símbolos de outro tipo ( $N_1$  e  $N_2$  não são muito pequenos), a distribuição amostral do número de “runs” total pode ser aproximada pela distribuição normal com média descrita pela Eq. (1), e a variância da distribuição por meio da Eq. (2):

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1N_2} + 1 \quad (1)$$

$$Var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1N_2)}{(N_1N_2)^2(2N_1N_2 - 1)} \quad (2)$$

Nestas relações  $u$  representa o número de “runs”. Desta forma, a hipótese nula de que a distribuição dos símbolos ocorre normalmente e que a amostra é aleatória, pode ser testada com base na estatística descrita pela Eq. (3):

$$Z = \frac{u - E(u)}{\sqrt{Var(u)}} \quad (3)$$

O valor calculado pode ser comparado com valores de  $z$  para distribuição normal. Para o nível de significância de 5% de probabilidade,  $z$  encontra-se entre o intervalo -1,96 a +1,96. Caso  $z$  calculado seja maior que o valor tabelado, rejeita-se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ). Para o cálculo do teste *Run* foi utilizado o pacote “randtests” do software ambiente R versão 3.3.2 (R Development Core Team, 2016).

### 3. Resultados e Discussão

Baseando-se no teste *Run*, mostrou-se que a série temporal de vento anual da estação de Petrópolis, pode ser considerada livre de correlação serial ou persistência tem-

**Tabela 3** - Direção Cardinal com valores máximos e mínimos em graus (°).

Direção cardinal	Direção (°)	
	Mín.	Máx.
N	348,75	11,25
NNE	11,25	33,75
NE	33,75	56,25
ENE	56,25	78,75
E	78,75	101,25
ESE	101,25	123,75
SE	123,75	146,25
SSE	146,25	168,75
S	168,75	191,25
SSW	191,25	213,75
SW	213,75	236,25
WSW	236,25	258,75
WSW	258,75	281,25
WNW	281,25	303,75
NW	303,75	326,25
NNW	326,25	348,75

poral. Visto que os valores de  $z_{cal}$  encontram-se distante do valor crítico de  $z$  (-1,96 a +1,96) estabelecido, associado a um p-valor entre 0,259 a 1,00. Ao contrário, da estação Duque de Caxias que mostrou os anos de 2005, 2007, 2009 e 2011, respectivamente, não podem ser considerados livres de correlação serial ou persistência temporal. Visto que os valores de  $z_{cal}$  encontram-se abaixo do limite crítico de  $z$  (-1,96) para p-valor entre 0,0073 a 0,2259. Entretanto, em ambas as estações foram encontradas baixos

valores do teste *Run* (2 a 8) que indicam desvio abaixo da mediana durante o período de estudo (Fig. 2).

A análise do teste de sequência para a série mensal de vento nas estações Duque de Caxias e Petrópolis (Fig. 3) indicou que todos os meses no período de estudo não podem ser considerados livres de correlação serial ou persistência temporal, uma vez que os valores de  $z_{cal}$  encontram-se abaixo do limite crítico de  $z$  (-1,96) para p-valor  $> 0$ . Valores superiores do teste *Run* foram obser-

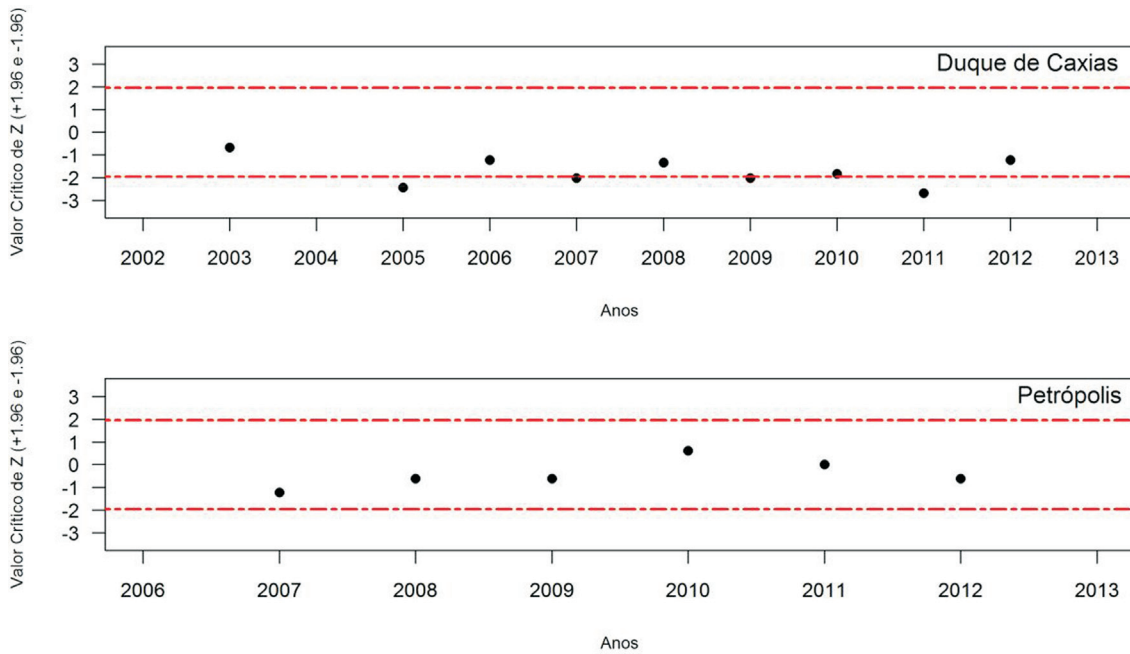


Figura 2 - Valores anuais do vento baseado no teste *Run* entre 2002 a 2013, nas estações de Duque de Caxias e Petrópolis.

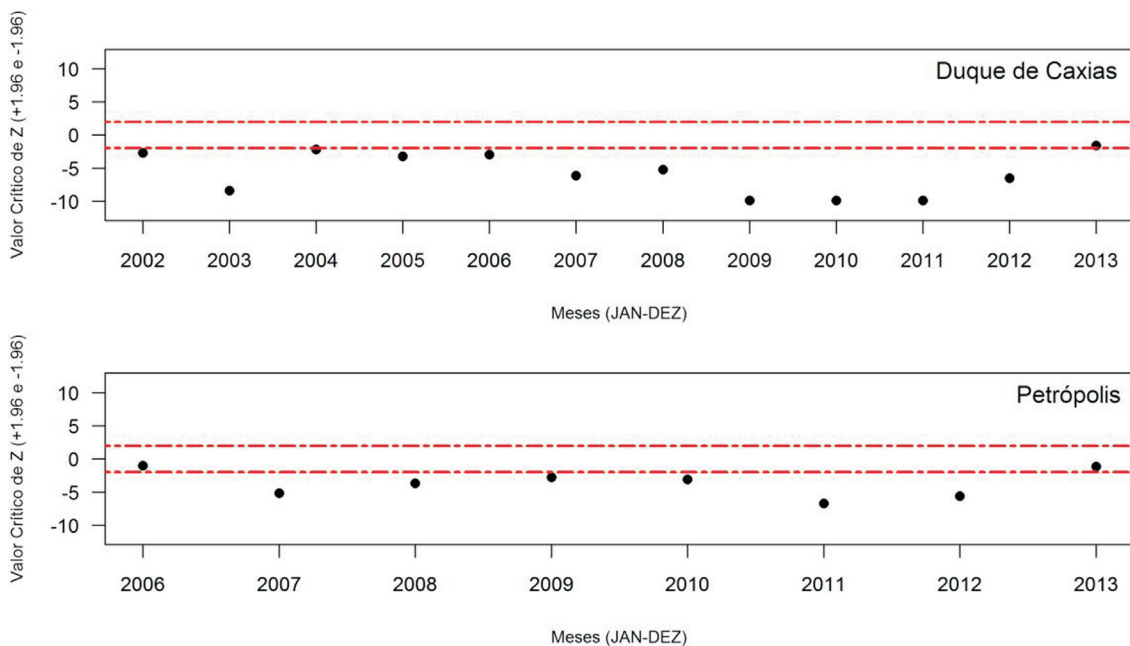


Figura 3 - Valores mensais do vento baseado no teste *Run* entre 2002 a 2013, nas estações de Duque de Caxias e Petrópolis.

vados nas estações de Duque de Caxias (19 a 135) e Petrópolis (115 a 149), com isso houve bastante oscilação na série temporal mensal do vento. No entanto, no período de estudo mostrou-se livre de correlação serial ou persistência temporal, ou seja, permaneceu contido no intervalo  $-1,96 \leq Run \leq +1,96$  para  $p\text{-valor} \geq 0,05$ . No geral o teste de sequência indicou que as séries anuais e mensais de vento em ambas as estações ocorrem de forma aleatória, ou seja, se aceita a hipótese de nulidade ( $H_0$ ), onde os valores observados estão dentro da faixa de distribuição considerada normal.

As direções predominantes do vento identificadas para a estação A603 (Duque de Caxias), localizada na base da Serra do Mar, mostra um padrão de vento que é distribuído no quadrante sul-leste. As predominâncias foram de sul-sudeste (SSE, 36,22%), sudeste (SE, 24,98%) e sul (S, 18,71%). Entretanto, houve a ocorrência de outras direções com frequências menores, com destaque para as direções leste-sudeste (7,96%) e sul-sudoeste (SSW, 5,41%) (Fig. 4a).

Verifica-se para Duque de Caxias a predominância de calmaria (83,3%), seguido de ventos fracos com classes de velocidade de 1,0 a 2,0  $\text{m.s}^{-1}$  (3,9%), categorizados como circulação de brisa leve, de acordo com a escala Beaufort (WMO, 2000). Isso devido ao posicionamento da estação A603 em região de estagnação dos ventos (Fig. 4b). De acordo com a *World Meteorological Organization* (WMO) a situação de calmaria é considerada quando a magnitude do vento se apresenta inferior a 1 nó (0,515  $\text{m.s}^{-1}$ ) - (Pimentel *et al.*, 2014). Ressalta-se que a calmaria se deve a sua condição a barlavento da Serra do Mar, seguido da baixa altitude do relevo, que associados a outros efeitos locais, como, por exemplo, as barreiras orográficas formadas por elevações secundárias do relevo, produzem a estagnação do ar no local.

As direções predominantes do vento identificadas para a estação A610, de Petrópolis, localizada no topo da Serra do Mar, mostram um padrão de vento de vários quadrantes, ao contrário da estação A603. As predominâncias foram registradas com base na soma dos percentuais das direções em cada quadrante, registrando maior intensidade nas direções oeste-sudoeste (WSW, 21,57%), noroeste (NW, 17,53%), oeste-noroeste (WNW, 10,81%) e norte-noroeste (NNW, 7,66%) (Fig. 5a). Notou-se a ocorrência de outras direções com frequências menores, com destaque para as direções sudeste (SE, 8,62%), sul-sudoeste (SSW, 5,83%) entre outras. Ao contrário da estação A603, a predominância de classes de velocidade de ventos é variável no topo da montanha, visto que há uma aceleração do escoamento e menor influência do atrito superficial, conforme Whiteman (2000).

As classes de velocidade de ventos para a EMA de Petrópolis variaram de fracos - 1,0 a 2,0  $\text{m.s}^{-1}$  (29,1%), seguidos das classes 2,0 a 3,0  $\text{m.s}^{-1}$  (39,9%) e 3,0 a 4,0  $\text{m.s}^{-1}$  (21,7%) e, por fim até as classes de ventos moderados 4,0 a 5,0  $\text{m.s}^{-1}$  (7,4%) e 5,0 a 7,0  $\text{m.s}^{-1}$  (1,8%), considerados desde aragem a circulação de brisa moderada, segundo a escala Beaufort (WMO, 2000). Na estação A610 não ocorreu regime de calmaria no período de estudo (Fig. 5b), dada à influência dos ventos sinóticos de W (climatológicos) que predominam na latitude estudada e atuam, em especial, em locais de grande altitude.

A diferença entre o relevo das estações (1734 m), além de outros fatores ambientais (inclinação, declividade, vegetação e orientação em relação ao Sol insolação), origina os padrões de ventos característicos da região de estudo. Os ventos são influenciados pela topografia e pelo atrito superficial (Whiteman, 2000; Jonhasson e Chen, 2003). A região de estudo favorece a circulação de brisa de vale/montanha, uma vez que Xerém (estação A603) en-

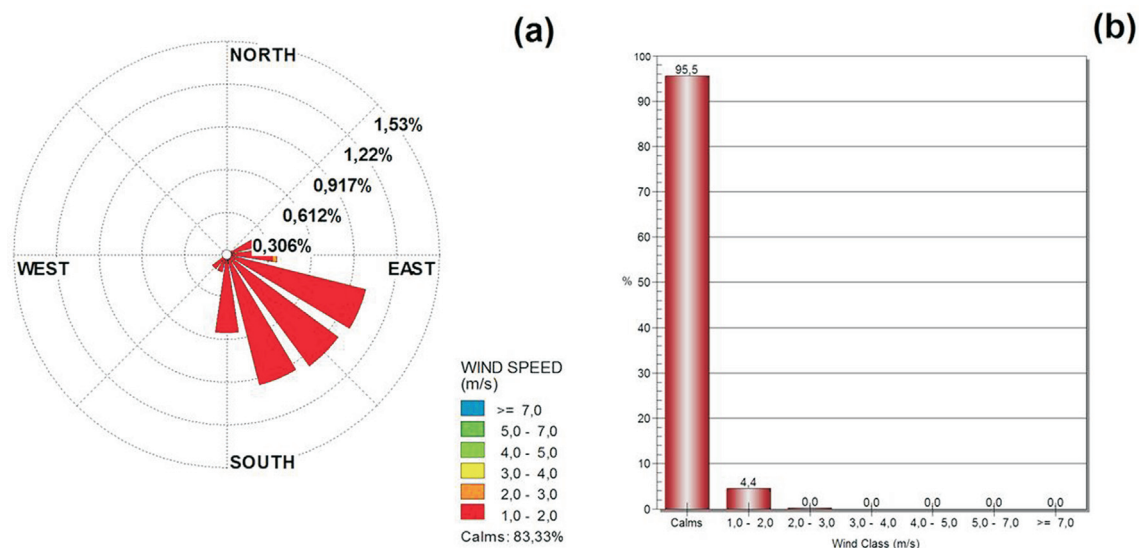
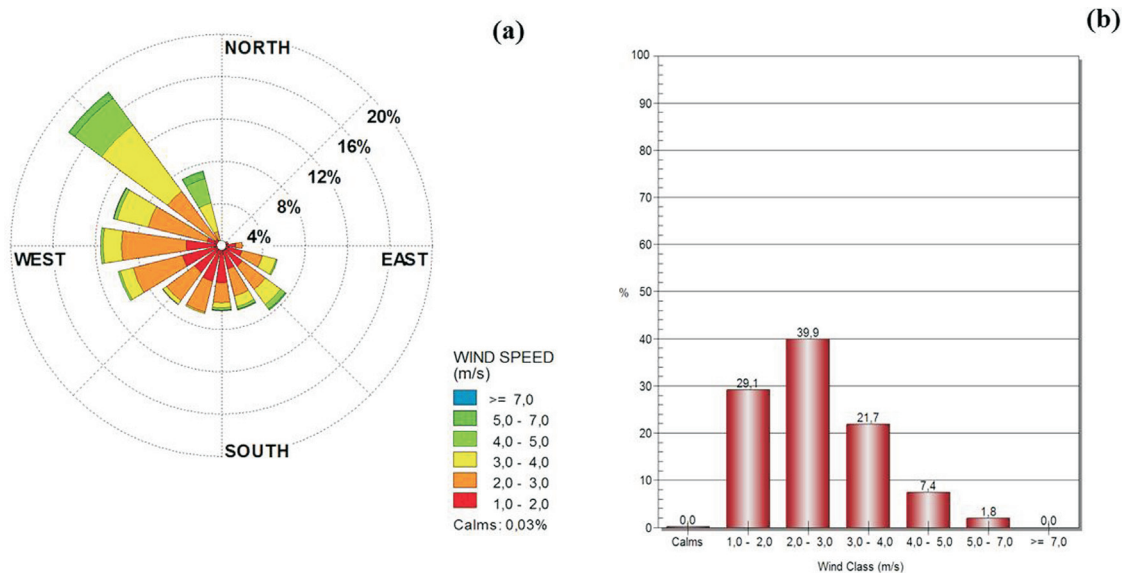


Figura 4 - Rosa dos ventos (a) e histograma (b) das classes de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) da EMA A603.



**Figura 5** - Rosa dos ventos (a) e histograma (b) das classes de vento ( $m \cdot s^{-1}$ ) da EMA A610.

contra-se no fundo do vale e o Pico do Couto (estação A610) localiza-se no topo da montanha.

Observa-se que as direções vs. NDC para a estação A603 foram predominantes em SSE (34,53%), SE (25,36%) e S (18,45%), totalizando 1648 NDC, respectivamente (Fig. 6a). Por sua vez, na estação A610, nos 1364 NDC, as direções predominantes foram WSW (20,45%), NW (17,74%) e WNW (10,41%). No entanto, ocorreram outras direções com frequências menores para a estação A610, em particular, as direções SE (9,31%), ESE (7,04%) e SSE (6,89%), ao contrário da estação A603 (Fig. 6b).

Ambas as estações mostraram *outliers* em todas as direções. Vale ressaltar que existem outras direções relacionadas com o NDC em ambas as estações, no entanto, com totais e frequências menores. As direções identificadas no estudo corroboram com os resultados obtidos por Brito *et al.* (2016), que por meio de um modelo conceitual-teórico afirmou que os principais sistemas meteorológicos atuantes nas regiões pluviometricamente homogêneas do estado do RJ se devem ao deslocamento preferencial entre as Serras do Mar e Mantiqueira.

As chuvas orográficas ocorrem em função de o escoamento atmosférico ser forçado a elevar-se pelo encontro com a Serra do Mar, o que resulta em convecção forçada (Oliveira Júnior *et al.*, 2014). O relevo complexo funciona como um paredão orográfico às massas de ar do litoral. Dessa forma, massas de ar quentes e úmidas são bloqueadas. Tais condições facilitam a ocorrência de chuvas abundantes e concentradas, em especial no verão (Guerra *et al.*, 2007), principalmente a barlavento. A posição do município de Petrópolis localizado a 1758 m acima do nível médio do mar (NMM) contribui para os maiores totais de chuvas. A localização do município de Duque de Caxias, próxima a Serra do Mar, favorece a ocorrência de chuvas

convectivas e da interação com as circulações das brisas, o que contribuiu para o regime de chuva (Hack *et al.*, 2003; Oscar Júnior e Brandão, 2012).

A persistência dos ventos na escala mensal na estação A603 apresentou os maiores percentuais nas direções SSE (42,39%, Fevereiro) e SE (36,25%, Abril) e S (27,66%, Setembro), em todo período. Ao contrário da estação A610, na qual os maiores percentuais foram para as direções NW (32,22%, Junho), WSW (30,26%, Dezembro), WNW (19,28%, Outubro) e NNW (14,04%, Janeiro). De um modo geral, a persistência de ventos de baixa intensidade na estação A603 ocorre devido à circulação da brisa vale/montanha, enquanto na estação A610 observa-se a influência do posicionamento migratório da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (Zeri *et al.*, 2011; Brito *et al.*, 2016), conquanto os sistemas frontais (SF) atuam na mudança do padrão do vento, com giro de quadrante N para o quadrante SW/S aliado ao aumento da sua intensidade (Moraes *et al.*, 2005; Oliveira Júnior *et al.*, 2017). Portanto, os meses com maiores persistências foram registrados de fevereiro a maio na A603 na direção SSE. Ao contrário da A610 com dois períodos, fevereiro a abril e setembro a dezembro na direção WSW (Fig. 7).

#### 4. Conclusões

Este trabalho de cunho observacional busca caracterizar a intensidade, frequência e direção das circulações locais ao revelar padrões locais de vento nas estações A603 e A610. Não obstante, este trabalho poderá servir ainda como balizador para estudos futuros que contemplem a influência do vento, através de modelos numéricos, na atmosfera da região estudada.

O teste *Run* aplicado à série temporal de vento anual é considerado livre de correlação serial ou persistência tem-

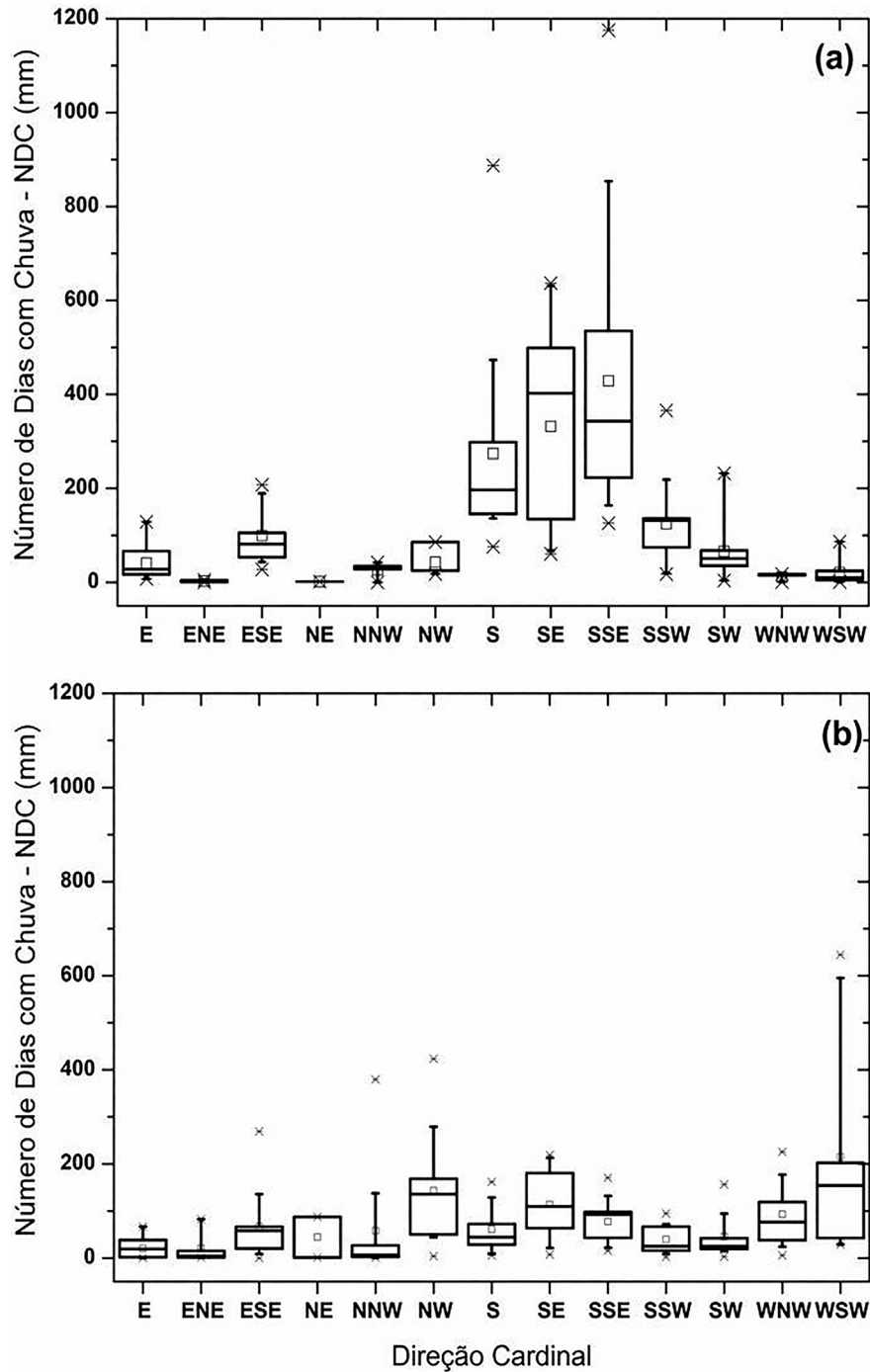


Figura 6 - Boxplot da direção cardinal do vento com o NDC (mm) das estações A603 (a) e A610 (b).

poral em Petrópolis, as exceções na estação de Duque de Caxias são nos anos de 2005, 2007, 2009 e 2011, respectivamente. Na escala mensal de vento as estações Duque de Caxias e Petrópolis não são consideradas livres de correlação serial ou persistência temporal. De modo geral o teste de sequência indica que as séries temporais anuais e mensais de vento são aleatórias e estão dentro da considerada normal.

As direções predominantes dos ventos nas duas estações meteorológicas são distintas. A estação A603 tem predominância de ventos calmos de quadrante do sul-leste, enquanto que na estação A610 predominam ventos de variados quadrantes, com maior incidência (39,9%) de ventos classificados como ventos de aragem. A direção e intensidade dos ventos na estação A610 são influenciadas ainda pelos ventos climatológicos de oeste que prevalecem na la-



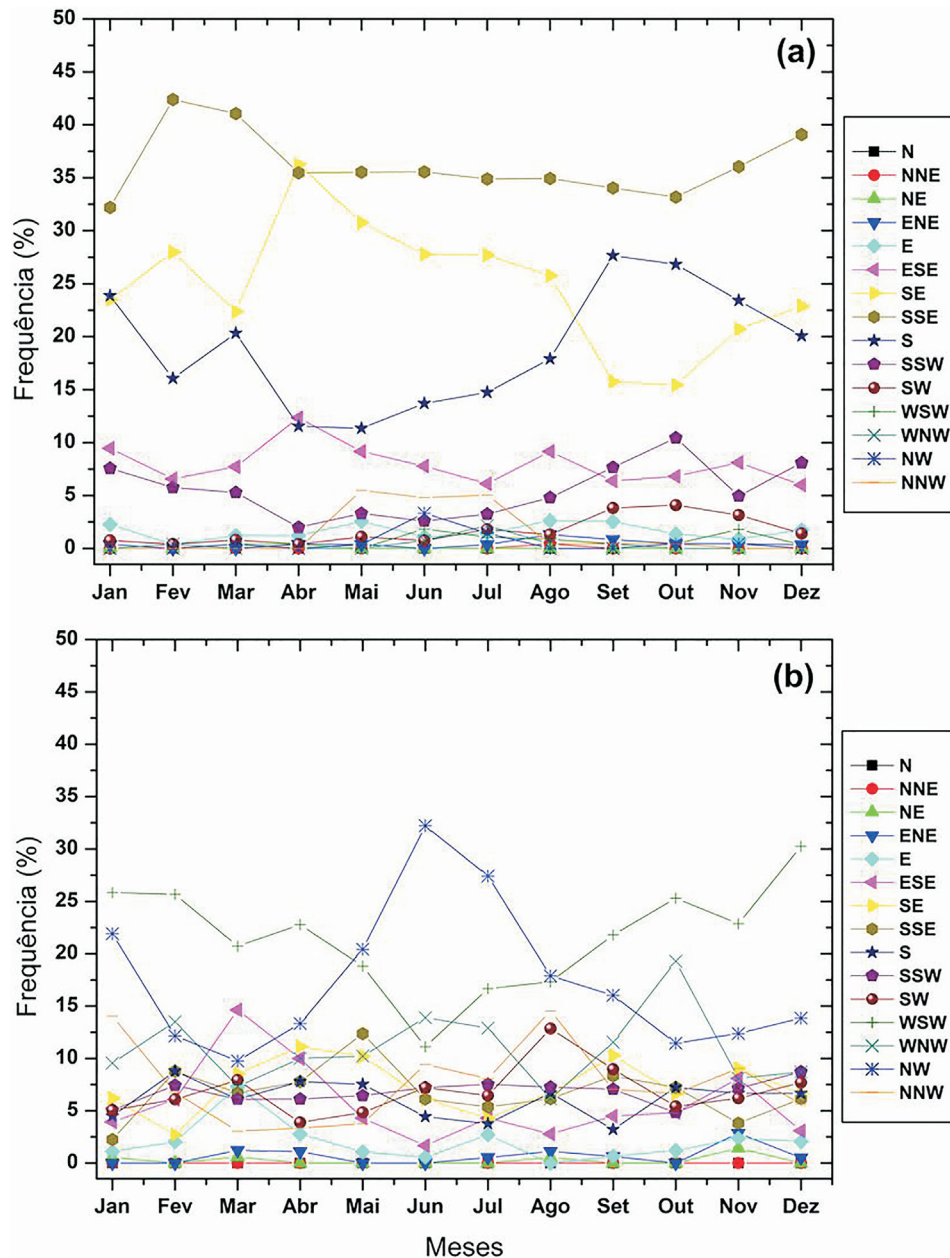


Figura 7 - Persistência mensal (%) dos ventos para a EMA A603 (a) e A610 (b).

titude da área de estudo, em especial durante o verão e a primavera (Cavalcanti, 2014). As análises apontam para diferentes características do regime de vento na Serra do Mar, tais como a direção, intensidade e persistência do vento no período estudado.

As duas estações meteorológicas A603 e A610 são influenciadas pelos ventos sinóticos. A única diferença pode ser explicada pela grande variação altitudinal existente entre ambas as estações. Além da influência dos ventos sinóticos, a rugosidade do relevo dada a elevada variação da altitude (estação A610) altera a velocidade dos ventos e diversifica os quadrantes de direção predominantes; ao

passo que nas áreas planas observa-se a diminuição da intensidade do vento e de direções predominantes (estação A603).

A relação entre as direções cardinais predominantes em cada estação com registros de chuvas no período mostra que a estação A603 registra ventos chuvosos das direções SSE, S e SE, devido ao efeito barreira gerado pela face sul/sudoeste (barlavento) da cadeia de montanhas que integram a Serra do Mar, enquanto a estação A610 registra chuvas associadas a ventos predominantes de NW, WNW e WSW.

## Referências

- ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.; DA SILVA, R.; ANABOR, V.; BITTENCOURT, D.P.; ZIMMERMANN, H.R.; MAGNAGO, R.O.; DEGRAZIA, G.A. Surface-to-Atmosphere Exchange in a River Valley Environment. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 8, p. 1169-1181, 2007.
- ANDRADE, K.M.; PINEHIRO, H.R., DOLIF NETO G. Evento extremo de chuva no Rio de Janeiro: análise sinótica, previsão numérica e comparação com eventos anteriores. **Ciência & Natura**, v. 37, Edição Especial do V Simpósio Internacional de Climatologia, p. 175-180, 2015.
- ALCÂNTARA, C.R.; SOUZA, E.P. Uma teoria termodinâmica para brisas: teste utilizando simulações numéricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2008.
- ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, M.F.; QUELHA, O.L.G.; MOTTA, A.L.T.S. A resiliência das cidades frente às chuvas torrenciais: estudo de caso do Plano de Contingência da cidade do Rio de Janeiro. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 3, p. 519-534, 2014.
- BACK, A. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- BRITO, T.T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; ZERI, M. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics (Print)**, v. 129, n. 5, p. 469-478, 2016.
- CAVALCANTI, I. Variabilidade interanual da precipitação no Sudeste do Brasil no período 1985-2014 e configurações de extremos. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), p. 13-18, 2014.
- CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L. **Predictability of heavy rainfall events over the Serra do Mar**. In: XVII International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography p. 1729-1731, 2006.
- GOIS, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; SILVA, E.B.; MAIA, J.L.M.; TEODORO, P.E.; ALELUIA, I.S.S. Carbon monoxide trend in the city of Rio de Janeiro via mann-kendall and cusum tests. **Bioscience Journal (On line)**, v. 33, n. 5, p. 1332-1339, 2017.
- GUERRA, A.J.T.; MELO, P.B.L.; SANTOS, R.D.F. Características geográficas e geomorfológicas da APA Petrópolis, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 77-86, 2007.
- HACK, L.P.; NEVES, S.; HUTTER; M.H. As mais recentes calamidades pluviais ocorridas em Petrópolis: os episódios de 2001 e 2003. In: **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 1-11, 2003.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Metodologia para cálculo número de dias com chuvas**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/metodologia.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2017.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Estações automáticas**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/in-dex.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em 06 de fevereiro de 2018.
- JONHASSON, B.; CHEN, D. The Influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 12, p. 1523-1535, 2003.
- LAKES (Lakes environmental software). Wind Rose Plots For Meteorological Data - WRPLOT View. 2017. Disponível em: <http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>. Acesso em 20 de março 2017.
- LYRA, G.B.; ODA-SOUZA, M.; VIOLA, D.N. Modelos Lineares aplicados à estimativa da concentração do material particulado (PM<sub>10</sub>) na cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 261, n. 3, p. 392-400, 2011.
- MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B.O. Aproveitamento da Energia Eólica. **Revista Brasileira de Ensino Física**, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2008.
- MORAES, N. O.; PIMENTEL, L. C. G. ; MARTON, E. Simulações Numéricas da Formação de Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro)**, v. 28, n. 2, p. 116-138, 2005.
- MUNHOZ, F.C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 1, p. 30-34, 2008.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; PIMENTEL, L.C.G.; LANDAU, L. Critérios de Estabilidade Atmosférica para a Região da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 270-285, 2010.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F.O.; SOUZA, J.C.S.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; SOUZA, J.C.S.; DIAS, F.O.; GOIS, G.; GONÇALVES, I.F.S.; SILVA, M.S. Caracterização do Regime de Vento no Município de Seropédica, Rio de Janeiro (2001-2010). **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 447-459, 2013.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; TERASSI, P. M. B. ; GOIS, G. Estudo da Circulação dos Ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 2, p. 59-80, 2017.
- OSCAR JÚNIOR, A.C.; BRANDÃO, A.M.P.M. Ritmo da pluviosidade em Duque de Caxias (RJ): a variabilidade climática enquanto insumo na tomada de decisão e nas políticas públicas. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 994-1008, 2012.
- PAIVA, L.M.S.; BODSTEIN, G.C.R.; PIMENTEL, L.C.G. Influence of high-resolution surface databases on the modeling of local atmospheric circulation systems. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2014.
- PIMENTEL, L.C.G.; MARTON, E.; SILVA, M.S., JOURDAN, P. Caracterização do regime de vento em superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2014.]
- R CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em 14 de maio de 2017.

- REBOITA, M.S.; ASSIREU, A.; SILVA, L.C.; RIOS, N. Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá - MG. **Ciência & Natura**, v. 36, n. 1, p. 61-71, 2014.
- SMITH, K. **Principles of Applied Climatology**. 1ª Edição. Michigan: Wiley, 1975. 233p.
- SOBRAL, B.S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS G.; TERASSI, P.M.B.; MUNIZ-JÚNIOR, J.G.R. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 14, p. 1281-308, 2018.
- TEODORO, P.E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; CUNHA, E.R.; CORREA, C.C.G.; TORRES, F.E.; BACANI, V.M.; GOIS, G.; RIBEIROS, L. P. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics (Print)**, v. 128, n. 2, p. 197-209, 2015.
- THORNTHWAITE, C.W. Topoclimatology. Proc. Toronto Meteorological Conference, **Royal Meteorological Society**, p. 227-232, 1953.
- WHITEMAN, D.C. **Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications**. Oxford: Ed. Oxford University Press, 2000. 376p.
- WMO (World Meteorological Organization). Wind measurements: Potential wind speed derived from wind speed fluctuations measurements, and the representativity of wind stations (J.P. van der Meulen). In: **Proceedings of the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation**, Geneva, Instruments and Observing Methods Report n. 74, WMO/TD-n. 1028, 72, 2000.
- ZERI, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B. Spatio-temporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics (Print)**, v. 113, n. 3-4, p. 139-152, 2011.
- ZIMERMANN, H. R. Z. **Um modelo numérico 3D de dispersão atmosférica**. 2009. 202 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2009.
- ZIMERMANN, H. R., MORAES O.; L. L. ZIMORA - An atmospheric dispersion model. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 123, n.1, p. 63-74, 2009.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.