

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Caracterização das bacias aéreas e avaliação da
chuva oculta nos contrafortes da serra do Mar - RJ**

Rafael Silva Barboza

2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS AÉREAS E AVALIAÇÃO DA
CHUVA OCULTA NOS CONTRAFORTES DA SERRA DO MAR - RJ**

Rafael Silva Barboza

Sob orientação do Professor

Ricardo Valcarcel

e Co-orientação do Professor

Carlos Rodrigues Pereira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

**Seropédica, RJ
Julho de 2007**

333.916098153.. Barboza, Rafael Silva, 1977-
B239c Caracterização das Bacias Aéreas e Avaliação da Chuva Oculta
T nos Contrafortes da serra do Mar - RJ/ Rafael Silva Barboza -
2007.
59f. : il.

Orientador: Ricardo Valcarcel.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Instituto de Florestas.

Bibliografia: f 44-46.

1. Bacias hidrográficas - Mar, Serra do – Teses. 2. Recursos hídricos –
Desenvolvimento – Mar, Serra do – Teses. 3. Recursos naturais – Teses. I.
Valcarcel, Ricardo, 1953- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

RAFAEL SILVA BARBOZA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM ____/____/____

Ricardo Valcarcel. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Jorge Luiz Fernandes de Oliveira Prof. Dr. UFF

Jorge Luiz Pimenta Mello Prof. Dr. UFRRJ

Dedicatória

Aos meus Pais, João e Anna Maria, meus irmãos, André, Ana Paula e Juliana (que está no Céu), minha amada Julia e meus sobrinhos Felipe e Frederico e meus inúmeros amigos irmãos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Lembrar de todos que contribuíram com a realização deste trabalho é uma tarefa muito difícil, contudo muito importante. A todos citados abaixo agradeço do fundo do meu coração.

Aos meus pais, João Soares Barboza e Anna Maria Silva Barboza, assim como meus irmãos, André, Ana Paula, Juliana e a minha amada Julia. Sem vocês, seria impossível alcançar as metas que tenho conquistado.

Ao meu orientador Ricardo Valcarcel, pela dedicação e orientação que tem devotado a mim e a todos os seus orientados. Certamente é um grande exemplo a ser seguido pelos docentes de hoje e pelos que ainda virão. Cabe aqui um agradecimento especial, por todo apoio e caminhos abertos que me ofertou durante estes três anos de convivência no Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas/DCA/IF. Muito obrigado.

Ao Instituto Terra de Proteção Ambiental pela concessão da bolsa junto ao Ministério de Meio Ambiente (MMA) no PDA Programa de Desenvolvimento Ambiental. E ainda o apoio, divulgação e aplicação dos resultados no Programa “Construindo estratégias participativas e projetos demonstrativos de Conservação da Mata Atlântica na região do Corredor de Biodiversidade Tinguá – Bocaina”.

A Moema José de Carvalho Augusto, Chefe da Coordenação de Cartografia e Paulo Engenheiro Cartográfico da Diretoria de Geociências/Coordenação de Cartografia do IBGE, que viabilizaram o acesso às bases cartográficas.

Ao pessoal de Lídice, principalmente ao Alberto Oscar Koch “Gaúcho” pelo auxílio nas coletas dos dados de campo.

A Julia pela ajuda na construção deste trabalho, assim como pelo auxílio nas idas a campo.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuiriam para a realização do trabalho: ao pessoal da O₂ Soluções Ambientais (Alexandre Borges, João Maurício Planta, Diego Fernandes e Thomaz Manera) pelo auxílio e trocas de idéias.

Ao Júlio pela ajuda no campo e ao Estevão pela ajuda nos mapas.

Ao pessoal do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, pela convivência em momentos de trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais da UFRRJ pela oportunidade.

BIOGRAFIA

Rafael Silva Barboza, filho de Anna Maria Silva Barboza e João Soares Barboza, nasceu no dia 2 de agosto de 1977, no município de Nova Friburgo, região serrana do Estado do Rio de Janeiro. Ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1997, e graduou-se no segundo período letivo de 2004. Em março de 2005 ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, coordenado pelo Instituto de Florestas da UFRRJ.

RESUMO

BARBOZA, Rafael Silva. **Caracterização das Bacias Aéreas e Avaliação da Chuva Oculta nos Contrafortes da serra do Mar.** 2007 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2007.

A Bacia Aérea é um espaço tridimensional que conduz e distribui os ventos sobre as bacias hidrográficas. No Estado do Rio de Janeiro, 48% do território é composto pela vertente Atlântica, onde foram registradas 16 bacias aéreas com características ambientais específicas, distribuídas em 20% da área. Baseado na conformação de parâmetros morfométricos as bacias aéreas foram agrupadas, através de Análise Multivariada – Cluster, com distância Euclidiana de 48%, nível de significância de 95% e coeficiente de correlação de 0,7132 em 5 grupos com formas similares. Para avaliar os efeitos hidrológicos dentro das bacias aéreas, utilizou-se como estudo de caso a bacia aérea de Angra dos Reis, onde a magnitude da variável interceptação das nuvens foi medida na zona de escape, a partir do interflúvio da bacia hidrográfica do rio Pirai (sotavento), em distâncias de afastamento distintas, com e sem barreiras orográficas, durante o inverno e verão. Utilizou-se área amostral de interceptação vertical equivalente a 0,45% das florestas da região. A variação do afastamento do interflúvio ocorreu até desnível de 500 m em altitude, podendo ser este limite o fim da zona de escape e início da zona de distribuição da bacia aérea. O efeito da bacia aérea representou adicional de 44% em volume de chuva no interflúvio (ponto 1), 39% a 4,5 km (ponto 2) e 42% a 7,5 km (ponto 3) do ponto 1 em direção concordante ao sentido do fluxo. O efeito da orografia no corredor variou de forma irregular no inverno e no verão, mantendo diferencial de 23% e 77% no ponto A (obstrução de 85% da seção transversal) e 32% e 68% , no ponto B (obstrução de 80% da seção transversal). Em áreas sob influência de bacias aéreas, as variáveis e processos ambientais podem ser determinantes para ofertar serviços ambientais nas bacias hidrográficas.

Palavras Chave: chuva oculta, recursos hídricos, bacia aérea, Mata Atlântica, serra do Mar.

ABSTRACT

BARBOZA, Rafael Silva. **Characterization of the Air Basins and Fog interception evaluation in the backstrongs of mountain range of Mar.** 2007. 61f. Dissertação (Master Science in Environmental and Forest Sciencies). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2007.

The air basin is a three-dimensional space that conduct and distribute the winds over the drainage basin. In Rio de Janeiro's state, 48% of the territory is constituted by Atlantic slope, where were registered 16 air basins with specific environmental features, distributed in 20% of the area. Based on the conformation of morphometrics parameters the air basins were grouped, by Multivariate Analysis - Cluster, with Euclidean distance of 48%, significance level of 95% and correlation coefficient of 0.7132, in 5 groups with similar forms. To evaluate the hydrologic effects within the air basins, it was used as a study case, the air basin of Angra dos Reis, where the magnitude of the interception of clouds was measured in the escape zone from the topographic divide of the Pirai river basin (leeward), in different distance away, with and without natural barriers, during the winter and summer. It was used vertical intercept sampling area equivalent to 0.45% of the forests in the region. The variation of the removal of the topographic divide occurred until 500 m of altitude, this limit may be the end of the escape zone and the beginning of the air basin distribution zone. The effect of air basin represented additional of 44% of the volume of rain in topographic divide (point 1), 39% at 4.5 km (point 2) and 42% at 7.5 km (point 3) of the point 1, in concordant direction of the flow. The effect of the orography in the trajectory of the winds, varied in an irregular way in winter and in summer, maintaining differential of 23% and 77% in point A (obstruction of 85% of the cross section) and 32% and 68% in point B (obstruction of 80% of the cross section). In areas under the influence of air basins, the variables and environmental processes can be crucial to offer environmental services in drainage basins.

Key Words: fog interception, hydrology resources, air basin, Atlantic Forest, mountain range of Mar.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I – BACIAS AÉREAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

01: Área de estudo.	8
02: Modelo de perfil longitudinal de uma bacia aérea.	9
03: Parâmetros morfométricos da bacia aérea.	10
04: Pesos atribuídos as direções dos ventos.	11
05: Zona de condução do escoamento do ar nas encostas.	12
06: Zona de escape do escoamento do ar.	13
07: Bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro.	15
08: Agrupamento de bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro por afinidade de fatores morfométricos.	17

CAPITULO II – CHUVA OCULTA NA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO DA BACIA AÉREA DE ANGRA DOS REIS

01: Dinâmica do escoamento do ar a partir do efeito orográfico no interflúvio. WHITEMAN (2000), modificado.	24
02: Área de estudo.	26
03: Detalhe topográfico da localização dos pontos 1, 2 e 3.	28
04: Modelo de localização dos experimentos de avaliação do efeito do afastamento do interflúvio e ângulos de obstrução do escoamento do ar.	29
05: Fotografias dos pontos A e B (barlavento/sotavento).	30
06: Detalhe da localização dos pontos A e B (barlavento e sotavento).	31
07: Influência dos fluxos de ar em micro topografias de alta montanha e localização dos aparelhos em cada tratamento. (Whiteman, 2000, modificado).	32
08: Interceptador para medição de chuva oculta.	33
09: Volume total de chuva oculta e precipitação sazonal em diferentes altitudes.	38
10: Volume diário de chuva oculta, precipitação e valores acumulados (inverno e verão) em função da distância do interflúvio nos Pontos 1, 2 e 3.	40
11: Volume diário de chuva oculta, precipitação e valores acumulados no Ponto A (inverno e verão).	42
12: Volume diário de chuva oculta, precipitação e valores acumulados no Ponto B (inverno e verão).	43

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO I – BACIAS AÉREAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

01: Principais variáveis distribuídas entre os diferentes setores de cada bacia aérea.....	16
02: Caracterização das bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro.....	18

CAPITULO II – CHUVA OCULTA NA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO DA BACIA AÉREA DE ANGRA DOS REIS

01: Pluviosidade na zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis na Mata Atlântica (mm)	34
02: Valores de F ao nível de 5% de significância.....	35
03: Valores totais de precipitação pluviométrica e chuva oculta de cada ponto com respectivos coeficientes de correlação (R^2)	35
04: Médias totais de precipitação oculta e pluviométrica com respectivos números de dias	36
05: Precipitação pluviométrica e chuva oculta na zona de distribuição da bacia aérea.....	36
06: Volumes de chuva oculta, precipitação pluviométrica e incremento médio diário coletado por pontos.....	40
07: Volumes de chuva oculta, precipitação pluviométrica e incremento médio diário coletado por pontos.....	43

ÍNDICE DE EQUAÇÃO

CAPÍTULO I – BACIAS AÉREAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

01: Grau de convergência	10
02: Ângulo	11

CAPITULO II – CHUVA OCULTA NA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO DA BACIA AÉREA DE ANGRA DOS REIS

01: Área de coleta (cm^2)	33
02: Superfície de coleta (cm^2).....	33
03: chuva oculta (mm/m^2).....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPITULO I - BACIAS AÉREAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	2
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÕES.....	18
CAPITULO II – CHUVA OCULTA NA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO DA BACIA AÉREA DE ANGRA DOS REIS.....	19
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	21
1. INTRODUÇÃO	22
2. REVISÃO DE LITERATURA	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	34
5. CONCLUSÕES.....	44
2. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS	45
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
4. ANEXOS	49

1. INTRODUÇÃO GERAL

Estudos meso e microclimáticos são importantes para formulação de estratégias de manejo de bacias hidrográficas, principalmente em regiões onde a pluviometria sofre marcada influência da orografia, como é o caso das regiões da serra do Mar nos Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

No estado do Rio de Janeiro, as falhas na periodicidade dos dados meteorológicos oficiais dificultam análises climatológicas com series extensas, principalmente quando se objetiva estudar interações entre orografia e variáveis climáticas (DAVIS & NAGHETTINI, 2001).

As variações regionais de precipitação são apresentadas em mapas de isoietas, que utilizam a distribuição espacial das áreas de influência das estações meteorológicas, considerando de forma subliminar os efeitos da orografia. Os mapas de isoietas consideram prioritariamente as grandes feições dos relevos e utilizam dados de estações meteorológicas próximas a aglomerados urbanos.

Para a compreensão das chuvas orográficas é importante entender o funcionamento da Bacia Aérea. A Bacia Aérea funciona como um espaço físico tridimensional, onde os ventos são captados e conduzidos, funcionando como um “alçapão de ventos”, priorizando determinados caminhos e promovendo trocas diferenciadas de umidade (PIRES, 2005). Nos locais onde há descarga de umidade, o aumento da oferta de água líquida pode servir como atributo ambiental mantenedor de formações florestais nativas da Mata Atlântica. Dessa forma, as Bacias Aéreas são caracterizadas por apresentarem zonas de influência na condução e direcionamento dos ventos úmidos e zonas de maior interceptação desses ventos, onde ocorre maior contato entre a massa de ar e a superfície do terreno.

Estudos em bacias aéreas têm sido utilizados para dimensionar os deslocamentos de plumas de poluição e/ou de material particulado na atmosfera, assim como para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de emissão e dispersão dos efluentes atmosféricos em uma dada região (OLIVEIRA et al., 2005; CHEN & LIN, 2005). O presente estudo considera a orografia como fator que atua no direcionamento do escoamento do vento, influenciando a composição fisionômica e florística da paisagem.

A cobertura florestal é permeada pelos ventos, reduzindo a velocidade de deslocamento em locais com alta densidade florestal e “filtra” umidade. A superfície florestal tem capacidade de aumentar a condensação do vapor de água atmosférico em condições favoráveis: altitude elevada, ar próximo à saturação (umidade relativa elevada); entrada de nuvens e/ou interceptação de nuvens, favorecendo a ocorrência de chuva oculta (CAVELIER, et al., 1996; ANIDO, 2002).

Entende-se por chuva oculta, toda e qualquer forma de condensação do vapor d’água a partir do choque das massas de ar úmido com a superfície terrestre, sendo mais perceptível em superfície coberta por vegetação onde os seus efeitos se potencializam. Nas áreas com remanescentes florestais, a superfície de interceptação vertical é maior, apresentando mais recursos para redução da velocidade do vento e para aumentar a condensação. No entanto, o grau com que a redução da velocidade e a condensação vão ocorrer depende de fatores relacionados à arquitetura, à forma da vegetação e do relevo (CAVELIER et al., 1996; GONZÁLEZ, 2000; ANIDO, 2002).

O estudo foi conduzido na cadeia de montanhas da serra do Mar no estado do Rio de Janeiro, sendo escolhido como estudo de caso a zona de dispersão da bacia aérea de Angra dos Reis. No Capítulo I se tipificou as bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro; e no Capítulo II se avaliou os efeitos da orografia na formação de chuva oculta na zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis.

CAPITULO I - BACIAS AÉREAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

A Bacia Aérea é um espaço tridimensional que conduz e distribui os ventos sobre as bacias hidrográficas. No Estado do Rio de Janeiro (43.305 km²), 48% constituem a vertente Atlântica, sendo que 20% constituem encostas das 16 bacias aéreas, que foram morfometricamente caracterizadas sob base plani-altimétricas do IBGE na escala 1:50.000. As variáveis morfométricas foram descritas por meio das suas possíveis funções ecológicas para os ecossistemas: Área de Influência a Montante (4 parâmetros); Encosta (5 parâmetros); e Zona de Distribuição (5 parâmetros). Posteriormente, as bacias aéreas foram agrupadas em 5 grupos com afinidade de características morfométricas, segundo Análise Multivariada, método de cluster, com distância Euclidiana de 48%, nível de significância de 95% e coeficiente de correlação de 0,7132. Critérios morfométricos similares podem representar fatores ecológicos semelhantes e elementos importantes para a gestão do território nas bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.

Palavras Chave: bacia aérea, serra do Mar, paisagem, chuva oculta, recursos hídricos.

ABSTRACT

The air basin is a three-dimensional space that conduct and distribute the winds over the drainage basin. In Rio de Janeiro's state (43,305 km²), 48% of the territory is constituted by Atlantic slope, being 20% of the area constituted by the 16 air basins slopes, witch were morphometric characterized under IBGE topographic base in a scale of 1:50.000. The morphometric variables were described by their possible ecologic functions: Area of Influence upstream (4 parameters); Slope (5 parameters); and Distribution Zone (5 parameters). Subsequently, the air basins were grouped in 5 different groups with common morphometric features, according to Multivariate Analysis - Cluster, with Euclidean distance of 48%, significance level of 95% and correlation coefficient of 0.7132. Similar morphometric characteristics can represent similar ecologic factors and important elements to the management of the drainage basins of Rio de Janeiro's state.

Key Words: air basin, mountain range of Mar, landscape, fog interception, hydrologic resources.

1. INTRODUÇÃO

As bacias aéreas são unidades espaciais delimitadas por divisores topográficos e podem ser utilizadas para monitoramento da qualidade do ar. Uma vez que elas se sobrepõem às bacias hidrográficas, influenciam o seu manejo através da dinâmica dos fluxos de ar e oferta diferenciada de atributos ambientais.

As barreiras orográficas constituídas pela cadeia de serras por onde o ar circula conformam as bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro, constituindo um caminho prioritário de escoamento dos ventos e uma unidade de monitoramento da qualidade do ar. O efeito orográfico pode influenciar na oferta de atributos ambientais (formação de nuvens, aumento da umidade relativa, precipitação) nas microbacias da vertente Atlântica (barlavento) e no rio Paraíba do Sul (sotavento), constituído prioritariamente pelos contrafortes da serra do Mar.

A circulação atmosférica regional e as frentes frias sofrem interferência da conformação topográfica do Estado, o que torna a atuação dos ventos de direção Sudoeste e Nordeste, marcantes, influenciando as temperaturas diárias bem como o regime de precipitação na região (FIDERJ, 1978; NIMER, 1979; DUARTE, et al., 1978; BARBIÉRE & KRONENBERGER, 1994).

A conformação, a orientação e a exposição do relevo interferem na distribuição espacial da pluviosidade, propiciando maior volume precipitado e variações de magnitude em função da altitude na região centro-sul fluminense (FIDERJ, 1978; NIMER, 1979). Em condições regionais, estas relações existem e precisam ser aprimoradas (BARBOZA, 2004).

A forma e distribuição das chuvas em uma bacia aérea influenciam o padrão de vegetação, expressada na diferença de densidade de indivíduos, espécies (diversidade ecológica) e oferta de atributos ambientais. Esta é uma variável importante a ser considerada na individualização das áreas/setores das encostas para o planejamento de uso do terreno (GONZÁLEZ, 2000).

O presente estudo teve como objetivo tipificar as bacias aéreas da serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro, identificando, caracterizando e agrupando-as por similaridade de fatores morfométricos. Ele também ensejou uma contribuição metodológica para caracterização das bacias aéreas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Uma bacia aérea é uma área cuja topografia influencia a dispersão atmosférica que transporta umidade, poluentes, aerossóis e material em suspensão. Ela é constituída por unidades de passagem de elementos em suspensão denominadas corredores de poluição e podem ser consideradas unidades de gerenciamento da qualidade do ar (PIRES, 2005).

A orografia compõe a bacia aérea captando e direcionando o escoamento das correntes de vento no interior das bacias hidrográficas e para além dessas. A bacia aérea encontra-se, espacialmente, englobando uma ou mais bacias hidrográficas, as quais influenciam a dinâmica dos fluxos de ar em uma dada região, apresentando intensidade diferenciada de interferência orográfica, de acordo com suas feições, nos parâmetros formadores de chuva (PIRES, 2005).

A dispersão de poluentes é dificultada pelo anteparo físico (efeito orográfico), onde as topografias regionais imprimem cinturões côncavos e embocadura com ângulos distintos voltados para o Oceano Atlântico. Nessas áreas, a orografia interfere na captação e principalmente na condução dos ventos úmidos. Os ventos escoam em trajetórias de correntes perturbadas descarregando umidade nas encostas a barlavento (GONZÁLEZ, 2000).

A delimitação de uma bacia aérea se restringe ao espaço aéreo, variando da cota mínima até o ponto mais alto de cada bacia, cujas principais saídas dos ventos são os corredores formados pelos vales encaixados na cumeeira da Serra do Mar. Dessa forma, a bacia aérea se constitui numa encosta que recebe vento e permite sua passagem em diferentes trajetórias até as áreas de escape. De acordo com sua trajetória e intensidade, os ventos influenciam a paisagem e conseqüentemente os recursos hídricos das bacias hidrográficas (CAVELIER et al., 1996; JARVIS, 1999).

O Oceano Atlântico funciona como regulador térmico da área terrestre costeira, fornecendo a maior parte da umidade para formação de chuvas, nevoeiro, neblina e orvalho, controlando assim a temperatura nesses ambientes. As diferentes formas de relevo com suas características topográficas particulares, em interação com as correntes de ar atmosférica na zona costeira do continente, interferem fortemente nas condições do tempo.

Efeito da barreira orográfica

Quando a massa de ar entra em contato com uma barreira física é forçada a desviar lateralmente e/ou ascender, mudando a pressão e o estado físico das moléculas, podendo gerar chuvas orográficas (BUSINGER et. al., 2005; CHEN & LIN, 2005). O vapor d'água contido nessa massa de ar, quando atinge o ponto de saturação e colide com a cobertura florestal (que em geral encontra-se com temperaturas inferiores ao ar adjacente), sofre rápida condensação na superfície florestal, gerando a precipitação interna. Este evento é chamado interceptação de neblina ou chuva oculta (CAVELIER et al., 1996; GONZÁLEZ, 2000; ANIDO, 2002).

A dinâmica das trocas de ar entre o continente e o Oceano Atlântico, em nível de mesoclima, ocorre durante o dia. Período no qual o continente sofre um aquecimento mais rápido que o Oceano Atlântico, gerando correntes ascendentes, onde o ar quente é substituído rapidamente pelo ar frio e denso vindo do mar. À noite a situação se inverte e o resfriamento da superfície terrestre produz efeito de brisa terrestre, fazendo com que os ventos soprem em direção ao Oceano Atlântico (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994; SELUCHI & CHOU 2001).

Durante as brisas marinhas e os ventos Sudoeste, parte da massa de ar frio fica retida nas depressões ao colidir com as montanhas, formando bolsões de ar. A zona frontal da massa de ar ocupa essas regiões, onde é retardada pelas barreiras montanhosas, ocasionando sua elevação com conseqüente formação de precipitação. Os fluxos aumentam a velocidade ao passar as montanhas através dos vales encaixados (gargantas). Os ventos se condicionam por trajetórias de correntes perturbadas, descarregando umidade nas encostas a barlavento. Essas áreas são chamadas de encostas da bacia aérea, cujas saídas dos ventos são as gargantas nos divisores topográficos dos interflúvios (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994; WHITEMAN, 2000; SELUCHI & CHOU, 2001), ou seja, vales encaixados nas cumeeiras das serras.

Nos mesoclimas de montanha as características climáticas apresentam aspectos gerais comuns, como o decréscimo da radiação solar, da umidade do ar e da temperatura, à medida que a altitude se eleva (CAVELIER et al., 1996). Em microclimas, os fatores que afetam a incidência de radiação, vento e duração dos períodos de insolação, introduzem diferenças climáticas de forma diferenciada nos setores das bacias, podendo explicar as manifestações diferenciadas da composição florística das formações florestais nativas (BANTA, 1990; CAVELIER et al., 1996; JARVIS, 1999, MULLIGAN & JARVIS, 1999). Essa por sua vez, contribui para a manutenção das condições ambientais das microbacias, produzindo serviços ambientais como, por exemplo, a perenidade das nascentes (VALCARCEL, 1982).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no estado do Rio de Janeiro a barlavento da cadeia de montanhas da serra do Mar (Figura 01), que divide o estado em dois ambientes: vertente Atlântica e vertente da bacia do rio Paraíba do Sul.

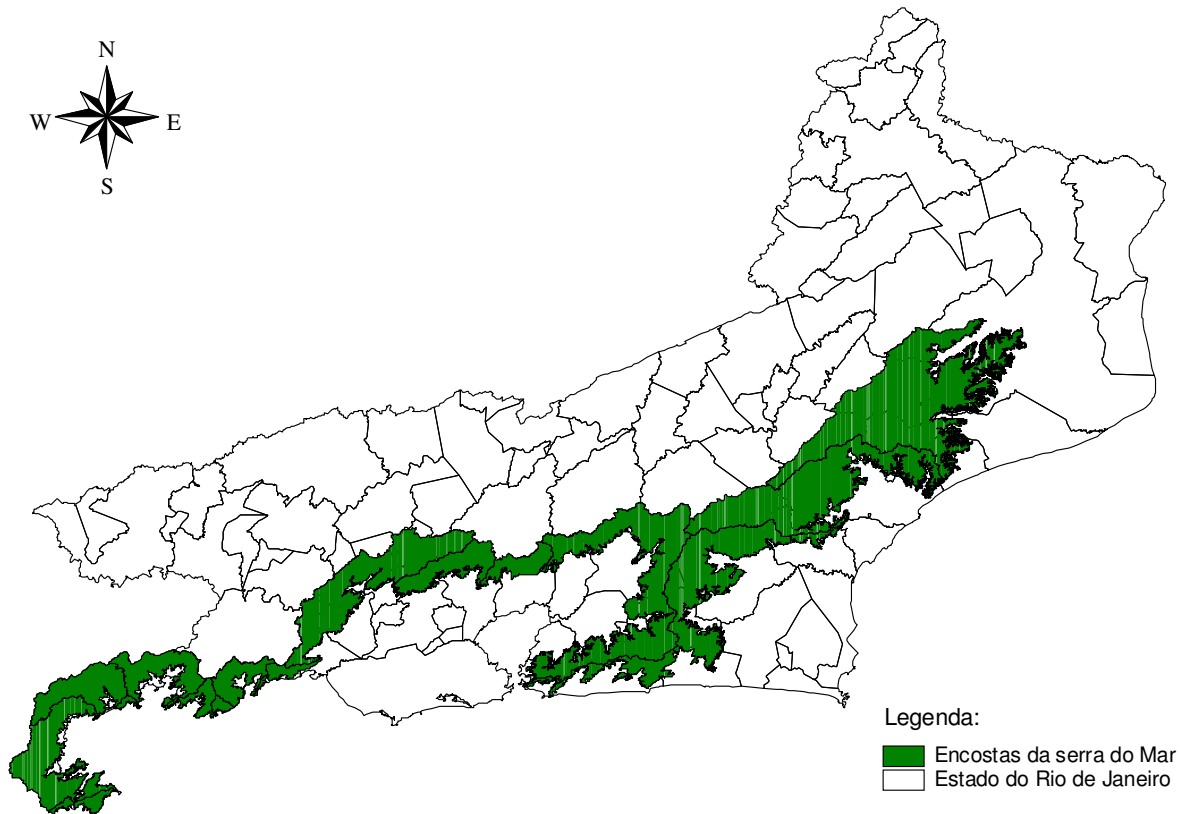


Figura 01: Área de estudo.

Metodologia

As bacias aéreas foram individualizadas em toda a cadeia de montanha do Estado do Rio de Janeiro, representando os principais canais de circulação de ar. Elas foram descritas em função de sua morfometria, utilizando variáveis do meio físico (formas de relevo, distância do Oceano Atlântico, áreas de interceptação e área total e tamanho da embocadura) e fatores que condicionam os ventos, direção, frequência de chuvas e sua livre circulação (distância do Oceano Atlântico e graus de obstrução).

A base cartográfica foi estabelecida a partir das 36 cartas digitais do IBGE, disponibilizada pela Diretoria de Geociências / Coordenação de Cartografia (Anexo I.1).

Caracterização das bacias aéreas

A caracterização das bacias aéreas foi realizada a partir da métrica dos parâmetros que condicionam a passagem das correntes de ar pelas Zonas de Captura, Condução e Escape dos ventos. Com medidas da direção e intensidade dos escoamentos (volume, intensidade e frequência), e dessa forma permitisse analisar a influência do vento na deposição de umidade na superfície (concentração de umidade).

A bacia aérea foi dividida em quatro setores para fins de caracterização dos elementos da paisagem que interferem na dinâmica da condução dos ventos (Figura 02). São eles:

- a) Área a montante da bacia aérea (Captura);
- b) Encostas: base até divisor (Condução);
- c) Áreas de Escape: interflúvio - parte alta da bacia; e
- d) Distribuição (Figura 02).

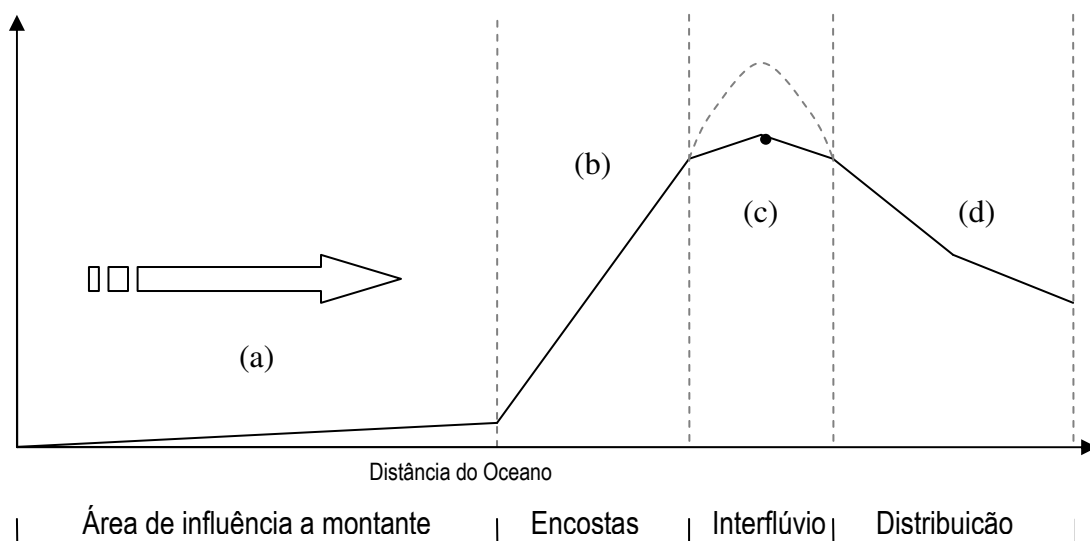


Figura 02: Modelo de perfil longitudinal de uma bacia aérea.

a) Área de influência a montante da bacia aérea

É a área mais próxima da fonte dos ventos oriundos do Oceano Atlântico, onde o ar escoar até atingir a cordilheira. Este setor envolve toda a área a montante da bacia aérea, desde o Oceano Atlântico até chegar ao início da zona de alteração de fluxo/início da subida (falda dos morros ou linha de transição do relevo - LTR). Outros parâmetros como as distâncias, elevações (gradiente altitudinal), ângulos de entrada e relacionamento com a direção das frentes frias e as brisas estão descritos abaixo.

Embocadura da bacia aérea (alçapão de umidade) é a variável que expressa a seção transversal às correntes de ventos, por onde forçosamente toda a massa de ar tende a ingressar na bacia aérea. Para delimitá-la espacialmente considerou-se uma linha poligonal fechada, similar a um trapézio, onde a base maior encontra-se na zona plana na linha de intercessão com as paredes laterais, situada a montante da bacia aérea (linha EF) (Figura 03). A base menor, situada na parte alta, foi considerada a linha onde há o rebatimento da linha da base no interflúvio (linha GH). As paredes laterais foram constituídas pelas linhas que ligam as extremidades das partes baixas com as altas, sendo, portanto as linhas do lado direito e esquerdo (EG e FH). A embocadura foi definida a partir da determinação desta área segundo a figura poligonal mais ajustada possível.

O afastamento da área em relação ao Oceano Atlântico (distância em metros) é a linha **AB**. Representa a projeção da distância percorrida pela massa de ar desde o Oceano Atlântico até a base da bacia.

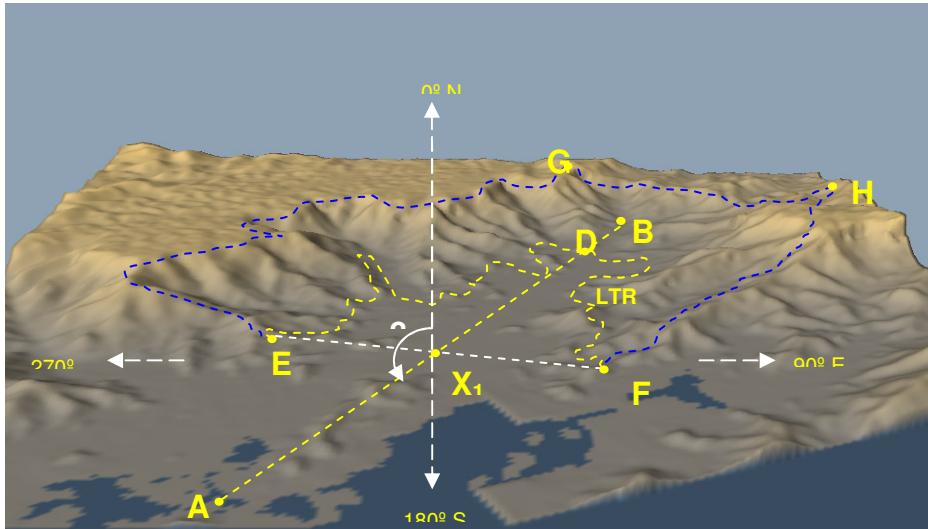


Figura 03: Parâmetros morfológicos da bacia aérea.

A linha de transição de relevo (LTR) é considerada como o ponto onde inicia a encosta (faldas), da cota inicial para uma cota de valor positivo e início do alçapão de umidade. No ponto mais distante do Oceano Atlântico ocorre a inflexão do terreno (**D**).

O eixo de rotação adotado é o ponto **X₁** e representa a orientação da embocadura (linha **EF**) em relação ao norte verdadeiro. À distância do Oceano Atlântico em relação ao segmento de reta **EF** (linha de interceptação) é representada pelo segmento **AX₁** (em metros). A variável **X₁D** representa a distância do segmento de reta EF em relação à linha de transição do relevo na metade do interflúvio.

O Grau de Convergência é representado pela LTR em relação à variável **X₁**; quando LTR passa antes de **X₁** significa que o “alçapão de umidade” é convexo na sua base, dispersando umidade. Se LTR estiver depois de **X₁**, significa que o alçapão de umidade é côncavo em sua base, como na Figura 03.

A representação deste parâmetro é feita por meio da Medida do Grau de Convergência o qual é obtido por meio da equação 01.

$$Gg = \frac{X_1.D}{EF} \quad (01)$$

Onde:

C_g - Grau de convergência;

X₁D - Distância do segmento de reta EF à linha de transição do relevo na metade do interflúvio; e

EF - Largura da boca do alçapão.

A ordem de magnitude de convergência na linha de transição do relevo é observada por meio da equação 01, quando:

- **GC > 1** Convergência;
- **GC = 1** Plano; (LTR coincide com a linha EF);

- $GC < 1$ Divergência.

O grau de convergência caracteriza a forma (côncava, plana ou convexa) ou forma do polígono de interceptação.

Ângulo - α_1 : ângulo entre a projeção no meio do divisor topográfico e a tangente de α_1 .

$$\alpha_1 = \frac{h}{AD} \quad (02)$$

Onde:

h = altitude do ponto D

AD = segmento de reta que liga o Oceano a encosta.

Orientação da linha EF

O ângulo β , ângulo entre a linha Norte-Sul, partindo do Norte e a linha de sentido do escoamento do vento na bacia aérea, indica a qualidade do ar, em termos de umidade, a que a bacia está exposta. Os ventos que fluem sobre a bacia aérea terão os ângulos variando de 0° a 360° com referencial Norte (0° ponto cardinal Norte) (Figura 04). A definição dos pesos se baseia na concentração de umidade (UR%) dos ventos: Sudoeste: maior umidade (peso 1,0; 100%); Nordeste: menor umidade (peso 0,3; 30%); Noroeste: (peso 0,5; 50%); e Sudeste: (peso 0,7; 70%) (Figura 0-4).

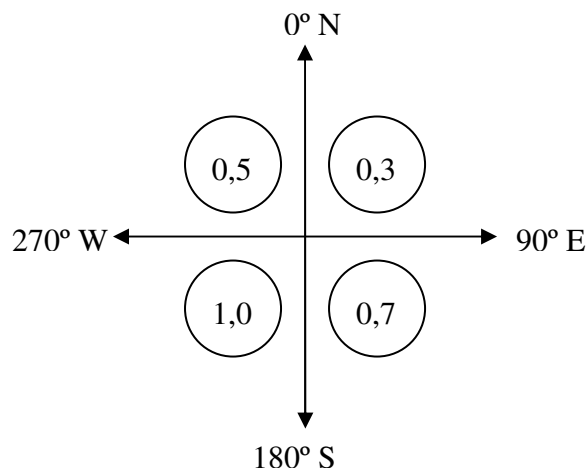


Figura04: Pesos atribuídos as direções dos ventos.

b) Encostas

O interflúvio constitui a parte mais alta da bacia aérea e representa os pontos terminais de influência da orografia na condução dos ventos, sendo as gargantas os locais com maior frequência de influência dos movimentos das correntes de ar (CHEN & LIN, 2005). Este setor envolve as encostas propriamente ditas, as inclinações, as feições do terreno, assim como as áreas de “embolsamento” de umidade e a relação com o venti-deslocamento menos turbulentos das nuvens.

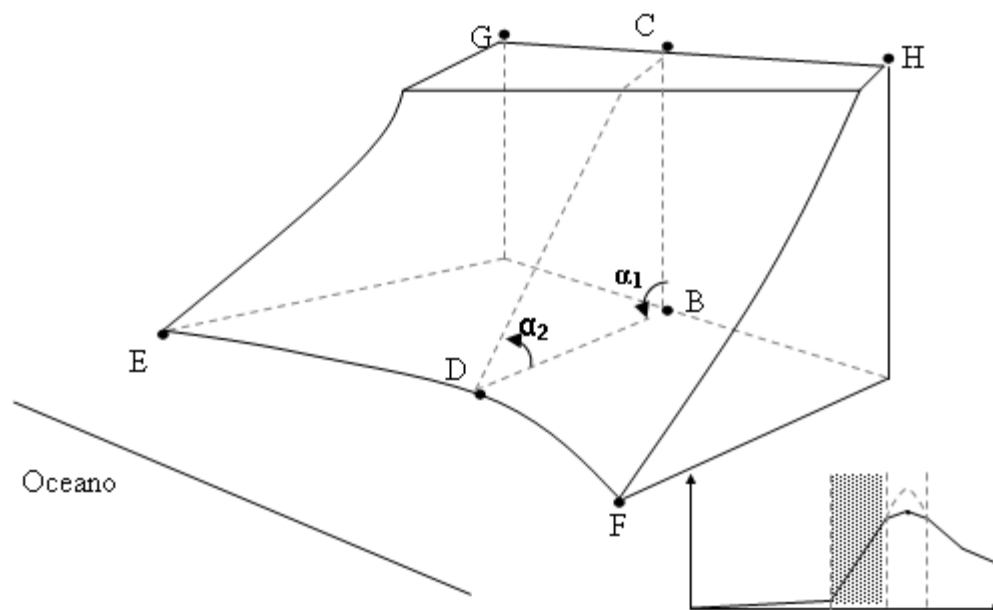


Figura 05: Zona de condução do escoamento do ar nas encostas.

O Polígono EFGH (Figura 05) representa a embocadura do “alçapão de umidade”, variável que mede a área (com base em LTR) de captação dos ventos. Ela possui área (figura poligonal fechada calculada especificamente para cada caso), ângulo de inclinação, forma da encosta e grau de convergência. A variável **BC**, que interfere na intensidade do efeito orográfico, representa o ponto culminante de cada bacia aérea.

A declividade é aqui representada pelo ângulo α_2 . Este ângulo refere-se à zona efetiva de interceptação, e o efeito orográfico está relacionado com α_2 . Quanto maior o ângulo α_2 , maior o efeito orográfico (interceptação) e maior o acúmulo de ar.

A forma da encosta é diretamente proporcional ao grau de convergência C_g (côncava plana ou convexa). A cada forma atribuiu-se pesos em 3, 2 e 1, respectivamente. O valor três (3) representa as encostas com padrão Côncavo, o valor dois (2) foi atribuído as encostas com formato Plano e o valor um (1) as encostas com padrão Convexo. Os valores foram atribuídos em função da capacidade de acúmulo ou dispersão de umidade variando de 3 a 1.

O comprimento da encosta em $EF/2$ está diretamente relacionado com a declividade média das encostas, sendo aqui representado pelo segmento DC.

c) Áreas de escape nos interflúvios.

A zona de escape das bacias aéreas representa os corredores de saída dos escoamentos de ar destas (Figura 0-6), onde os mecanismos do escoamento o distribui nas regiões situadas a sotavento da cadeia de montanhas.

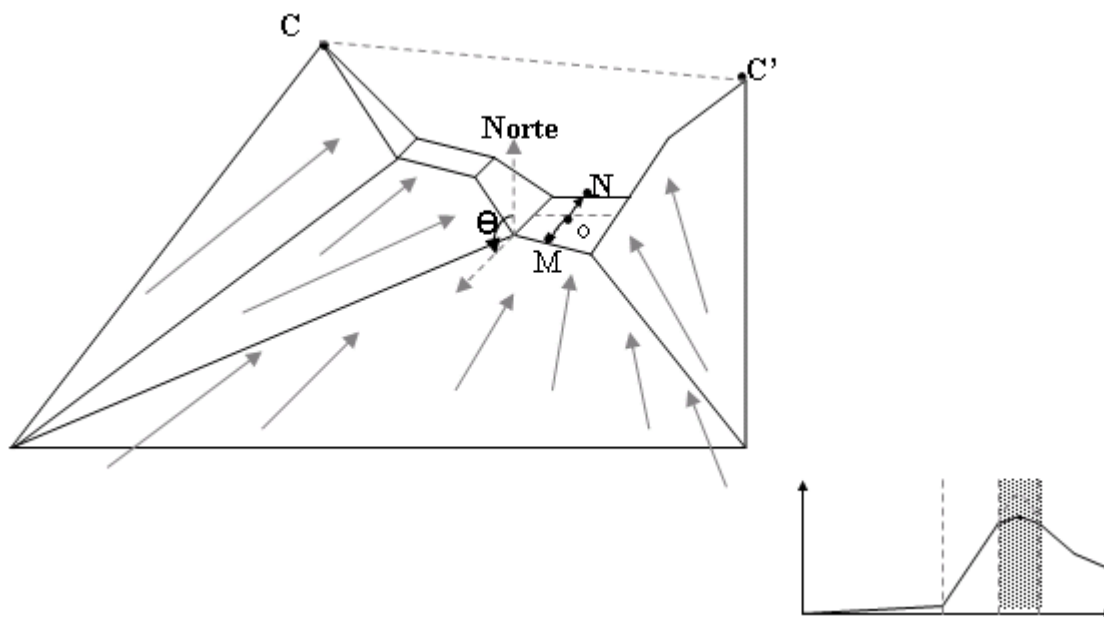


Figura 06: Zona de escape do escoamento do ar.

Estas “gargantas de saída de ar” foram decompostas em três parâmetros. O primeiro parâmetro está relacionado à direção da garganta e é representado pelo símbolo Θ , que é o ângulo em relação ao Norte e que está diretamente influenciado pela direção predominante da entrada de vento da bacia aérea. O segundo parâmetro é a largura da base maior do trapézio (garganta), representada pelo segmento CC' . Refere-se à distância existente entre os dois picos que conformam a principal garganta da bacia aérea. O terceiro parâmetro avaliado é o comprimento desta garganta, que é representado pelas ligações entre os pontos $Mo-oN$. Este se refere à área em que os efeitos da bacia aérea influenciarão na região a sotavento.

Análise dos dados

Os dados foram normalizados utilizando a relação atributo/somatório, conforme SOKAL & ROLPH (1969) e VALENTIN (2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na região metropolitana do Rio de Janeiro existem mapeadas quatro bacias aéreas para estudos de dimensionamento de chaminés, tanto para a emissão de poluentes atmosféricos quanto para a mensuração de parâmetros da qualidade do ar (OLIVEIRA et al., 2005; PIRES, 2005). Nestes estudos, a cota 100 m foi o limite superior da bacia aérea. No presente estudo, a variação altitudinal foi desde o nível do mar até a linha de cumeeada.

Foram identificadas 16 bacias aéreas no estado, compreendidas entre a região de Paraty até e região de Campos (Figura 07). Estas têm formas, características topográficas e climáticas distintas e, conseqüentemente, captação diferenciada de ventos em função do ângulo de inclinação da embocadura da bacia em relação à entrada de ventos e à distância do Oceano Atlântico. Isto se deve ao fato da cadeia de montanhas da serra do Mar tocar e se afastar do Oceano Atlântico ao longo do Estado do Rio de Janeiro.

No estado do Rio de Janeiro, 52% do território pertence à bacia do rio Paraíba do Sul e 48% pertence à vertente atlântica da serra do Mar. Um total de 20% da vertente Atlântica (8.353,26 km²) foi decomposto em 16 grandes bacias aéreas, que conformam as encostas, onde são observados os efeitos hidrológicos diretos das bacias aéreas do estado. Estas bacias

sofrem influência do deslocamento das massas de ar e conseqüente efeito orográfico, tendo influência direta sobre o meio biótico.

As áreas com tamanho entre 15–200 hectares constituem 44% da amostragem (Quadro 01). Elas encontram-se na região Sudoeste do Estado e representam 1% da área total. Foram encontrados 11.664,32 Km² de área total das 16 bacias aéreas na cadeia da serra do Mar - RJ.

Em 38% das bacias aéreas a declividade variou entre 20 a 40% sendo estas distribuídas ao longo da cadeia de montanhas do estado do Rio de Janeiro (Quadro 01). Em 62% as áreas apresentaram declividade variando entre 45 e 80% (Quadro 01).

A declividade, associada à cobertura vegetal, influencia na velocidade do escoamento do ar, contribuindo para a formação de chuvas orográficas e de chuva oculta (CAVELIER et al., 1996).

Cerca de 57% das bacias aéreas apresentaram forma de encosta com padrão Côncavo, evidenciando que as influências dos efeitos orográficos podem ser concentradas em regiões que coincidem com as calhas dos rios das bacias hidrográficas (Quadro 01). Nas demais, 38% das bacias apresentaram o padrão das encostas Plano e 7% Convexo (Quadro 01). Estes tipos de encosta apresentaram características de dispersar água, podendo constituir diferencial hidrológico negativo para a perenização dos recursos hídricos das microbacias.

Em 94% das bacias aéreas a altitude máxima superou os 1000 metros de altitude, favorecendo o processo de condensação do vapor atmosférico por meio do efeito orográfico.

As bacias aéreas com embocadura voltada na direção Sudoeste apresentaram rede de drenagem mais extensa, evidenciando o efeito das chuvas no modelado do relevo e das bacias hidrográficas. O ângulo de embocadura mais freqüente é na direção Sudoeste (36%) e Nordeste (48%), (Quadro 01).

Outros fatores que podem afetar a entrada de umidade nas bacias aéreas precisam ser estudados, como os efeitos advindos das correntes de ar geradas pelo fenômeno das insurgências marinhas na região de Arraial do Cabo.

O tamanho de uma bacia aérea mínima (0,2%) e máxima (14%) (Quadro 01) reforça as características macro ambientais a serem condicionadas pela topografia.

O estado do Rio de Janeiro pode ser dividido em quadrantes relacionados aos pontos cardinais (Quadrantes: Sudoeste, Sudeste, Noroeste e Nordeste). O primeiro apresenta 12 bacias aéreas no quadrante Sudoeste do estado, uma entre os quadrantes Sudoeste/Sudeste, duas no Sudeste (voltadas na mesma direção) e apenas uma localizada no quadrante nordeste coincidindo com a orientação de sua embocadura

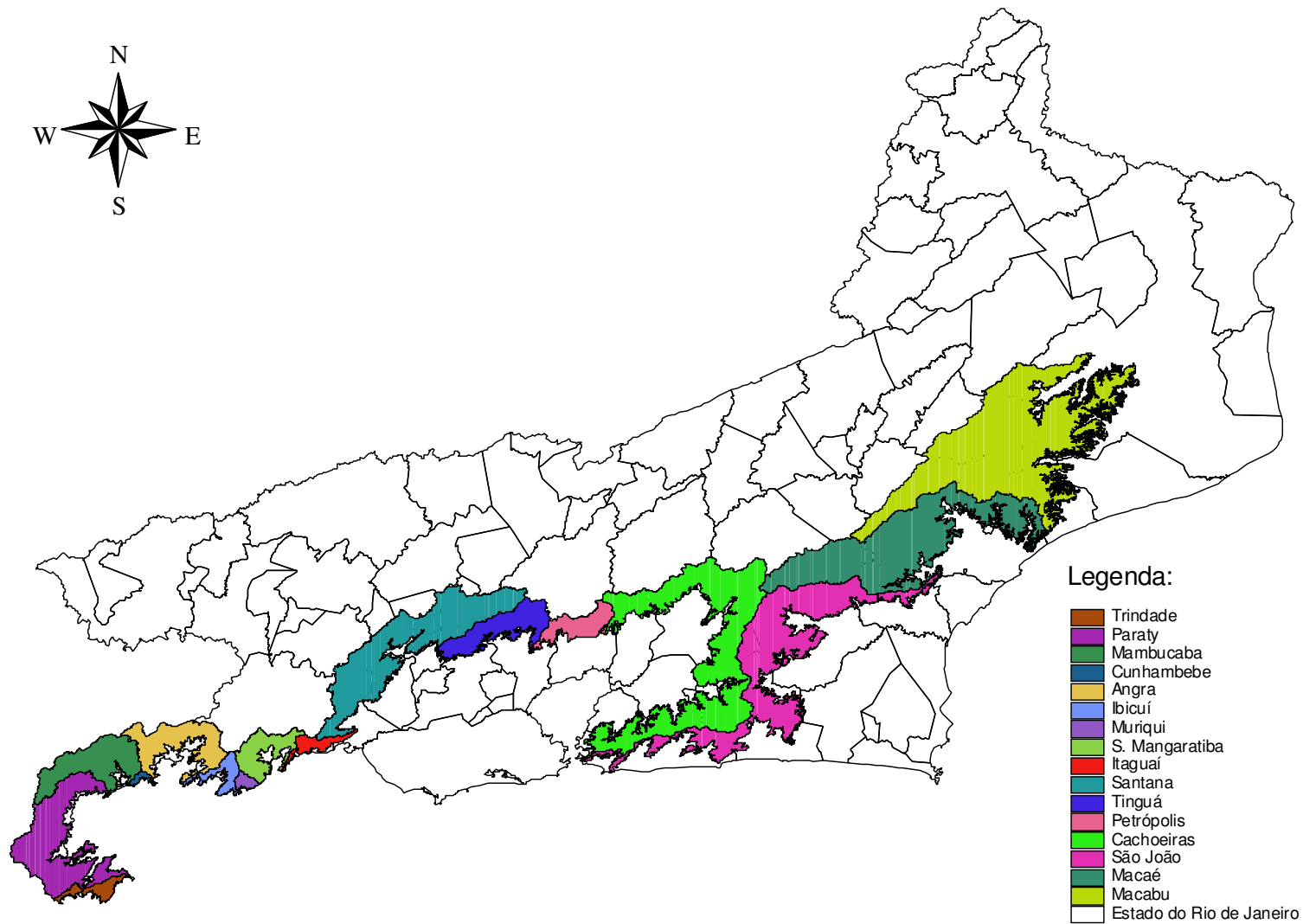


Figura 07: Bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro.

Quadro 01: Principais variáveis distribuídas entre os diferentes setores de cada bacia aérea

Setores		Entrada				Transmissão/ Condução				Distribuição			
Bacia aérea		Área (Km ²)	Distância do Oceano (Km)	Embocadura (Km)	B* (ângulo)	Área de encosta (Km ²)	Altitude Máxima	Declividade (%)	Forma da encosta	LTR* (Km)	Ângulo (grau)	Largura do Corredor (Km)	Comprimento do Corredor (planaltos)
1	Trindade	64,08	0	22,74	0,7	67,36	1070	30	2	52,99	0,7	4,77	0
2	Paraty	916,03	6,66	27,37	0,3	567,44	1000	36	3	236,85	0,3	5,23	4,08
3	Mambucaba	365,09	8,47	16,04	0,7	342,48	1000	23	3	58,73	0,7	4	5,56
4	Cunhambebe	23,22	0,61	6,6	0,7	15,87	639	65	2	18,38	0,7	2,57	0
5	Angra	446,57	6,97	7,11	1	301,18	1539	70	3	144,45	1	2,67	4,33
6	Ibicuí	108,92	3,56	68,67	1	81,74	1692	60	3	73,07	1	8,29	1,67
7	Muriqui	31,65	0,7	9,51	0,7	28,69	1125	45	2	13,66	0,7	30,8	0
8	S. Mangaratiba	221,25	5,09	7,73	0,7	176,61	1599	70	2	67,12	0,7	2,78	2,83
9	Itaguaí	76,89	7,6	24,78	0,7	69,36	1286	70	3	51,24	0,7	4,98	0
10	Santana	1.008,33	31,85	35,5	0,7	844,51	1776	20	2	215,84	0,7	5,96	26,21
11	Tinguá	345,72	49,81	29,85	0,7	284,86	1756	65	3	197,58	0,7	5,46	42,75
12	Petrópolis	194,55	14,36	24,95	0,7	159,80	2216	80	2	70,45	0,7	4,99	10,57
13	Cachoeiras	2.456,40	47,43	40,85	1	1.226,02	2219	80	3	792,31	1	6,39	40,54
14	São João	2.191,04	54,09	128,02	0,7	1.099,49	1719	75	3	900,34	0,7	11,31	46,74
15	Macaé	1.469,29	34,01	35,59	0,7	1.209,53	1627	40	3	623,02	0,7	5,97	28,18
16	Macabu	1.745,30	79,96	57,31	0,3	1.878,34	1628	40	1	1492,15	0,3	7,57	71,02
Total		11.664,32	-	542,62	-	8.353,26	-	-	-	5.008,18	-	86,03	-

* LTR – Linha de Transição do Relevô

* B – Ângulo de embocadura

A zona referente à Entrada foi decomposta em quatro principais parâmetros (área, distância do Oceano Atlântico, embocadura e ângulo), onde o parâmetro referente à Área varia de 23,22 a 2.456,40 Km². Esta variável representa a área da zona de Entrada. A variável distância do Oceano Atlântico representa a distância percorrida pela massa de ar na zona de Condução variando de 0 a 79,96 Km. No entanto, o parâmetro Ângulo está estreitamente relacionado com a Embocadura, pois se refere à direção na qual a embocadura está voltada. Nota-se que 69% das bacias aéreas estão voltadas na direção Sul/Sudeste (0,7), 19% (1,0) para direção Sudoeste e 12% (0,3) para direção Nordeste.

A Zona de Condução foi decomposta em cinco principais parâmetros (Área de encosta, Altitude, Declividade, Forma da Encosta e LTR). A área de encosta apresentou variação entre 15, 87 Km² e 1.878,34 Km² (Figura 0-08). Existe um gradiente altitudinal de 630 a 2.219 metros de ponta a ponta no Estado do Rio de Janeiro, caracterizando o desnível da cumeeira, permitindo o escoamento do ar em direção à bacia hidrográfica do rio Paraíba da Sul (setor de distribuição). A região de cumeeira permite a passagem do escoamento do ar podendo existir influências nos terços superiores das bacias hidrográficas adjacentes com as bacias aéreas a sotavento e situados nos contrafortes da serra do Mar. Estes efeitos relacionados à formação de chuva oculta foram estudados e serão apresentados no Capítulo 02.

O agrupamento permitiu estabelecer 5 grupos (Quadro 02) de bacias aéreas com características morfométricas similares entre si (Figura 08).

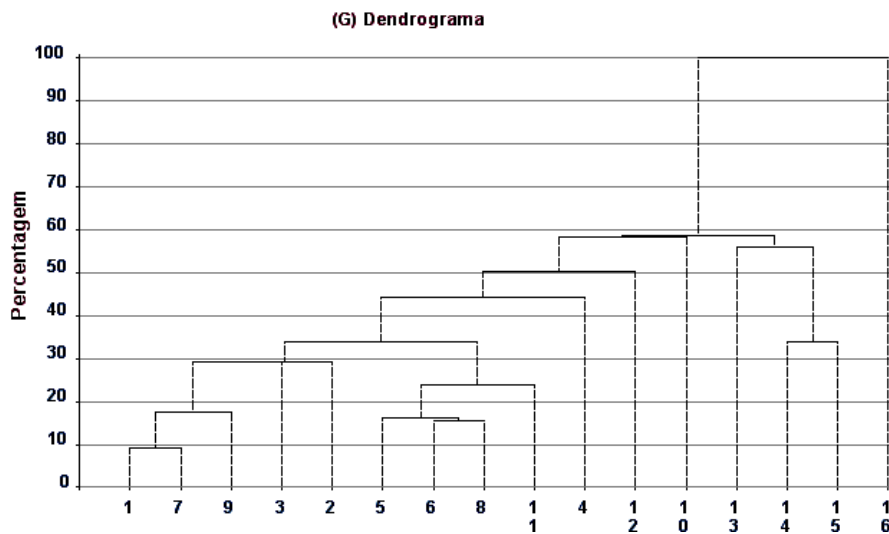


Figura 08: Agrupamento de bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro por afinidade de fatores morfométricos.

Com o nível de homogeneidade posicionado a 58% (linha Fenon) da distância euclidiana, formaram-se dois grupos grandes de bacias aéreas similares, onde a angulação (direção da linha EF) foi o fator discriminante, separando quatro (4) ângulos diferentes: Sudoeste, Sul, Sudeste e Nordeste. O primeiro formado pelas bacias aéreas representadas pelos números 12 e 10, localizadas na região Sudoeste do estado; e o segundo representado pelas bacias 13 (Sul/Sudoeste), 14 (Sul/Sudeste), 15 (Sudeste) e 16, situada na região Nordeste do estado do Rio de Janeiro. Esta bacia é a única da amostragem localizada nesta porção do Estado, onde a direção de sua embocadura coincide com sua localização. No entanto, é a única bacia que apresenta padrão de encosta convexo.

As variações comportamentais dos fatores físicos e ambientais dentro dos grupos devem ser menores que entre os mesmos, permitindo afirmar que eles guardam certas identidades funcionais, que podem ser utilizadas na sistematização da identificação de áreas prioritárias para produção de água líquida nas microbacias. Estes resultados podem contribuir para aperfeiçoar o planejamento de políticas e zoneamento dentro dos planos diretores dos municípios.

A serra do Mar, com seus picos: Três Picos (Pico Maior, 2336 m; Pedra do Sino, 2310 m e Pico do Caledônia, 2252m) e várias depressões, que conformam vales encaixados nas linhas de cumeadas, formam zonas de estrangulamento (gargantas) à livre circulação das massas de ar. Estas gargantas têm formas, características morfométricas e funções ambientais diferentes, onde a vegetação pode se constituir em uma variável bioindicadora que integraliza os efeitos da oferta diferenciada de atributos ambientais, pois florestas só ocorrem e se sustentam em locais onde há água em quantidade e regularidade para garantir sua sobrevivência.

Os grupos de bacias aéreas (Quadro 0-2) guardam identidade funcional entre si, devendo apresentar reações ambientais similares, a partir de deslocamentos de frentes, tanto na parte de produção de água, como nos serviços ambientais prestados a sociedade.

Quadro 02: Caracterização das bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro.

Variáveis	Unid.	Grupos				
		I	II	III	IV	V
Unidade	n.	02	04	03	02	05
Área	Km ²	1.202,88	7.902,03	172,62	1.281,12	1.122,46
Declividade	%	50	59	49	30	66
Direção	-	SW	SW	SW/S	S/SW/SE	NE

5. CONCLUSÕES

Na parte da vertente Atlântica do estado do Rio de Janeiro foram identificadas 16 bacias aéreas, distribuídas em 20% do Estado. Elas foram agrupadas por similaridade de fatores morfométricos em cinco grupos com áreas, declividade e direções de entrada de massa de ar afins: I (2 unidades de bacias aéreas); II (4 unidades); III (3 unidades); IV (2 unidades); e V (5 unidades) no Estado do Rio de Janeiro.

**CAPITULO I I – CHUVA OCULTA NA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO DA BACIA
AÉREA DE ANGRA DOS REIS**

RESUMO

Em áreas sob influência de bacias aéreas, as encostas e trechos das bacias hidrográficas podem contribuir para a oferta diferenciada de serviços ambientais referentes ao provimento de água para abastecimento. Este estudo avalia a formação de chuva oculta na zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis, onde os condicionantes morfométricos testados foram o afastamento do interflúvio e o efeito da angulação da orografia, provocado na condução de correntes alteradas. Foram construídos interceptadores de chuva oculta equivalente a 0,45% da altura das florestas e coletados as precipitações e interceptações de chuva oculta, no inverno e verão. A variação do afastamento do interflúvio ocorreu até desnível de 500 m em altitude, podendo ser este limite o fim da zona de escape e início da zona de distribuição. O efeito da bacia aérea representou adicional de 44% em volume de chuva no interflúvio (ponto 1), 39% a 4,5 km (ponto 2) e 42% a 7,5 km (ponto 3) do ponto 1 em direção concordante ao sentido do fluxo. O efeito da orografia na trajetória dos ventos variou de forma irregular no inverno e no verão, mantendo diferencial de 23% e 77% no ponto A (obstrução de 85% da seção transversal) e 32% e 68% , no ponto B (obstrução de 80% da seção transversal).

Palavras Chave: chuva oculta, recursos hídricos, bacia aérea, cobertura vegetal, serra do Mar.

ABSTRACT

In areas under the influence of air basins, the drainage basins slopes can contribute to offer environmental services connected to the water supply. This study evaluates the formation of fog interception in the area of distribution of Angra dos Reis's air basin, where the morphometrics variables tested were: the removal of the topographic divide and the effect of the orographic angulation on the conduct of altered winds. Fog collectors were built at 0.45% of the forests height, allowing collect data from the rainfall and fog interception, in winter and summer. The variation of the removal of the topographic divide occurred until 500 m of altitude, this limit may be the end of the escape zone and the beginning of the air basin distribution zone. The effect of air basin represented additional of 44% of the volume of rain in topographic divide (point 1), 39% at 4.5 km (point 2) and 42% at 7.5 km (point 3) of the point 1, in concordant direction of the flow. The effect of the orography in the trajectory of the winds, varied in an irregular way in winter and in summer, maintaining differential of 23% and 77% in point A (obstruction of 85% of the cross section) and 32% and 68% in point B (obstruction of 80% of the cross section).

Key Words: fog interception, hydrologic resources, air basin, forest covering, mountain range of Mar.

1. INTRODUÇÃO

A captura da massa de ar na embocadura da bacia aérea, sua condução na encosta e passagem na área de escape e distribuição a sotavento, são fases contempladas na dinâmica da passagem de ar pelas bacias aéreas. A livre circulação dos ventos condicionada pelos efeitos orográficos deve constituir elemento diferencial na formação de atributos ambientais nas bacias hidrográficas.

As formações vegetais das zonas de altitude da serra do Mar desempenham serviços ambientais ainda não claramente definidos. A declividade e rugosidade das encostas, atreladas ao gradiente altitudinal e predominância de ventos úmidos condicionados pela bacia aérea de Angra dos Reis podem influenciar a oferta de atributos ambientais na bacia do rio Pirai. Os serviços ambientais, seus processos, variáveis envolvidas e condicionantes técnicos são informações imprescindíveis para os gestores dos recursos naturais das bacias hidrográficas.

A chuva oculta é um dos fatores ecológicos que pode constituir um diferencial de atributos ambientais a ser levado em consideração para fins de planejamento de bacias hidrográficas. Ela compõe o balanço hídrico de microbacias e consiste na captação de ventos úmidos pelo dossel das árvores, aumentando o total de chuva precipitada na bacia (NAGEL, 1956; ZANDROGA, 1981; CAVELIER et al., 1996; ANIDO; 2002; BARBOZA, 2004). Este processo tem importância hidrológica tanto para as bacias como para a sociedade em geral, pois as áreas onde mais ocorre devem apresentar cobertura florestal intacta, caracterizando ecossistemas ajustados evolutivamente com fluxos de energia e água que precisam ser conhecidos. Estas informações podem servir como elemento catalisador de recuperação de ecossistemas antropizados.

Mas evidentemente esse aumento só tem importância em locais ou regiões onde pode ocorrer o fenômeno, como em regiões costeiras, áreas montanhosas e principalmente nas encostas que conformam uma bacia aérea. Como o estado do Rio de Janeiro é cortado pela cadeia de montanhas da Serra do Mar, escolheu-se a região de Angra dos Reis, representativa de 5,6% do estado.

A bacia do rio Pirai (1.135 Km²) abastece parcialmente o Sistema Light Ceda, pois apresenta 60% de sua área de captação entre as cotas 380 - 630 metros de altitude e 40% entre 630m e 1600 metros de altitude. Está hidrologicamente dividida nas sub-bacias do reservatório de Tócos (380,71 Km²) e reservatório de Ribeirão das Lajes (320,12 Km²), área esta em que 80% se encontra entre 400 m e 500 m e 20% entre 500 e 1200 m, esta parte sendo uma sub-bacia e a outra sub-bacia sendo Vigário (46,36 Km²) e reservatório de Santana (387,91 Km²).

A área foco de estudo está localizada a montante do reservatório de Tócos em área de cabeceira, região produtora de água nos planaltos da Serra do mar (VALCARCEL, 1987; PINHEIRO, 2004).

Os efeitos da zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis podem afetar a bacia hidrográfica do rio Pirai. Eles foram avaliados a partir da formação de chuvas ocultas dentro da zona de distribuição da bacia aérea, onde se avaliou os efeitos: a) afastamento do divisor topográfico e b) ângulos de obstrução pelo efeito da orografia da micro-topografia.

O presente capítulo objetivou avaliar a formação de chuva oculta na bacia hidrográfica do rio Pirai (próximo ao interflúvio), a partir das influências do escoamento do ar nas áreas de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A precipitação é um elemento de controle das condições ecológicas e geográficas em uma determinada região, uma vez que elas são originadas por mecanismos de escala local ou regional (NIMER, 1979; PAHL et al, 1994).

O entendimento dos mecanismos de formação das chuvas e sua estreita relação com o meio ambiente, sempre foram objeto de estudos em várias partes do mundo. Eles podem facilitar a compreensão da dinâmica da água em uma bacia aérea (SATYAMURTY et al., 1998). A condensação do vapor d'água da atmosfera, por exemplo, é a primeira condição para a ocorrência de precipitação. Ela ocorre como resultado do resfriamento do ar, cuja temperatura é inferior ao ponto de formação do orvalho (LIMA, 1986; DAVIS & NAGHETTINI, 2001).

Quando uma massa de ar se eleva ela sofre expansão se esfriando devido à diminuição da energia interna. Este resfriamento é referido como adiabático, pois não há perda de calor para o meio. Assim, pode-se afirmar que a causa básica para a ocorrência de chuva é a ascensão de uma massa de ar úmida (LIMA, 1986; DAVIS & NAGHETTINI, 2001).

Informações dos processos de formação de nuvens são utilizadas como elementos de classificação de chuvas (GILMAN, 1964; LENTERS & COOK, 1999; WHITEMAN, 2000; CHEN & LIN, 2005), podendo os tipos de precipitações serem enquadrados em:

- a) **Chuva frontal ou ciclônica** - são chuvas associadas às frentes, ou choques entre massas de ar;
- b) **Chuvas convectivas** - resultam da ascensão do ar cuja temperatura ficou maior que a do meio. O contraste de temperatura que dá início ao processo de convecção pode resultar do aquecimento diferencial da superfície. Elas podem ter intensidades variáveis, porém predominam as chuvas intensas, que precipitam em áreas localizadas (SILVA DIAS et al, 1993); e
- c) **Chuvas orográficas** - resultam da ascensão do ar sobre montanhas (Figura 01), sendo de baixa intensidade e grande frequência, com ocorrência restrita a áreas específicas.

A condensação do vapor d'água próximo à superfície terrestre forma os nevoeiros e sobre a superfície o orvalho. Para que estes fenômenos meteorológicos aconteçam é necessário que o ar junto à superfície esteja saturado (UR=100%). No caso da neblina e do nevoeiro, também é necessário a existência de núcleos de condensação (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994; ROSANE et al., 2005).

Nevoeiro é um conjunto visível de partículas microscópicas de água líquida em suspensão na atmosfera e junto ao solo, capaz de reduzir a visibilidade. Ele é constituído de partículas menores que 60 microns, formando-se de forma análoga às nuvens (GONZÁLEZ 2000; ANIDO, 2002; ROSANE, et al., 2005), podendo ser classificado em:

- a) *De irradiação*: ocorrem em noites sem nebulosidade com calmaria ($v < 1m.s^{-1}$);
- b) *De advecção*: ocorre quando uma massa de ar quente e úmida se desloca para uma região cuja superfície é mais fria e se resfria continuamente por condução de calor para a superfície, podendo ocorrer a saturação e condensação, formando o nevoeiro. Esse tipo é mais comum nas regiões de vales onde o ar frio por ser mais denso acumulando-se nas partes mais baixas do terreno.

Os nevoeiros ocorrem geralmente à noite, quando o balanço da radiação é negativo, isto é, a superfície está perdendo calor. Ao nascer do sol o balanço passa a ser positivo, o que

provoca a evaporação das gotículas de água e os nevoeiros são extintos. A baixa velocidade do vento é outro fator importante para a manutenção do nevoeiro.

Já a neblina é formada, normalmente, abaixo dos topos das encostas das serras e montanhas, ou seja, por uma nuvem *Stratus* baixa (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994b; ROSANE, et al., 2005). Sua origem é similar à das nuvens formadas pelo efeito da orografia. Apresenta gotículas de água com diâmetro superior a 60 microns e consegue molhar os objetos. Pode acontecer a qualquer momento do dia e, ao contrário do nevoeiro, não se dissipa necessariamente quando o sol nasce ou quando o vento aumenta de velocidade. A neblina é uma nuvem ocorrendo nas regiões montanhosas ou a partir do contato com nuvens *Stratus* (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994b). Trata-se de um fenômeno importante para a produção de água, pois combinado com a influência da floresta é responsável pela interceptação de nuvens, formando a chuva oculta (JARVIS, 1999; GONZÁLEZ, 2000).

Quando a neblina penetra em uma floresta, gotículas de água são depositadas na folhagem, as quais se acumulam e gotejam no solo (EKERN, 1964; MULLIGAN & JARVIS, 1999; ANIDO, 2002; BARBOZA, 2004).

A bacia aérea condiciona a entrada da massa de ar, e sua elevação por ascensão. Nas encostas o resfriamento, provoca a condensação, estimulando a retenção de parte da umidade na cobertura florestal e a formação de chuva oculta, contribuindo positivamente para o balanço hídrico da bacia hidrográfica (CAVELIER et al., 1996; GONZÁLEZ, 2000; BARBOZA, 2004).

Efeitos do deslocamento do ar

As precipitações orográficas são decorrentes do contato das massas de ar úmidas com barreiras físicas que promovem sua ascensão, resfriamento e posterior precipitação (FIDERJ, 1978; NIMER, 1979; CHEN & LIN, 2005). Os ventos ao sofrerem contato com as montanhas, descarregam umidade nas encostas voltadas para o Oceano Atlântico, aumentando sua velocidade devido ao elevado gradiente de pressão entre as porções (barlavento e sotavento). Ao descer as encostas, devido à falta de umidade e ao aquecimento, gera as regiões denominadas de sombras de chuva (WHITEMAN, 2000; CHEN & LIN, 2005).

O contato das massas de ar com as montanhas formam nuvens com formas diferenciadas (WHITEMAN, 2000), onde a garganta da bacia aérea é a área física disposta entre dois picos (Figura 0-1). Esta área influencia a dinâmica dos fluxos de ar em uma dada região a jusante da bacia aérea, condicionando os efeitos orográficos a barlavento influenciando nos parâmetros formadores de chuva em localidades a sotavento (WHITEMAN, 2000).

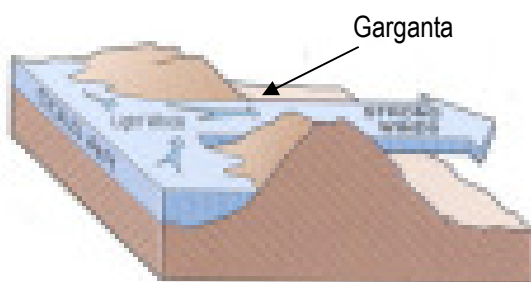


Figura 01: Dinâmica do escoamento do ar a partir do efeito orográfico no interflúvio. WHITEMAN (2000), modificado.

As massas de ar equatoriais e tropicais imprimem dinâmicas climáticas responsáveis pelos locais úmidos, com influência marcante da altitude e de seus efeitos orográficos, onde a interceptação de neblina (chuva oculta) eleva a taxa de umidade nos ecossistemas.

A precipitação média diária no interior das florestas, em setores estratégicos da bacia aérea, é maior que em áreas abertas mesmo durante os períodos chuvosos, evidenciando o papel da vegetação na condensação do vapor atmosférico. Estas evidências contrastam com o reportado na literatura. As florestas são entes do balanço hídrico, responsáveis pelas perdas de até 20% das chuvas, por interceptação horizontal (evaporação da água sobre as folhas) (FURIAN, 1987; GONZÁLEZ, 2000; ANIDO, 2002; BARBOZA, 2004).

Os vales e depressões são responsáveis pela condução dos ventos locais e esta condução depende da conformação das bacias. Além disso, são produzidos movimentos diários de ar como: circulações (turbilhão próximo à superfície) e trajetórias de correntes perturbadas entre os obstáculos. O ar que escoar à noite para o fundo dos vales é frio e aumenta o risco de geadas quando estes estão expostos à direção Norte-Sul, devido sua orientação. Além disso, nos vales orientados na direção Leste-Oeste, anoitece mais cedo e amanhece mais tarde, sendo o fotoperíodo menor e gerando propriedades emergentes diferenciadas, afetando a composição dos ecossistemas (LENTERS & COOK, 1999; WHITEMAN, 2000; CHEN & LIN, 2005).

O clima é influenciado pela Massa Tropical Atlântica favorecendo as precipitações orográficas. A topografia acidentada promove a ascendência orográfica, queda de temperatura (1°C a cada 100 m de altitude) a barlavento das cristas, concentrando umidade. Já a sotavento o efeito é oposto (NIMER, 1979; WHITEMAN, 2000).

O ecossistema florestal pode influenciar o balanço hídrico, conforme foi observado na bacia do rio Clama nos Andes Venezuelanos, onde em função das características geo-ambientais do terreno, a produção de água de uma bacia fica mais dependente do comportamento da vegetação. Locais onde há predominância da condensação de massas de ar úmido, a floresta pode aumentar a precipitação total (VALCARCEL, 1982; DANTAS, 2001).

O efeito da floresta

As distribuições do núcleo das florestas nativas de Mata Atlântica encontram-se nas vertentes da serra do Mar formando fragmentos de florestas em ambas as vertentes dos contrafortes das serras (VELOSO et al., 1991; SEMADS, 2001; WEBER, 2001; GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2005).

Durante o século XVIII até o final de século XIX a região de Lídice sofreu supressão parcial da vegetação nativa para a introdução de cafezais, que foram posteriormente abandonados e substituídos por bananais e pastagens (VALCARCEL, 1987).

O efeito da floresta sobre a precipitação pode determinar a perenidade do curso de água de uma microbacia (MOLCHANOV, 1971; SATTERLUND, 1972; CESAR, 1994; GONZÁLEZ, 2000; NADKARNI & SOLANO, 2002). As florestas presentes nas encostas protegem os solos das ações dos impactos das gotas de chuva, diminuindo sua erodibilidade e influenciando a recarga dos aquíferos (VALCARCEL, 1987).

A interceptação horizontal é uma variável do balanço hídrico das microbacias que capta parte da umidade atmosférica pela cobertura florestal e transforma em chuva efetiva, funcionando como provedor adicional de umidade (GONZÁLEZ, 2000), principalmente quando localizada em regiões com forte interceptação vertical da bacia aérea (VALCARCEL, 1987).

A interceptação vertical representa um obstáculo ao acesso da chuva ao solo, onde a vegetação impede a sua passagem e facilita o seu retorno à atmosfera.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Rio Claro, distrito de Lídice, estado do Rio de Janeiro (coordenadas 22,82° S e 44,22° W), onde a área de influência a montante da bacia aérea é a Baía da Ilha Grande (Figura 02), a encosta são os corredores da Serra D'água (Angra dos Reis), o interflúvio são as partes altas e gargantas do Sinfrônio, e seus corredores do planalto da Serra do Mar e a zona de distribuição são os vales encaixados das cumeeiras.

O vento Sudoeste atinge as encostas das microbacias lateral, tangencial e frontalmente, combinando feições de relevo com diferentes declividades e exposições côncavo, convexo e plano.

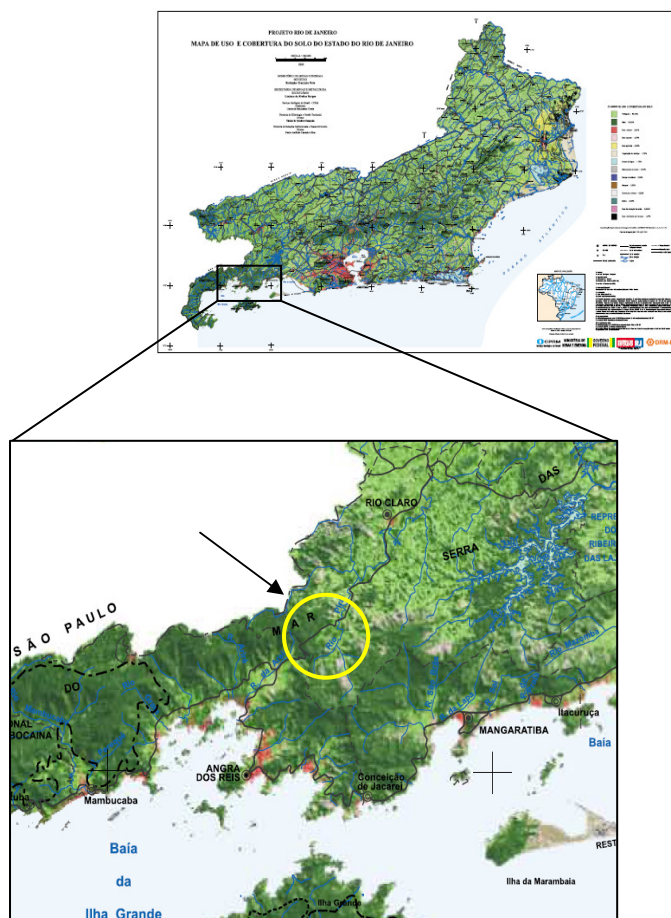


Figura 02: Área de estudo.

Os tipos climáticos predominantes, segundo THORNTHWAIT & MATHER (1955) são o superúmido, nas vertentes voltadas para o mar e o mesotérmico, no reverso e no sopé da Serra do Mar e do vale do Paraíba, sendo que as temperaturas são mais baixas, diferenciando-se no ponto de vista térmico. O período de seca ocorre no inverno nos meses de maio a setembro, com temperatura média variando entre 17° e 22°C.

Geomorfologicamente, a região caracteriza-se por possuir topografia acidentada no terço superior e médio, na orientação do relevo Sudoeste-Nordeste (NIMER, 1979). O relevo montanhoso influencia o regime hídrico de tal forma que a infiltração de água no solo é

menor nas partes mais altas do que nas encostas e depressões. Isso acentua o escoamento superficial e a erosão geológica, ocasionando remoção permanente de material intemperizado em áreas onde o declive é maior (PALMIERI, 1980; GUERRA & CUNHA, 1994).

Avaliação da chuva oculta a partir do interflúvio

A avaliação da chuva oculta na zona de escape da bacia aérea de Angra dos Reis (orientação SW; área 446,57 Km²; gradiente altitudinal – 0 a 1539 m e representativa de 5,4% das bacias aéreas do Estado do Rio de Janeiro) foi feita considerando o afastamento do interflúvio e os graus de obstrução orográfica no corredor de passagem de massa de ar.

Foi mensurado durante dois meses o volume de chuva oculta durante o verão (janeiro) e inverno (agosto) em 3 pontos a partir do interflúvio (Figura 04), ponto mais alto por onde as massas de ar circulam pela zona de escape no sentido da zona de distribuição.

O Ponto 1 tem cota 1.200 m, encontra-se dentro de uma garganta de 1,052 Km², que recebe as massas de ar da direção SW de forma transversal (Figura 03).

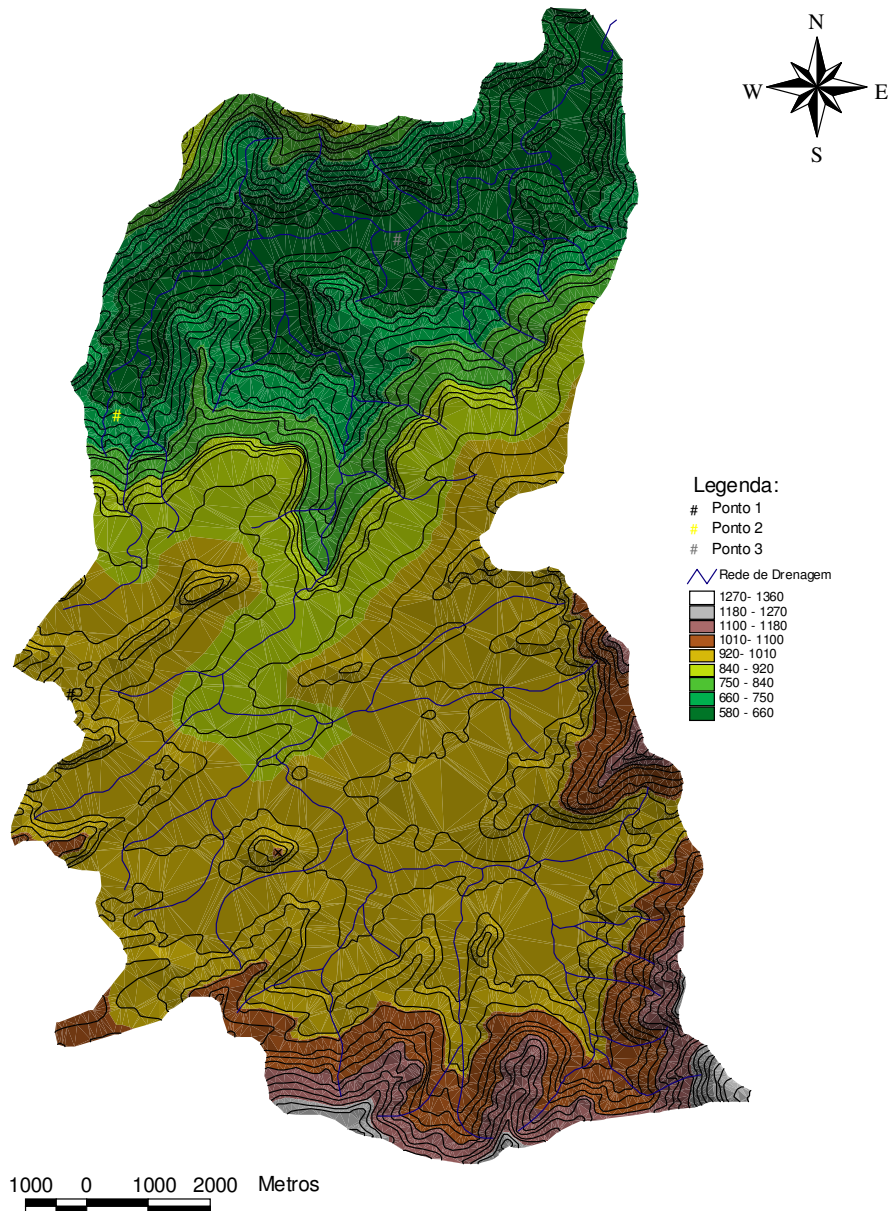


Figura03: Detalhe topográfico da localização dos pontos 1, 2 e 3.

O Ponto 2 dista 4,5 km do ponto 1 e encontra-se na altitude 700 m, havendo desnível de 25%. Ele se encontra em seção transversal de 1,09 Km² onde os fluxos alternados de correntes se movimentam e constituem o principal corredor de passagem de ventos e de umidade.

O Ponto 3 dista 7,5 km do ponto 2 e encontra-se com altitude de 600 m e desnível de 7 %. A área de circulação é de 1,89 Km² e se trata do início do fundo do vale, onde há as zonas de afloramento das cabeceiras do rio Pirai. Cada ponto de amostragem teve 4 repetições. Todos os pontos encontram-se no eixo de circulação do corredor de escape, havendo simetria entre as margens direita e esquerda do corredor.

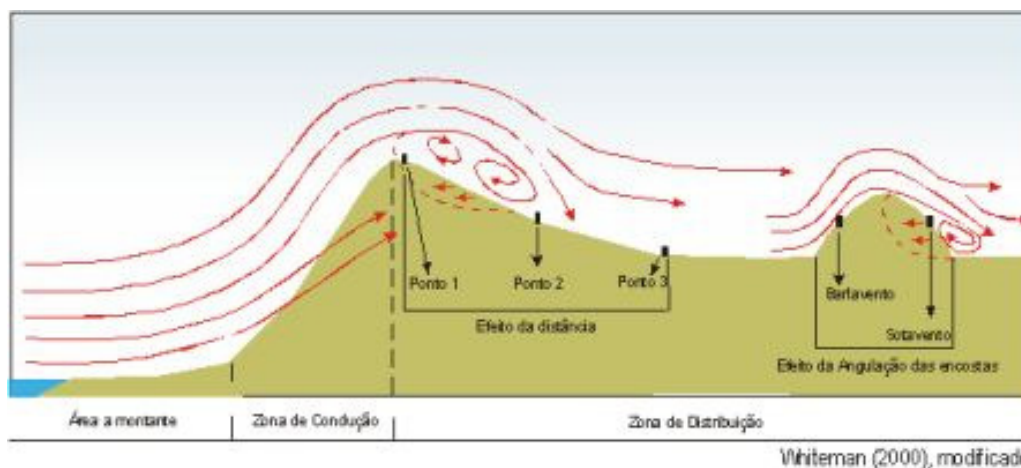


Figura 04: Modelo de localização dos experimentos de avaliação do efeito do afastamento do interflúvio e ângulos de obstrução do escoamento do ar.

Avaliação da chuva oculta a partir do ângulo de obstrução das correntes

A obstrução do escoamento causada pela orografia foi estudada em 04 setores cujos ângulos diferem dentro do corredor principal e a altitude é uma variável similar. Estes efeitos foram avaliados a barla e sotavento dentro do corredor (ver figuras 05 e 06). Os pontos são:

Ponto A - barlavento: situado a 7,5 km do interflúvio, com cota 620m e superfície de interceptação plana, conformando ângulo de interceptação com eixo de circulação do corredor de 95 graus;

Ponto A - sotavento: situado a 7,6 km do interflúvio, com cota 620m e superfície de interceptação plana, conformando ângulo de 180 graus;

Ponto B - barlavento: situado a 7,7 Km do interflúvio, com cota 620m e superfície de interceptação plana, conformando ângulo de 90 graus;

Ponto B - sotavento: situado a 7,8 Km do interflúvio, com cota 620m e superfície de interceptação plana, conformando ângulo de 270 graus.

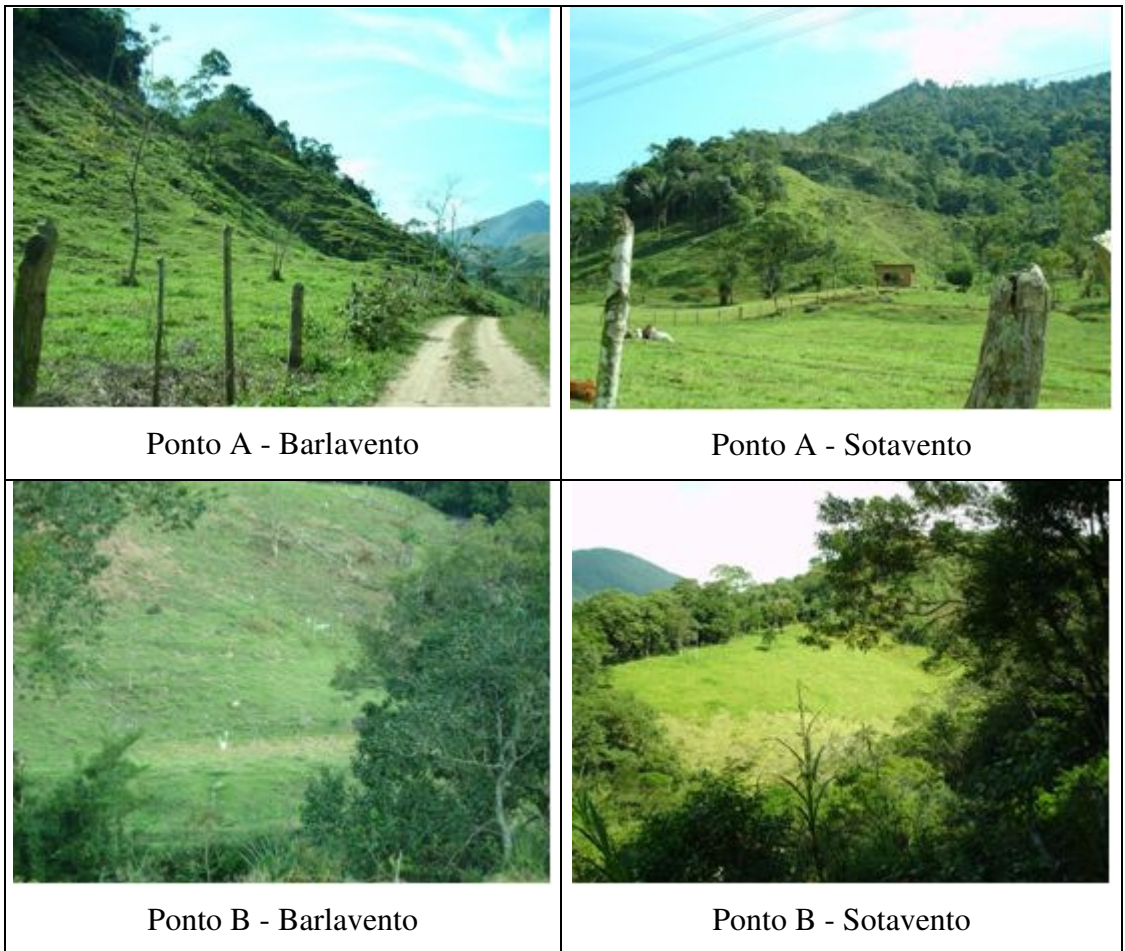


Figura 05: Fotografias dos pontos A e B (barlavento/sotavento).

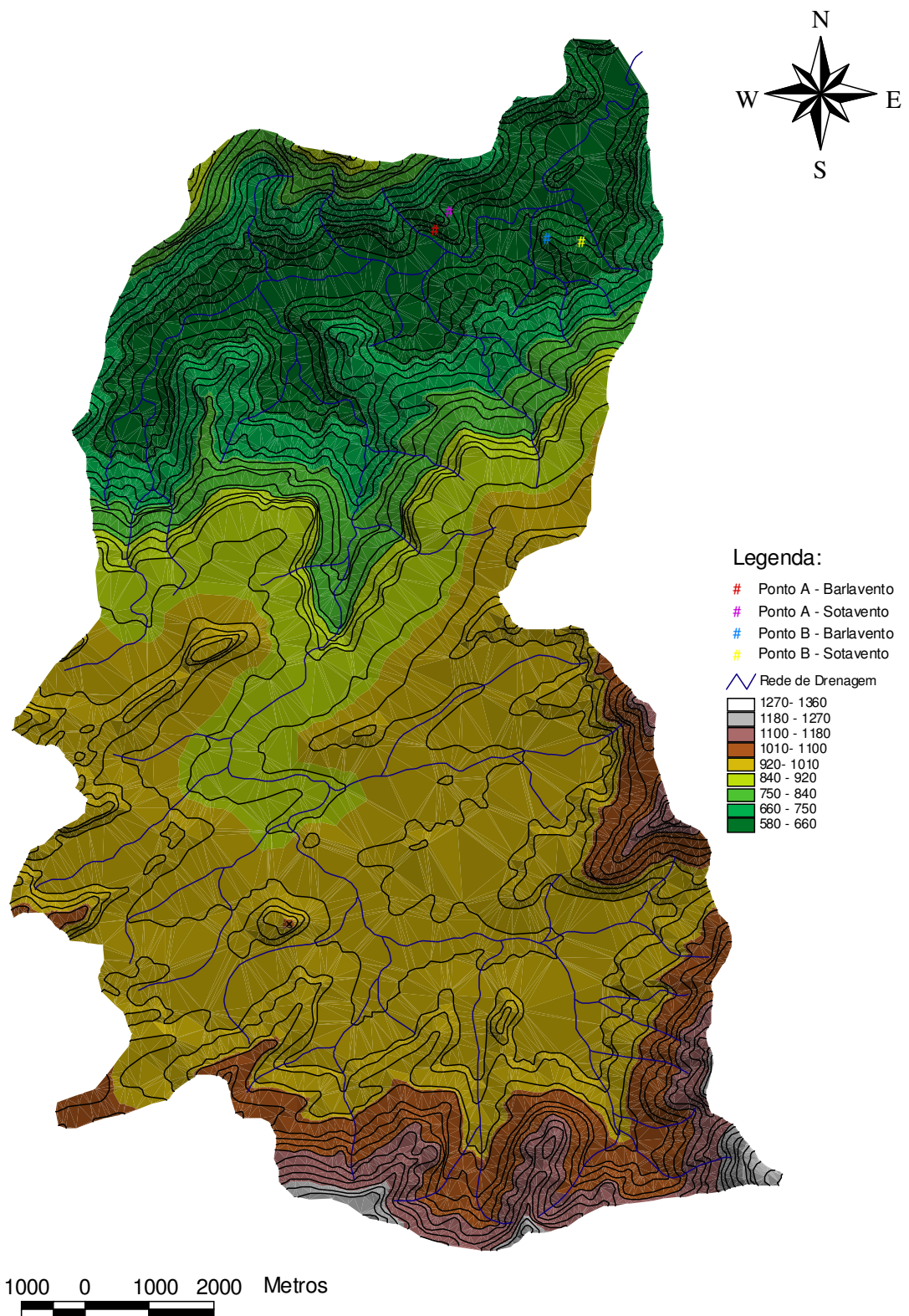


Figura 06: Detalhe da localização dos pontos A e B (barlavento e sotavento).

A Figura 07 ilustra a dinâmica dos fluxos de ar em situações de corrente perturbada em micro topografias.

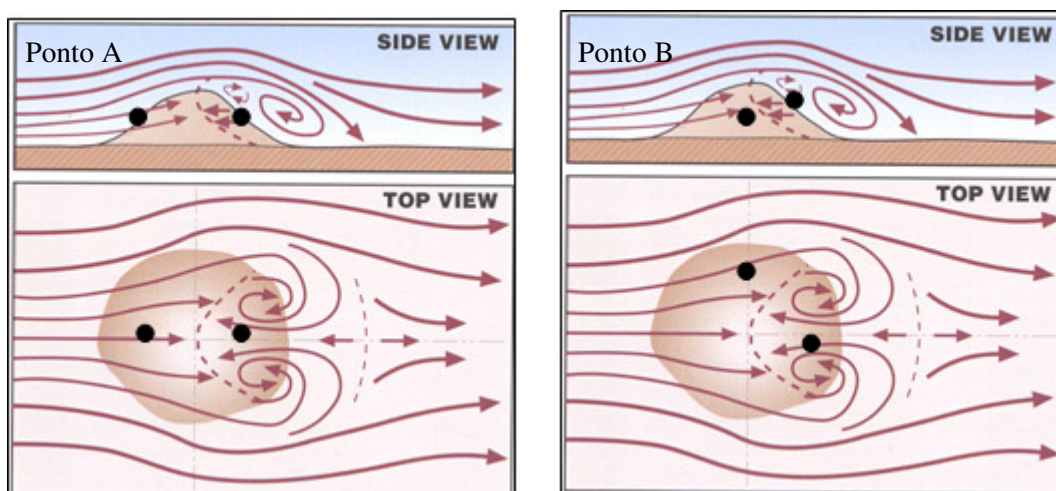


Figura 07: Influência dos fluxos de ar em micro topografias de alta montanha e localização dos aparelhos em cada tratamento. (Whiteman, 2000, modificado).

Essa figura representa a micro topografia onde foram alocados os tratamentos (efeito da angulação) onde os círculos pretos sinalizam o local de cada tratamento. Observa-se que o escoamento do ar é influenciado pelas encostas. A encosta barlavento recebe o escoamento de fluxo do tipo laminar e, a encosta a sotavento, escoamento turbulento (WHITEMAN, 2000; SCHEMENAUER & CERECEDA, 1994c), onde a variável definidora das magnitudes precipitadas pode ser atribuída a chuva oculta.

Chuva oculta

A chuva oculta foi determinada com auxílio de interceptador de neblina (Figura 08), aparelho disposto a 1,5 m do solo, sustentado por alças na parte superior e inferior, evitando efeito pendular. Estes aparelhos apresentam janelas de circulação de ventos, onde a tela de nylon ($\varnothing = 0,2 \text{ mm}$) reduz a velocidade do vento e cria condições para a precipitação da chuva oculta. A área efetiva de exposição corresponde a 63 cm^2 (9 cm de altura), sendo que esta amostra representa 0,45 % dos fenômenos de interceptação vertical que ocorrem na região, onde a floresta apresenta altura média de 20 metros. O interceptador capta diretamente o volume de vapor de água da atmosfera, condensado na malha de nylon e drenado para o seu interior. Em cada local de coleta de chuva oculta foram instalados quatro interceptadores, onde os dados foram convertidos para l.m^{-2} de água.

Cada aparelho apresenta capacidade de acumular 900 ml água interceptada e apresenta cobertura de 220% (tampa protetora) da superfície externa, para evitar o ingresso de água de chuva. As coletas foram realizadas diariamente as 9 h, tanto no inverno (mês de agosto) como no verão (mês de janeiro).

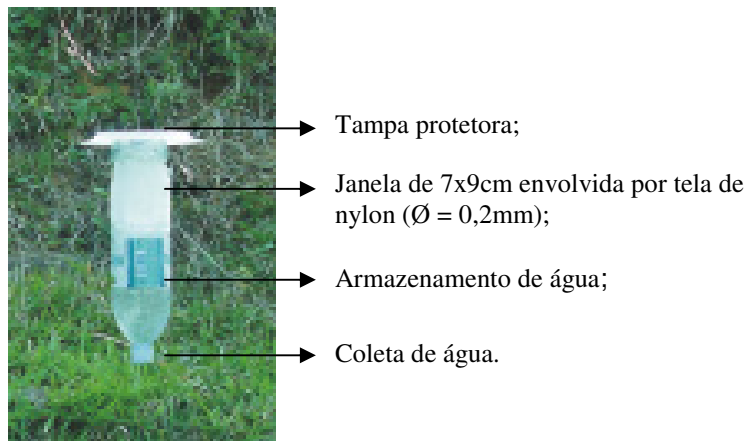


Figura 08: Interceptador para medição de chuva oculta.

Os volumes diários dos interceptadores e dos pluviômetros foram transformados em mm de chuva por meio das fórmulas descritas na literatura (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994; ANIDO, 2002):

$$A = 2\pi \times r \times h \times 0,5 \quad (01)$$

onde:

A = Área de coleta (cm²);

r = raio do cilindro do pluviômetro (cm);

h = altura do cilindro (cm).

$$Sc = (a \times L) \times 4 \quad (02)$$

onde:

Sc= Superfície de coleta (cm²);

a = altura (cm);

L = largura (cm).

Os interceptadores foram utilizados na tentativa de aprimorar os trabalhos de estudos anteriores. Eles têm área conhecida e podem coletar o vapor atmosférico. Eles representam anteparos ao deslocamento do ar como o dossel de ecossistemas florestais e sua capacidade de filtragem de orvalho capaz de registrar a chuva oculta. Como a floresta é um espaço tridimensional, o vento ou a neblina são distribuídos em diferentes superfícies da floresta na Mata Atlântica. O interceptador tem a desvantagem de possuir um pequeno espaço tridimensional podendo ainda receber chuvas laterais em condições de ventos fortes. O dossel florestal apresenta capacidade de interceptar o escoamento do ar, retirando o vapor atmosférico disponível a cada superfície.

Pluviometria

Em cada tratamento foram instalados pluviômetros utilizando quatro repetições, onde as coletas foram medidas em mililitros e posteriormente convertidos em l.m⁻² (equação 01) de água precipitada. A precipitação pluviométrica foi medida por meio de pluviômetros (modelo Villa de Paris).

Análise dos dados

Os tratamentos foram comparados entre precipitação e chuva oculta através das análises de variância, teste F e teste Tukey de médias não pareadas/pareadas para pequenas

amostras. Foram realizadas regressões simples entre a precipitação (variável independente) e a chuva oculta (variável dependente) (equação 03), determinando-se os ajustes e tendências, verificando-se sua significância.

$$Y = a + bXi \quad (03)$$

onde:

Y=chuva oculta (mm)

a=Coefficiente da reta

b=Coefficiente angular

Xi=Precipitação (mm)

Os coeficientes de determinação (R^2) foram testados por meio da análise de variância. Os dados tiveram suas normalidades testadas por pontos, todos apresentando distribuição normal ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A distribuição espacial da pluviosidade entre os Pontos 1, 2 e 3 evidenciou que a quantidade de água precipitada decresce à medida que se afasta do divisor. Ou seja, a altitude e afastamento do divisor estão ligados à condensação do vapor atmosférico, mecanismo formador de nuvens e chuvas (Quadro 01). Este efeito se manteve tanto no verão quanto no inverno.

Quadro 01: Pluviosidade na zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis na Mata Atlântica (mm)

Localização	Médias mensais	
	Verão	Inverno
Ponto 01	21,13	7,57
Ponto 02	20,72	7,34
Ponto 03	16,95	5,77
Ponto A – Barlavento	18,17	6,25
Ponto A – Sotavento	16,83	5,58
Ponto B – Barlavento	17,26	5,97
Ponto B – Sotavento	17,65	5,80
Média	18,39	6,33
%	75	25

O efeito da obstrução a livre circulação dos ventos dentro da zona de distribuição da bacia aérea também foi registrado na magnitude das chuvas, onde no ponto A, a barlavento, houve maior precipitação que a sotavento (92%) e em B (102%), sendo maior no inverno. Este dado reflete o escoamento turbulento (trajetória de correntes perturbadas) da passagem dos ventos nesta região de circulação de correntes perturbadas.

No mês de agosto a precipitação regional de 25% foi inferior à do verão (75%) do total de chuva coletado durante 62 dias. Os valores mensais observados foram similares aos das normais climatológicas para a região, indicando que não houve nenhuma variação climática extemporânea na região.

Os dados de precipitação coletados (oculta e pluviométrica) levam a duas linhas de argumentação: ocorrência da chuva oculta nos dias que ocorreram precipitação e ocorrência de chuva oculta em dias de ausência de precipitação.

Nos 31 dias de coletas sazonais, a distribuição da pluviosidade foi diferente Em cada estação (Quadro 02).

No inverno houve precipitação em 74% do número total de dias, enquanto a chuva oculta ocorreu em 17 dias (55%). Estes dados mostram que os totais de precipitação e de chuva oculta são próximos 120,25 e 126, 54 mm. Isso pode ser explicado pelo fato de que a chuva oculta chegou a valores próximos ao de precipitação com número de dias inferiores (17/31 dias).

Já no verão, época de chuvas, principalmente no mês de janeiro, o número de dias de chuva oculta foi superior ao número de dias de precipitação. No entanto, o total coletado foi inferior. Esta informação nos permite deduzir que no verão ocorreram dois tipos de precipitação: oculta em 100% (254,13 mm) dos dias e pluviométrica em 81% (441,32 mm). Esta diferença de 19% pode ser explicada pela ocorrência somente de chuva oculta em dias de alta umidade relativa.

A análise de variância foi utilizada para a obtenção dos valores de F_{tab} e F_{cal} , apresentados na Quadro 02. Observa-se que o valor de F_{tab} foi maior que F_{cal} , ou seja, as médias não são iguais entre si ao nível de 5% de significância. Esta informação revela que há diferença significativa na distância do interflúvio, assim como o efeito da angulação onde existe diferença ao nível de 5% de significância.

Quadro 02: Valores de F ao nível de 5% de significância

Tratamentos	Distância	Angulação
F_{cal}	6,10	8,00
F_{tab}	4,15	4,14
Valor p	0,0189	0,008
Significância %	0,05	0,05

No Quadro 03 são apresentados os valores de precipitação e chuva oculta e os coeficientes de correlação em cada ponto. As regressões se apresentaram significativas a 5%, sendo que a regressão do ponto B – barlavento resultou no maior coeficiente de determinação (R^2) e a regressão do ponto 1 foi a que resultou no menor coeficiente.

Quadro 03: Valores totais de precipitação pluviométrica e chuva oculta de cada ponto com respectivos coeficientes de correlação (R^2)

Localização	Período		R^2
	mm	mm	
	Chuva Oculta	Precipitação	
Ponto 01	502,64	658,58	36,26*
Ponto 02	412,31	644,19	36,68*
Ponto 03	387,46	522,32	46,15*
Ponto A – Barlavento	355,56	561,15	46,53*
Ponto A – Sotavento	320,15	515,61	45,76*
Ponto B – Barlavento	357,02	533,64	50,46*
Ponto B – Sotavento	285,53	539,54	44,15*

*Significativos ao nível de 5% de probabilidade.

As correlações foram obtidas pela relação entre os valores individuais da precipitação com a chuva oculta, em milímetros de chuva. Constatou-se, por meio do coeficiente de determinação, que cerca de 50% da chuva oculta pode ser explicada pela precipitação no ponto B - barlavento. As demais regressões apresentaram valores inferiores, sendo 36,26% o menor valor apresentado e referente ao ponto 1.

Constatou-se, por meio do coeficiente de regressão múltiplo R^2 , que cerca de 51% da chuva oculta no ponto B, pode ser explicada pela variância da precipitação. Pode-se afirmar com menos de 5% de erro, que os valores de R^2 podem ser considerados corretos.

Quando comparados os valores totais de chuva oculta e de precipitação no inverno, podemos concluir que a baixa temperatura é uma das variáveis que pode estar contribuindo para uma maior condensação do vapor atmosférico. Em 17 dias foram coletados 120,25 mm de chuva oculta enquanto em 23 dias foram coletados 126,54 mm de chuva. Logo, o mês de agosto teve um total de 14 dias sem chuva oculta e 8 dias sem chuva. Esta informação revela a tendência de formação de chuva oculta em dias com umidade relativa elevada, atrelada a baixa temperatura, ocasionando formação de nuvens e chuvas orográficas, freqüentes nesta época do ano.

Quadro 04: Médias totais de precipitação oculta e pluviométrica com respectivos números de dias

Tipo de Precipitação	Nº de dias	Média (mm)		nº de dias
		Inverno	Verão	
Oculta	17	120,25	254,13	31
Pluviométrica	23	126,54	441,32	25

No verão, período em que a umidade relativa geralmente se mantém elevada devido às precipitações abundantes, os valores totais de chuva oculta em relação à precipitação indicaram que há tendência de chuva oculta diariamente, onde o total precipitado no mês de janeiro foi duas vezes maior que no mês de agosto. Neste contexto, os dados de chuva oculta revelaram que existe uma propensão natural distribuída de forma homogênea ao longo do ano (Quadro 05). Isto pode ocorrer devido ao fato da região ser montanhosa e sofrer os efeitos da bacia aérea de Angra dos Reis (trazendo umidade do Oceano Atlântico), formação de nuvens, nevoeiros e precipitação orográfica atrelados a outros fatores (temperatura e umidade relativa) que contribuem para a condensação do vapor atmosférico na superfície.

Quadro 05: Precipitação pluviométrica e chuva oculta na zona de distribuição da bacia aérea

Localização	Período		Sazonal			
	Mm	mm	Chuva Oculta		Precipitação	
	Chuva Oculta	Precipitação	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Ponto 01	502,64	658,58	142,90	359,74	151,35	507,23
Ponto 02	412,31	644,19	124,68	287,63	146,84	497,35
Ponto 03	387,46	522,32	128,53	258,93	115,46	406,86
Ponto A – Barlavento	355,56	561,15	125,75	229,81	125,07	436,08
Ponto A – Sotavento	320,15	515,61	104,84	215,31	111,59	404,02
Ponto B – Barlavento	357,02	533,64	113,93	243,09	119,41	414,23
Ponto B – Sotavento	285,53	539,54	101,11	184,42	116,06	423,48
Média	374,81	567,87	120,25	254,13	126,54	441,32
%	40	60	33	67	22	78

O total de chuva oculta no Ponto 1 foi de 502,64 mm (inverno+verão), no Ponto 2 412,31mm e no Ponto 3 foi de 387,46 mm. A precipitação atingiu valores próximos a 660 mm no Ponto 1 e 523 mm no Ponto 3.

Os valores de precipitação são superiores aos de chuva oculta em todos os pontos de amostragem, porém o acréscimo de água por parte da chuva oculta é de 40 % do total precipitado, quantidade considerável acrescida no *input* de água para o solo.

Vale lembrar que os aparelhos foram instalados em locais de pastagem, sem cobertura florestal. Esta informação é importante, pois os interceptadores representam anteparos como o dossel da floresta. E como foi dito anteriormente, o aparelho representa 0,45% da área média de uma floresta, cujo dossel atinge 20 metros de altura. E ainda, o índice de área foliar aumentaria ainda mais a percentagem de chuva oculta dentro das formações florestais. A região de Rio Claro se caracteriza por apresentar paisagem composta por colinas e encostas íngremes do contraforte da serra do Mar. Este quadro atual permite extrair informações que a natureza nos sinaliza, por meio do aumento da capacidade de resiliência dos ecossistemas em trechos da Mata Atlântica.

Efeito da distância

A distância de afastamento do interflúvio na zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis na serra do Mar apresentou influência na formação de chuva oculta tanto no inverno como no verão, sendo observado 29% no inverno (142,9/502,64 mm), enquanto no verão foi 71% (Figura 09), evidenciando que em maiores condições de saturação há maior condensação.

A relação chuva oculta/precipitação é mais expressiva no mês de janeiro. As informações contidas na figura 09 relacionam a chuva oculta e a precipitação nos meses de agosto e janeiro. A diferença dos valores de precipitação e chuva oculta foi de aproximadamente 24 mm no Ponto 2.

A formação de chuva oculta está relacionada com os dias de precipitação no inverno. Onde as diferenças podem ser explicadas pelo gradiente altitudinal dentro do vale e o efeito da distribuição do vento em correntes perturbadas onde há também um gradiente do grau de obstrução da livre circulação da massa de ar.

O Ponto 1 localiza-se no divisor da serra do Mar onde há um estrangulamento da passagem livre do escoamento do ar na bacia aérea e transposição para a zona de distribuição. Os efeitos de circulação de ar nesta zona e na zona de distribuição (Ponto 2 e Ponto 3) devem ser maiores, devido aos refluxos de correntes sinalizados por WHITEMAN (2000) na Figura 05. A zona de distribuição é favorecida por esses efeitos, mas apresentaram valores inferiores no inverno e no verão no Ponto 2 e 3. Os efeitos podem ser maiores dentro da zona de distribuição em encostas com diferentes graus de obstrução do vento.

A diminuição da chuva oculta, à medida que se afastou do interflúvio, onde o tratamento foi colocado, no divisor topográfico (Ponto 1) obteve valor elevado em relação aos demais pontos, no inverno e verão, 142,90 e 359,74 mm, respectivamente. Observou-se uma tendência ao aumento do volume d'água coletado em regiões próximas ao divisor (Ponto 1). Houve então onze dias de maior valor, seguido de quatro no Ponto 2 e somente dois dias no Ponto 3 como pode ser observado na Figura 10. Esta informação indica que pode existir outra variável como a velocidade do vento que deve influenciar diretamente na formação de chuva oculta.

As informações descritas nos gráficos apresentados na Figura 09 evidenciam que no verão há uma maior homogeneidade na distribuição da chuva oculta. O total de vapor atmosférico coletado na avaliação do efeito da distância nos três pontos foi de 907 mm. A 1.200 metros de altitude (ponto 1) foram coletados 40% do total, seguido de 31% no ponto 2 a 700 m, e no ponto 3, a 600 metros de altitude, 29% do total de chuva oculta, precipitada nos três tratamentos que avaliaram o efeito da distância.

Na Figura 09 é apresentada a distribuição diária de chuva oculta em diferentes épocas do ano. As informações contidas nessa figura nos revelam que a tendência de ocorrência de precipitação foi a mesma nas diferentes épocas do ano, porém no verão a distribuição da chuva oculta foi mais homogênea nos diferentes tratamentos. Na época seca houve uma maior variação diária entre os tratamentos, entretanto a chuva oculta tem maior formação no tratamento localizado a 1.200 m e mais próximo ao divisor topográfico denominado “Ponto 1”. Esta informação revela que a altitude e a localização são variáveis de grande importância na formação de chuva oculta. E a formação da mesma ocorre a maiores distâncias do divisor, porém em menor intensidade. Deve, portanto ser levada em conta no balanço hídrico de bacias hidrográficas.

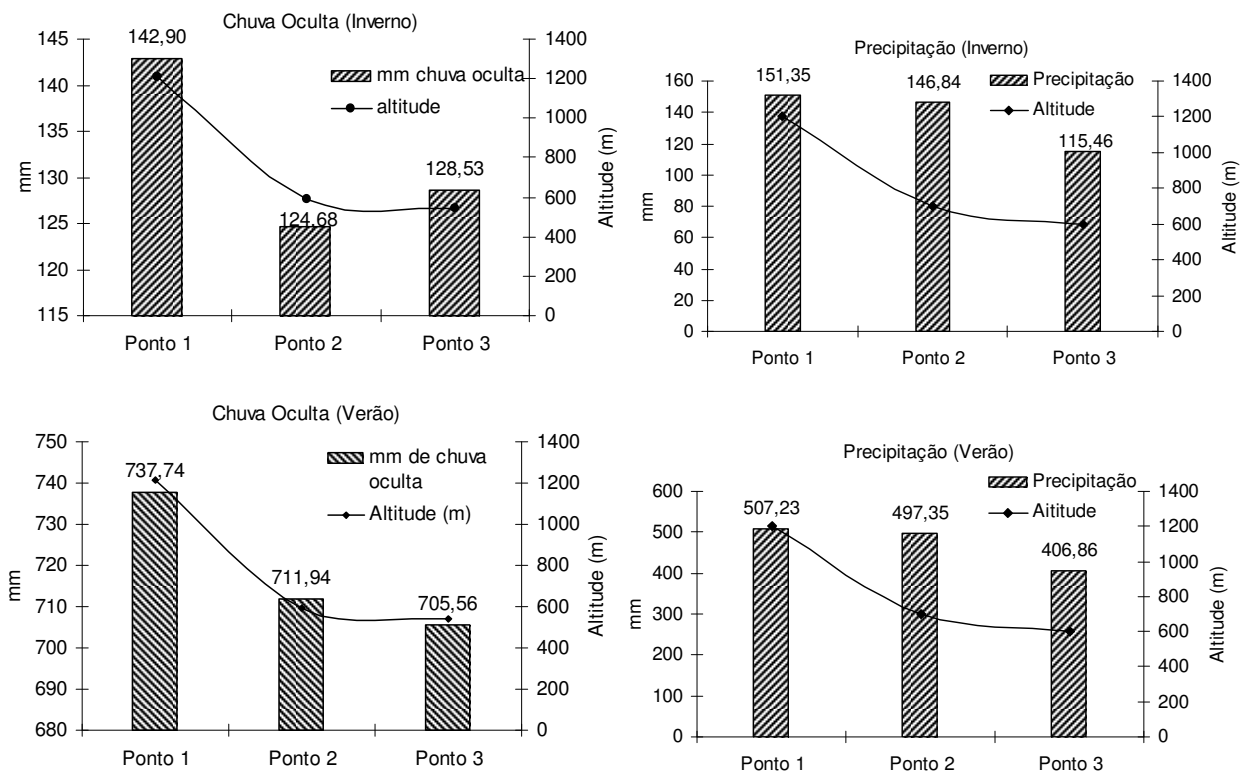


Figura 09: Volume total de chuva oculta e precipitação sazonal em diferentes altitudes.

O Quadro 06 revela o incremento médio diário nos diferentes tratamentos, sendo que esta informação evidencia os resultados do afastamento do interflúvio. O incremento médio decresce do ponto 1 (16,75 mm) ao ponto 3 (12,91 mm) com diferença de aproximadamente 4 mm entre estes pontos em uma diferença de aproximadamente 7,5 km de afastamento. Este ponto provavelmente encontra-se dentro da zona de distribuição da bacia aérea.

A Figura 10 sinaliza o comportamento da precipitação e da chuva oculta nos pontos 1, 2 e 3, com valores acumulativos de precipitação e precipitação mais chuva oculta. O total acumulado no período foi de 3815 mm (ponto 1), chuva oculta em dois meses de coleta. Seguido de 3253 mm (ponto 2) e 3225 mm (ponto 3). O ponto 1 foi registrado aproximadamente 600 mm de chuva oculta a mais em relação ao ponto 2. Sendo a diferença do ponto 2 para o ponto 3 de 22 mm. Reforçando o efeito da altitude e dos escoamentos turbulentos na formação de chuva oculta.

A medida que se eleva a altitude, aumenta a quantidade de chuva oculta, fatos que corroboram com a literatura, onde a cada 100m de altitude a temperatura decresce cerca de

1°C, favorecendo a condensação do vapor atmosférico próximo à superfície (SCHEMENAUER & CERECEDA, 1994c).

Quadro 06: Volumes de chuva oclusa, precipitação pluviométrica e incremento médio diário coletado por pontos

Localização	Período		
	mm	mm	mm
	Chuva Oclusa	Precipitação	Incremento Médio diário
Ponto 01	502,64	658,58	16,75
Ponto 02	412,31	644,19	13,74
Ponto 03	387,46	522,32	12,91

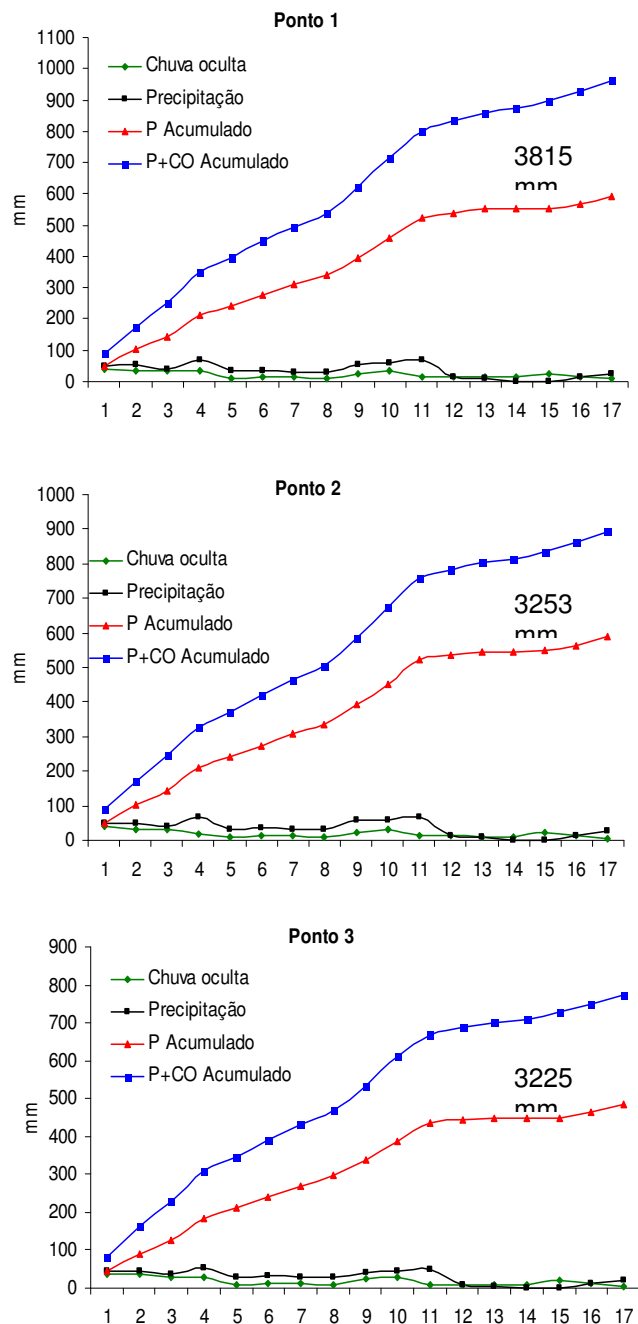


Figura 10: Volume diário de chuva oclusa, precipitação e valores acumulados (inverno e verão) em função da distância do interflúvio nos Pontos 1, 2 e 3.

Efeitos da angulação e relevo

Os escoamentos do ar de diferentes origens são influenciados pelas encostas. A encosta frontal (barlavento) é influenciada pela corrente menos turbulenta e a encosta oposta (sotavento) é influenciada por fluxo com maior grau de turbulência (SCHEMENAUER & CERECEDA, 1994b), principalmente na zona de interflúvio de uma bacia aérea.

Dentre os resultados obtidos observa-se que nas encostas a barlavento ocorre maior interceptação de umidade em relação às encostas a sotavento no inverno e no verão. Dessa forma, encostas com angulação perpendicular à direção de entrada do vento na garganta - no caso o vento SW - interceptam mais umidade que as encostas a sotavento. Isso corrobora os resultados descritos na literatura, onde as encostas a barlavento são mais úmidas e as encostas a sotavento são chamadas de sombras de chuvas (SHEMENAUER & CERECEDA, 1994b; DAVIS & NAGHETTINI, 2001).

A Figura 11 sinaliza o comportamento da precipitação e da chuva oculta no ponto A, com valores acumulativos de precipitação e precipitação mais chuva oculta. O total acumulado no período foi de 3046,0 mm (Barlavento), chuva oculta em dois meses de coleta. Seguido de 2730,0 mm (Sotavento). A Barlavento foi registrado aproximadamente 300 mm de chuva oculta a mais em relação a Sotavento. Reforçando o efeito da orografia e dos escoamentos turbulentos na formação de chuva oculta em micro-topografias.

A Figura 12 sinaliza o comportamento da precipitação e da chuva oculta no ponto B, com valores acumulativos de precipitação e precipitação mais chuva oculta. O total acumulado no período foi de 3095,0 mm (Barlavento), chuva oculta em dois meses de coleta. Seguido de 2471,0 mm (Sotavento). A Barlavento foi registrado aproximadamente 600,0 mm de chuva oculta a mais em relação a Sotavento.

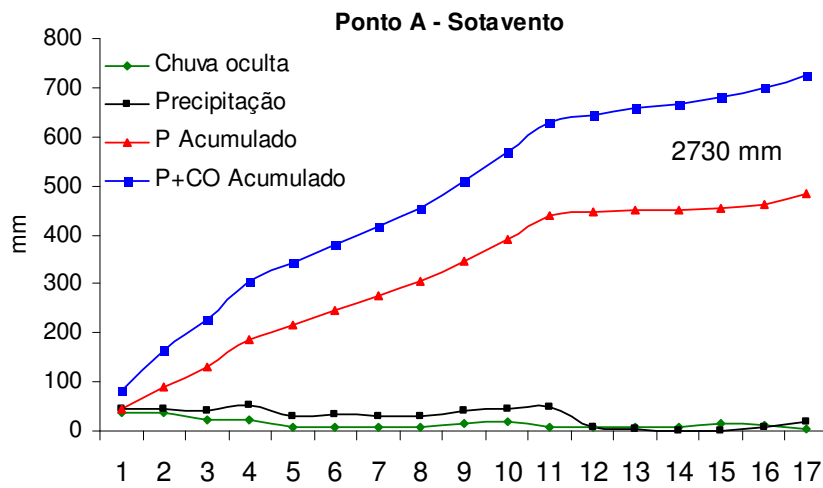
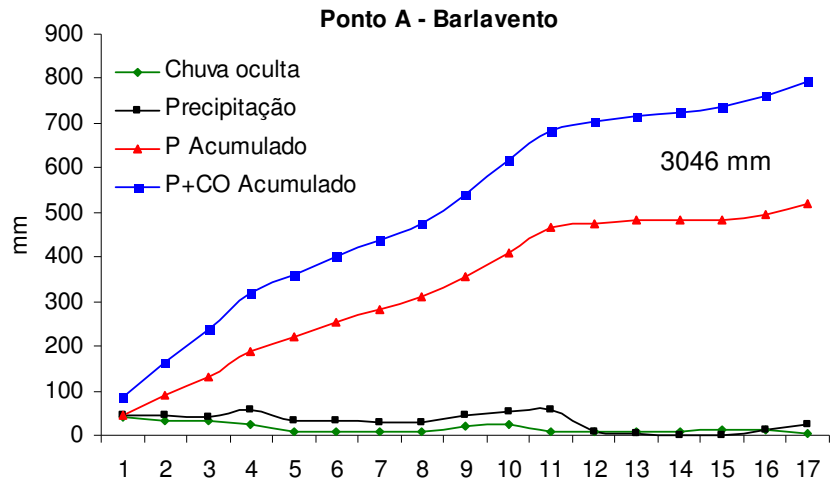


Figura 11: Volume diário de chuva oculta, precipitação e valores acumulados no Ponto A (inverno e verão).

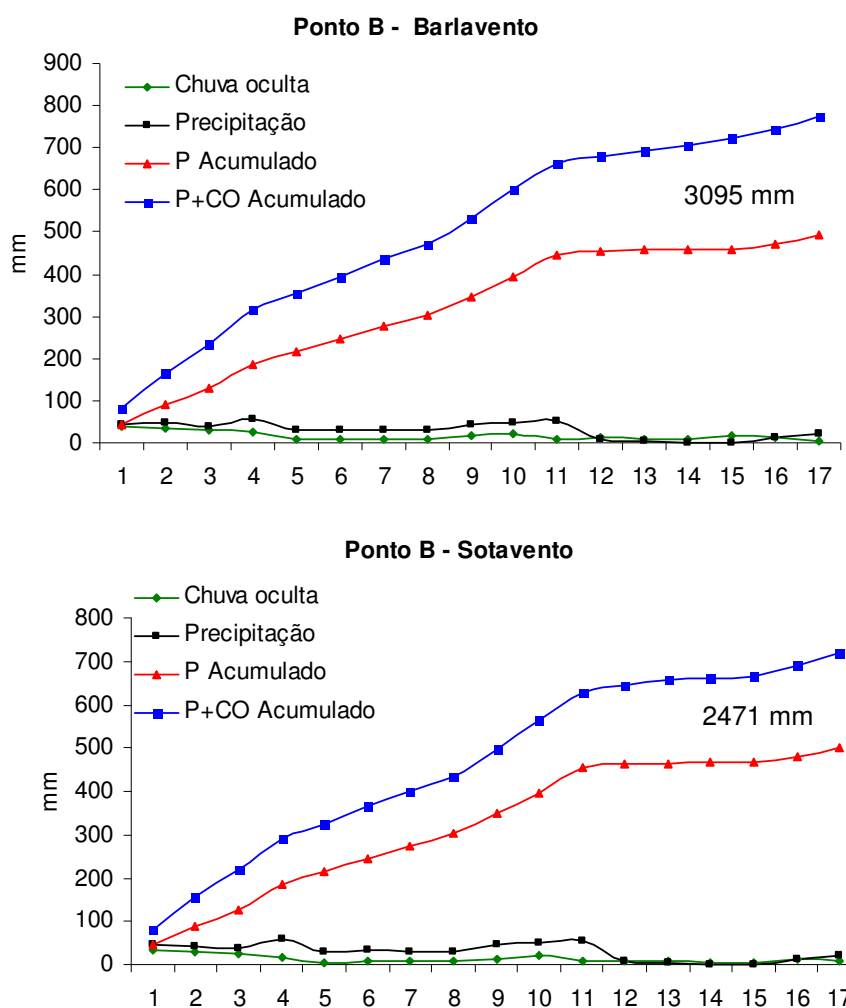


Figura 12: Volume diário de chuva oculta, precipitação e valores acumulados no Ponto B (inverno e verão).

O Quadro 07 apresenta valores referentes ao incremento médio diário de chuva oculta nos diferentes tratamentos. Estas informações confirmam os resultados do efeito da angulação. O incremento médio foi mais elevado nos tratamentos a barlavento A e B (11,85 e 11,90 mm respectivamente) e menor nos pontos a sotavento (10,67 e 9,51 mm respectivamente). A diferença de aproximadamente 1 mm entre esses pontos indica que, em magnitude, os dados dos pontos localizados dentro da zona de distribuição, apresentaram diferenças mais suaves.

Quadro 07: Volumes de chuva oculta, precipitação pluviométrica e incremento médio diário coletado por pontos

Localização	Período		
	mm	mm	mm
	Chuva Oculta	Precipitação	Incremento Médio diário
Ponto A – Barlavento	355,56	561,15	11,85
Ponto A – Sotavento	320,15	515,61	10,67
Ponto B – Barlavento	357,02	533,64	11,90
Ponto B – Sotavento	285,53	539,54	9,51

Na época de estiagem, dos 17 dias de ocorrência de chuva oculta, 15 foram de interceptação de volumes maiores de água na encosta a barlavento nos Pontos A e B, sendo somente dois dias de volume maior na encosta a sotavento. No verão foram registrados 28 dias de chuva oculta, sendo 8 dias de volumes menores nas encostas a sotavento.

O que pode ser observado na figura 12 é que o volume de chuva oculta no inverno foi inferior ao do verão. Esta informação pode ser explicada pela baixa temperatura desta época do ano que não fornece grandes valores de umidade atmosférica (SCHEMENAUER & CERECEDA, 1994; CAVELIER et al., 1996; GONZÁLEZ, 2000). No inverno em 17 dias, quatro apresentaram valores de chuva oculta próximos a zero, enquanto no verão, em 31 dias o valor mais baixo foi de 3mm.

Observou-se que as encostas a barlavento receberam volumes maiores de água que as encostas a sotavento. Isto revela que a exposição das encostas aos ventos SW influencia na oferta de água naquele local. Da mesma forma entende-se que, as encostas que recebem vento frontal, principalmente aquele oriundo do Oceano Atlântico e condicionado por bacia aérea a partir do divisor da serra do Mar, são encostas com maior oferta de atributos ambientais. E ainda, a angulação frontal (perpendicular) do Ponto A mostrou valores superiores ao da encosta inclinada do Ponto B.

5. CONCLUSÕES

A região do interflúvio (Ponto 1) apresentou 44% de acréscimo na umidade quando incorporou a variável chuva oculta, representando incremento médio diário de 18,39 mm no verão e 6,33 no inverno.

O efeito do afastamento do interflúvio foi observado até o ponto 2, distante 4,5 km e desnível de 500 m, sendo este, provavelmente o fim da zona de escape e início da zona de distribuição da bacia aérea de Angra dos Reis.

O efeito da angulação também foi registrado, porém as magnitudes dos valores foram mais suaves.

2. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS

A chuva oculta se constituiu em uma fonte adicional de umidade principalmente em encostas que recebem ventos Sudoeste e regiões próximas ao divisor da serra do Mar, causando diferencial de oferta de atributos em regiões do contraforte da serra do Mar.

O ICMS ecológico poderá constituir um mecanismo prático de garantir serviços ambientais relacionados a manutenção de florestas em locais com maior vocação para interceptação horizontal.

A metodologia desenvolvida neste estudo constitui uma ferramenta pratica de gerar informações, mas deve-se envidar esforços em aperfeiçoá-la de modo a se determinar outras regiões com idêntica vocação de produção de serviços ambientais.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANIDO, R. N. M. **Caracterização hidrológica em uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 69 f. Piracicaba, Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2002.
- BANTA, R.M. The role of mountain flows in making clouds. In: Atmospheric processes over complex terrain (Blumen W, ed). **Meteor Monogr**, p. 229–282, 1990.
- BARBIÉRE, E.B.; KRONEMBERGER, D.M.P. **Climatologia do litoral Sul-Sudeste do Estado do Rio de Janeiro**. In: Cadernos de Geociências, Rio de Janeiro: FIBGE, n. 12, 1994. p.57-74.
- BARBOZA, R. S. **Interceptação Vertical na serra do Mar do Rio de Janeiro, Nova Friburgo-RJ**. 2004. 47p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), UFRRJ, 2004.
- BUSINGER, S.; GRAZIANO T. M.; KAPLAN, M. L., ROZUMALSKI, R. A.. Cold-air cyclogenesis along the Gulf-Stream front: investigation of diabatic impacts on cyclone development, frontal structure, and track. **Meteorol Atmos Phys**, V. 88, p. 65–90, 2005.
- CAVELIER, J., D.; SOLIS; M. A. JARAMILO. Fog interception in montane forest across the central cordillera of Panamá. **Journal of Tropical Ecology**., V.12, p.357-369. 1996.
- CESAR, S. F. **Ciclo hidrológico**. In: 5º Curso internacional sobre manejo de bacias hidrográficas na área florestal,IF/SP. p. 203-212. 1994.
- CHEN, S.H.; LIN, Y.L.. Orographic effects on a conditionally unstable flow over an idealized three-dimensional mesoscale mountain. **Meteorol Atmos Phys**, V.88, p.1–21, 2005.
- DANTAS, M. E. **Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: MME – CPRM. Mapas, 2001, 51p.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro. *In: Estudo geoambiental de Estado do rio de Janeiro*. Brasília: MME-CPRM . 2001, 135p.
- DUARTE, H.S.B.; SOARES, W.G.; ALENCAR, M.L.A.; GURVITZ, H.; PIRES, Z.S.; SOUTO, C.R.R.; SHIMIZU, M. **Indicadores climatológicos do Estado do Rio de Janeiro. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: SIPE (Sistema de Informações Para o Planejamento Estadual), 1978, 155p.
- EKERN, P. C. Direct interception of cloud water on Lanaihale, Hawaii. **Soil SFD. Soc. Am. Proc.**, V.28, n.3, p. 419-421, 1964.
- FIDERJ. **Fundação de desenvolvimento econômico e social do Rio de Janeiro. Indicadores climatológicos do Estado do RJ**, 1978, 156p.
- FURIAN, S. M. **Estudo geomorfológico do escoamento superficial em parcelas experimentais no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha / SP. Um esboço metodológico**. 1987. 187 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo. 1987.
- GILMAN,C.S. Rainfall. In: **Handbook of Applied Hydrology**. V.T.Chow (Ed.). McGraw-Hill. 1964.
- GONZÁLEZ, J. Monitoring Cloud Interception in a Tropical Montane Cloud Forest in a South- western Colombia Andes. **Advanced Environmental Monitoring and Modelling**. V. 1, n.1. p 97 -117, 2000.

- GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Programa estadual de investimento da bacia do rio Paraíba do Sul**. Disponível em: <<http://www.hidro.ufrj.br/pqarj/pqarj.htm>>. Acesso em: 20 de mar. 2005.
- GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: NETTO, A. L. C. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos/organização**. Rio de Janeiro. 1994.
- JARVIS, A. **Quantifying the hydrological role of cloud deposition onto epiphets in a tropical montane cloud forest, Colombia**. B. S. Dissertation Kings College London, 1999, 250p.
- LENTERS, J.D.; COOK, K.H. Summertime precipitation variability over South America: role of the large-scale circulation. **Mon Wea Ver**, V.127, p.409–431, 1999.
- LIMA, W. P. Interceptação. In: LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1986. p. 87-101.
- MOLCHANOV, A. A. **Hidrologia Florestal**. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian, 1971, 419p.
- MULLIGAN, M; JARVIS, A. **Monitoring Processes of Horizontal Precipitation to Epiphets in a Tropical Montane Cloud Forest, Colombia**. Submitted Water Resources Research. 1999.
- NADKARNI, N. M.; SOLANO R.. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. **Oecologia**, V. 131, p.580–586 2002.
- NAGEL. Fog precipitation on Table mountain. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, London, V. 82, p.452-460. 1956.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: SUPREN: IBGE, 1979, 421p.
- OLIVEIRA, J. L. F. de.; SANTOS, I. de A.; ROSAS, R. O.; LANDAU, L.. **Bacia Aérea III: Uma Unidade de Gerenciamento da Qualidade do Ar da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**, 2005.
- PAHL, S. P.; WINKLER, T.; SCHNEIDER, B.; ARENDS, D.; SCHELL, R.; MASER E.; WOBROCK. Deposition of trace substances via cloud interception on a coniferous forest at Kleiner Feldberg. **Journal of Atmospheric Chemistry**. V.19, n.1-2, p. 231-252. 1994
- PALMIERI, F. **Levantamento semidetalhado e aptidão agrícola dos solos no Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SLNCS, 1980.
- PINHEIRO, C. A. de A. **Dinamismo dos processos erosivos em fontes pontuais de emissão de sedimentos para a baía de Sepetiba**. 2004. 67 fls. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). UFRJ. 2004.
- PIRES, D. O. **Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2005. 188p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), UFRJ, 2005.
- RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- ROSANE, R.; CHAVES, A. K.; MITRA, T. N.; KRISHNAMURTI. Seasonal climate prediction for South America with FSU Multi-model Synthetic Superensemble algorithm. **Meteorol Atmos Phys**, V. 89, p.37–56, 2005.
- SATTERLUND, D. R. **Wild land watershed management**, McGranhill ,1972, 355p.

- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. Tropics- South America. In: **Chapter in meteorology of the Southern Hemisphere** (Karoly DJ, Vincent DG, eds). Meteorological Monograph no. 49. Amer Meteor Soc, 1998.
- SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. **Journal of Applied Meteorology**, V.33, p.1313-1322. 1994a.
- SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. Fog collection role in water planning for developing countries. **Natural Resource Forum**. V.18, n. 2, p.91-100. 1994b.
- SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. The role of wind in rainwater catchment and fog collection. **Water International**. V.19, p.70-76. 1994c.
- SEMADS. **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses: Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental**. SEMADS: Rio de Janeiro: 2001. 73p.
- SELUCHI, M. E., CHOU, S. C.. **Intercambios de masas de aire entre latitudes tropicales y extra tropicales de Sudamérica: Validación del modelo regional Eta**. *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos CPTEC/INPE São Paulo, Brasil*. Dirección permanente: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/CONICET), Buenos Aires, Argentina. 2001.
- SILVA DIAS, P.L., SCHUBERT, W.H., DE MARIA, M.. Large- Scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **J Atmos Sci**, V.40, p.2689–2707, 1993.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry: The principles and practices of statistics in biological research**. State University of New York at Stone Brook. 1969, 759p.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. **The water deficit and its use in irrigation** USDA Yearbook of Agriculture, USDA, Washington. 1995. p.308-346.
- VALCARCEL, R. (coord.). **Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light-Cedae**. UFRRJ - Seropédica, RJ. 1987. 264p.
- VALCARCEL, R. Seminário: **Balance hídrico em la Selva Nublada**. Cuadernos da Universidad de Los Andes/Venezuela, 1982, 19p.
- VALENTIN, J. L. **Ecologia Numérica: uma introdução a análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro. 2000, 155p.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. ; LIMA, J. C. A.. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, DRNEA, 1991, 124p.
- WEBER, W. (coord.). **Ambiente das águas do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 230p.
- WHITEMAN, C. D. **Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications**. New York, Oxford University, 2000, 355p.
- ZADROGA, F., 1981. **The Hydrological Importance of a Montane Cloud Forest Area of Costa Rica**. John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 59–73.

4. ANEXOS

ANEXO I.1 - Cartas (1:50.000) do Estado do Rio de Janeiro

	Folhas	Nome
1	2772-1	Angra dos Reis
2	2716-1	Anta
3	2747-3	Araruama
4	2745-4	Baía de Guanabara (com encarte da 2774-2)
5	2718-2	Carapebus
6	2717-4	Casemiro de Abreu
7	2745-1	Cava
8	2743-3	Cunhambebe
9	2772-2	Ilha Grande
10	2746-1	Itaboraí
11	2744-3	Itaguaí
12	2715-4	Itaipava
13	2649-4	Italva
14	2718-3	Macaé
15	2743-4	Mangaratiba
16	2773-1	Marambaia
17	2746-3	Maricá (com encarte da 2774-1A)
18	2715-3	Miguel Pereira
19	2747-2	Morro de São João
20	2716-4	Nova Friburgo
21	2771-2	Parati
22	2745-2	Petrópolis
23	2744-1	Piraí
24	2717-3	Quartéis
25	2683-1	Recreio
26	2684-3	Renaissance
27	2746-2	Rio Bonito
28	2748-1	Rio das Ostras
29	2742-4	Rio Mambucaba
30	2744-4	Santa Cruz (com encarte na 2773-2)
31	2685-2	São João da Barra
32	2746-4	Saquarema
33	2747-1	Silva Jardim
34	2716-3	Teresópolis
35	2714-4	Vassouras
36	2745-3	Vila Militar (com encarte da 2774-1)