

5 Resultados e discussão

5.1 Regime pluviométrico do Rio Centro entre 2001 e 2010

5.1.1 Variação anual da precipitação

A precipitação anual média calculada para a estação pluviométrica do Rio Centro entre os anos de 2001 e 2010, durante a série decenal deste trabalho, é de 1.390 mm. Togashi (2009) registrou média de 1.248 mm. ano⁻¹ entre 1997 e 2008, resultado que a princípio indica um aumento da precipitação nos últimos anos. Vale observar que é esperado, para a área amostral na sub-bacia do rio Caçambe, uma precipitação média superior devido aos efeitos da altitude e orográfico, afirmação que será desenvolvida adiante.

A figura 5.1 demonstra a variação do regime pluviométrico no Rio Centro durante o período de 10 anos, entre 2001 e 2010. A linha de tendência linear aponta para o aumento da precipitação nos últimos anos, tendência também observada por Togashi (2009) a partir de 1997. No entanto, esta tendência, mesmo que bastante óbvia (alto coeficiente de inclinação de 47,6) para os

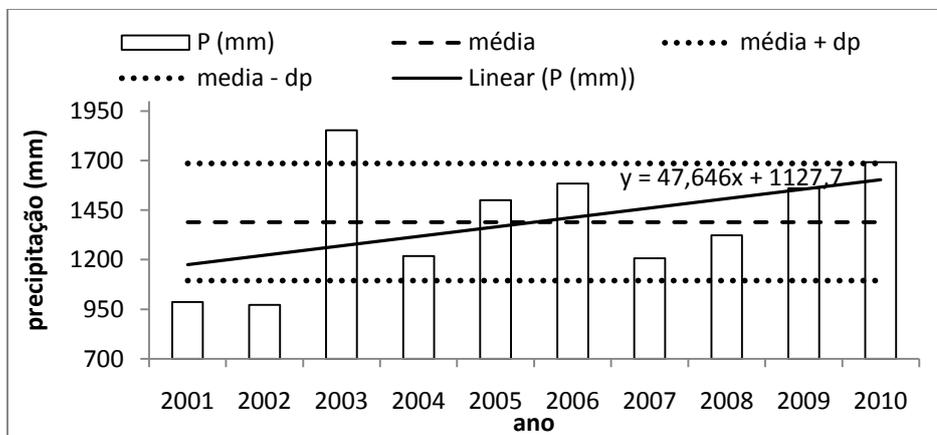


Figura 5.1. Precipitação anual entre 2001 e 2010 registrada no Rio Centro, precipitação anual média com desvio padrão e linha de tendência linear.

últimos 10 anos precisará ser confirmada no decorrer das próximas décadas já que autores, como Figueiró (2005) em uma série de 27 anos (1976-2002) na Capela Mayrink, maciço da Tijuca (RJ), apontam para uma tendência de diminuição das chuvas em longo prazo.

Por outro lado, observando o gráfico das alturas pluviométricas da série entre 1851 e 1990 (figura 5.2), registradas no Aterro do Flamengo, verifica-se uma tendência secular de aumento do volume de chuvas, levando em consideração a média das décadas. Em áreas poucos urbanizadas, a perda de áreas florestais pode determinar diminuição da precipitação pela redução da evapotranspiração. Já em áreas urbanas, existe uma expectativa de aumento da precipitação simultaneamente ao acréscimo dos núcleos de condensação, e atrito eólico com edificações, inclusive em áreas menos verticalizadas (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003).

Considerando-se que o Rio de Janeiro tem seu regime pluviométrico fortemente influenciado pela maritimidade, seria esperado um regime de chuvas similar em toda a cidade, mesmo que as alturas pluviométricas sejam localmente influenciadas por outros fatores como, no caso do Rio Centro, a magnitude menor da urbanização no sul do maciço, a altitude e o relevo (DERECZINSKY *et al.*, 2009; TOGASHI, 2009). Observa-se que na figura 5.2, as alturas de precipitação são diferentes da figura 5.1.

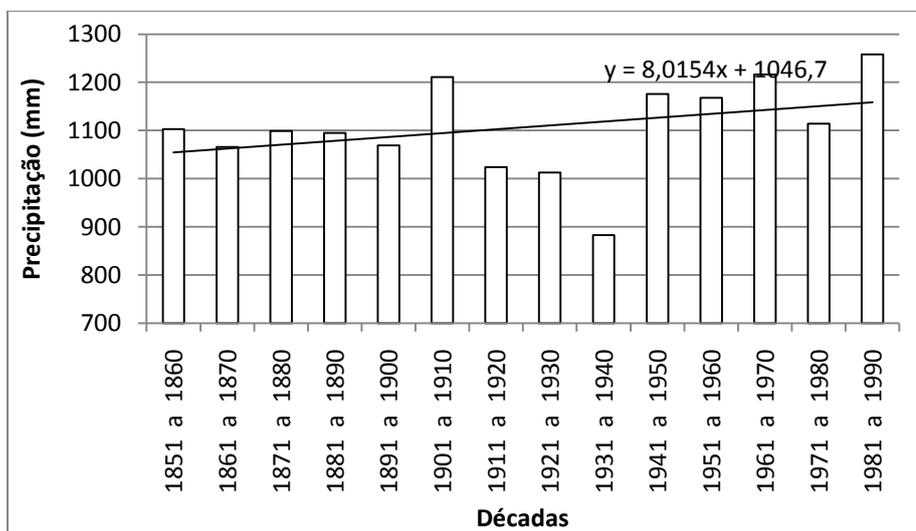


Figura 5.2. Médias decenais da altura das precipitações pluviométricas, e linha de tendência, observadas na estação climatológica principal do Município do Rio de Janeiro, no Aterro do Flamengo entre 1851 e 1990 (Fonte: Armazém de dados INMET. www.inmet.gov.br).

Também se tratam de escalas temporais distintas. O conjunto de alturas pluviométricas da figura 5.1 corresponderia a apenas uma coluna na figura 5.2. A

escala temporal de análise deste trabalho limita-se a apenas uma década pela falta de disponibilidade de registros longos na área do Rio Centro. Não será possível fazer comparações com a escala secular mas Monteiro e Mendonça (2003) afirmam que estudos com séries de 10 anos são essenciais para a compreensão do ritmo do regime de chuvas, já que tendências em séries muito longas podem mascarar alterações a curto prazo no comportamento pluviométrico. Com a utilização somente de séries muito extensas, como a série do Aterro do Flamengo que tem 14 décadas, uma mudança de tendência do regime só seria percebida décadas depois, conforme mostra a figura 5.3.

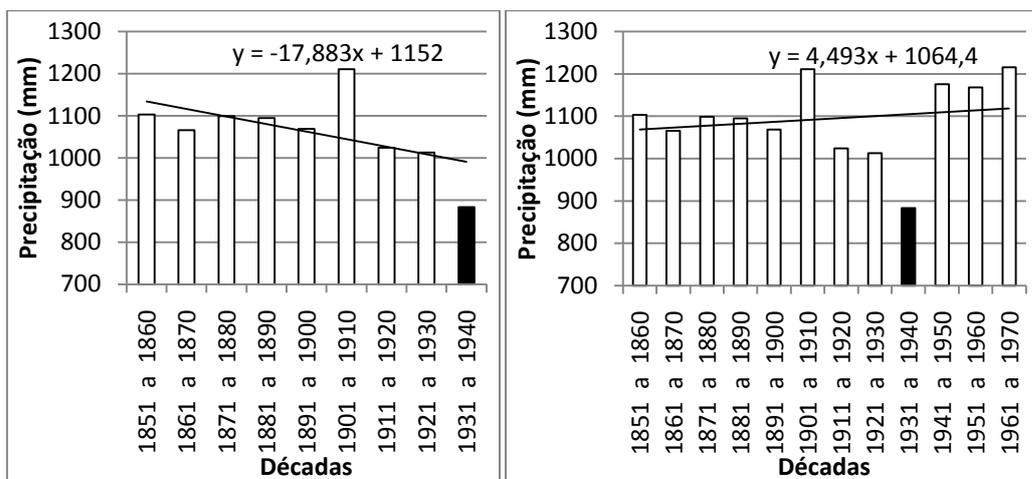


Figura 5.3. Médias decenais da altura das precipitações pluviométricas, e mudança nas linhas de tendências após 3 décadas, observadas na estação climatológica principal do Município do Rio de Janeiro, no Aterro do Flamengo (Fonte: Armazém de dados INMET. www.inmet.gov.br).

Portanto, os dados da Capela Mayrink (FIGUEIRÓ, 2005) e da estação climatológica principal do Município do Rio de Janeiro (figura 5.2), não estão necessariamente em desacordo visto que a diminuição de chuvas em uma década pode significar apenas uma oscilação de exceção em um período amostral muito maior ou mesmo o início de uma mudança de tendência secular.

Com relação à influência dos fenômenos El Niño e La Niña, ainda restam muitas incertezas na literatura. Autores como Figueiró (2005) e Minuzzi (2006) sugerem que pode haver aumento de precipitação no Sudeste, durante os eventos de El Niño, enquanto que Marengo e Oliveira (1998) afirmam ser observável diminuição na precipitação da região Sudeste durante os eventos de La Niña. Este trabalho se limitará a correlacionar a ocorrência de ambos os fenômenos com os padrões anuais de chuva na década de 2001-2010.

Para o presente estudo, utilizaram-se os dados sobre os fenômenos El Niño e La Niña disponibilizados pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo

e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisa Espacial), acessado em <http://enos.cptec.inpe.br/> e reproduzidos na tabela 5.1. A partir das observações de Marengo e Oliveira (1998), Figueiró (2005) e Minuzzi (2006) com relação aos desvios de aumento e redução da precipitação, atribuiu-se classes de comparação descritas na tabela 5.2.

Tabela 5.1. Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña entre 1998 e 2010 (Fonte: CPTEC/INPE. <http://enos.cptec.inpe.br/>)

1998 - 2001	La Niña fraca
2002 - 2003	El Niño moderado
2004 - 2005	El Niño fraco
2006 – início de 2007	El Niño fraco
2007 - 2008	La Niña forte
2009 - 2010	El Niño fraco

Tabela 5.2. Escala de valores comparativa, atribuída para diferentes intensidades de El Niño e La Niña, de acordo com os desvios pluviométricos esperados.

La Niña forte	-3
La Niña moderada	-2
La Niña fraca	-1
El Niño fraco	1
El Niño moderado	2
El Niño forte	3

Os 5 anos de maior altura pluviométrica no Rio Centro, durante o período de 2001 à 2010, foram 2003, 2005, 2006, 2009 e 2010. Os menos chuvosos foram 2001, 2002, 2004, 2007 e 2008. Com exceção dos anos de 2002 e de 2004, o comportamento da altura pluviométrica coincidiu com o padrão de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña. Em geral, os anos mais chuvosos foram os mesmos em que os eventos de El Niño foram mais intensos e os anos menos chuvosos seguiram os eventos mais intensos do La Niña, conforme se verifica na figura 5.4. A aparente relação não foi estatisticamente significativa, com R^2 igual a 0,22, p-valor de Spearman em 0,342 e p-valor de T em 0,000.

A realização de correlação estatística entre El Niño e La Niña separadamente neste caso enfrentaria o problema de um grupo amostral por demasiado pequeno. Apesar de não confirmado estatisticamente, o resultado encontrado para o El Niño é similar ao de Figueiró (2005). A média de chuva nos meses de El Niño parece aumentar, o que pode ser indício de uma propagação das temperaturas atmosféricas mais elevadas para a região Sudeste, fortalecendo a ZCAS ali presente, principalmente no verão. Este padrão vai também de encontro ao comportamento descrito pelo CPTEC/INPE. Esta

afirmação não deve ser percebida como uma certeza sobre o fenômeno, mas como uma provável evidência de influência.

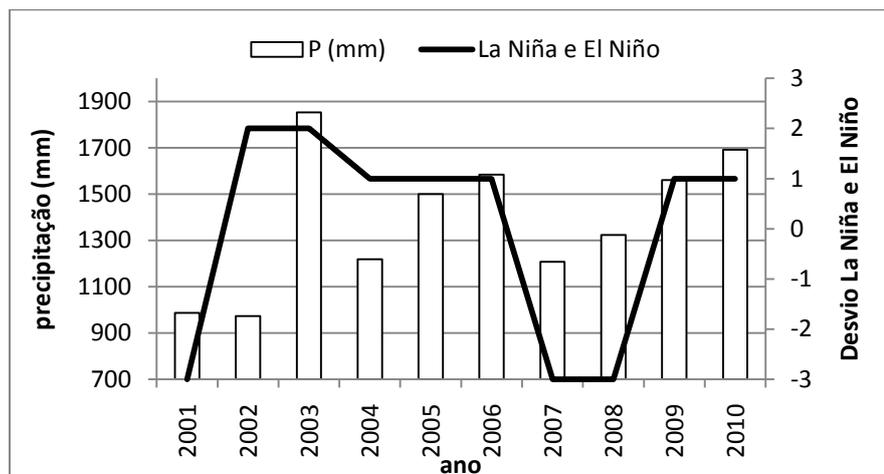


Figura 5.4. Correlação entre altura pluviométrica anual no Rio Centro e os fenômenos El Niño e La Niña.

Nas observações sobre o La Niña, da mesma forma que Marengo e Oliveira (1998), pode-se apontar apenas leve diminuição de precipitação coincidindo com os anos mais chuvosos. Quanto às exceções, o ano de 2002 e de 2004 que se encontraram sob o domínio do El Niño, não demonstraram alterações significativas que explicassem uma diminuição nas alturas pluviométricas, indicando que as comparações feitas aqui, assim como as discussões na literatura, ainda não estão embasadas suficientemente para evidenciar o papel destes fenômenos na dinâmica pluviométrica do Rio de Janeiro.

5.1.2 Variação mensal da precipitação

Aproximando ainda mais a escala temporal, a avaliação do regime mensal permite verificar como se distribuem as chuvas no decorrer do ano. A figura 5.5 indica que o mês de dezembro foi em média o mais chuvoso no período de 10 anos, com 172,4 mm, seguido por janeiro e março. Se os meses da estação do verão e março foram as épocas mais chuvosas, o inverno foi a época menos chuvosa. A média de chuva de agosto, mês menos chuvoso, foi de apenas 63,96 mm. A figura 5.5 mostra que houve grande variabilidade média de chuvas entre anos mais chuvosos e menos chuvosos. Nos cinco anos mais secos, janeiro e março não foram meses tão chuvosos quanto fevereiro, novembro e dezembro.

Já nos cinco anos mais chuvosos, janeiro e março apresentaram desempenho destacado em altura pluviométrica.

Analisando os desvios percentuais de amplitude nos meses, verificou-se que os meses de agosto e abril foram os de maior variação no regime (Figura 5.6). Ao contrário de Figueiró (2005) no maciço da Tijuca e Brandão (2001) na estação climatológica principal do Município do Rio de Janeiro, no Aterro do Flamengo, que encontraram fevereiro como o mês de maiores variações de desvio percentual. Apesar da figura 5.5 não demonstrar a amplitude pluviométrica em valores absolutos, registra-se que o mês de fevereiro não teve destaque em variabilidade nem de altura pluviométrica, nem de desvio percentual, na década de 2001-2010. Estas variações de amplitude serão investigadas mais profundamente adiante com as classes de frequência e volume de precipitação.

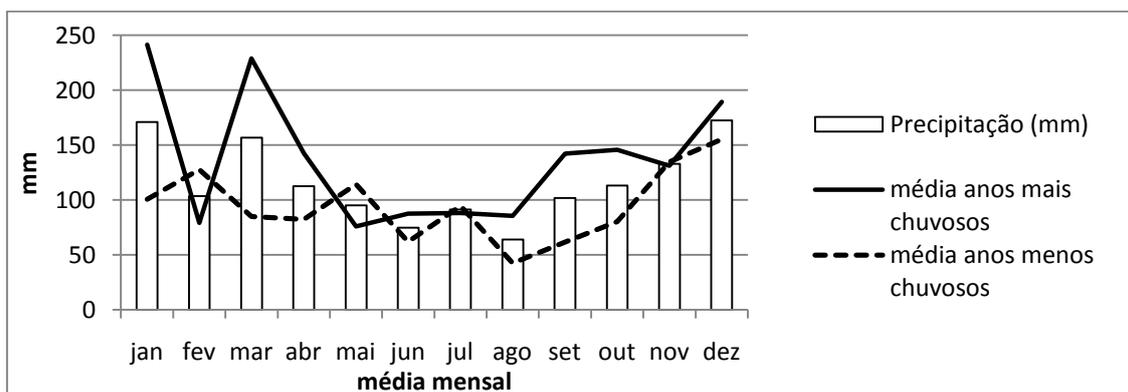


Figura 5.5. Média de precipitação mensal no Rio Centro entre a série 2001-2010 e média dos 5 anos mais chuvosos e dos 5 anos menos chuvosos.

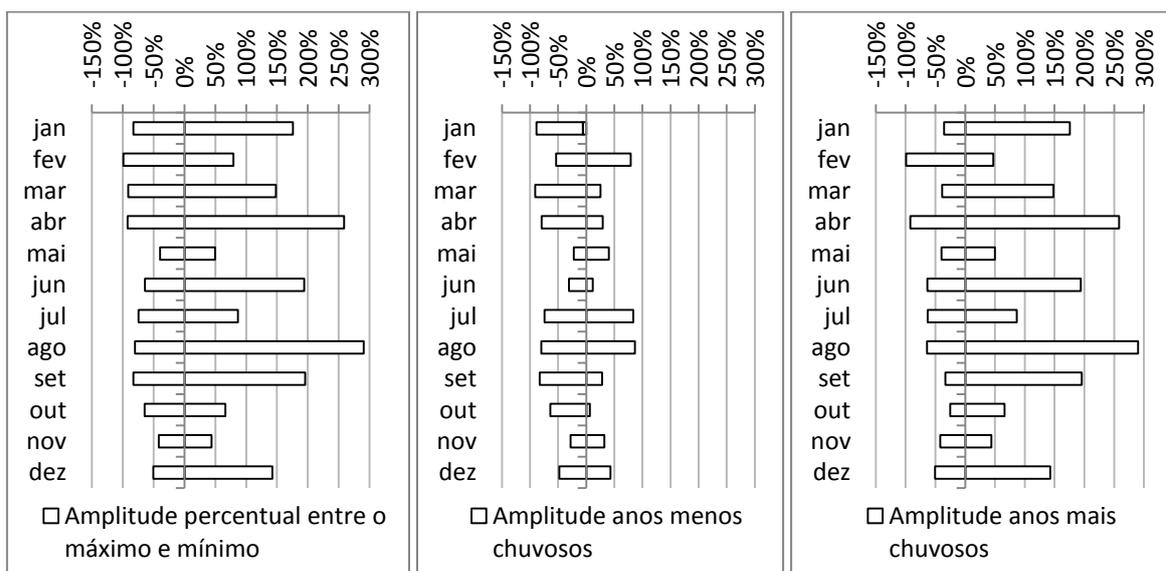


Figura 5.6. Amplitude percentual no Rio Centro entre as alturas pluviométricas máximas e mínima em cada um dos meses da série 2001-2010, nos 5 anos mais chuvosos e nos 5 menos chuvosos.

A tabela 5.3 explica em parte as mudanças encontradas entre os resultados deste trabalho e o de Figueiró (2005) e Brandão (2001). O coeficiente angular de fevereiro indica um declínio da contribuição deste mês no total de chuvas no progresso temporal da década 2001-2010. Também é possível perceber estabilidade no regime de chuvas decenal para janeiro, julho, agosto e setembro. A tendência de aumento de chuvas foi especialmente verificada em dezembro, março e abril, ou seja, o aumento da altura pluviométrica ocorreu no verão, estendendo-se para o fim desta estação e chegando a abril, mês em que eventos pluviométricos de alta magnitude não seriam tão frequentes.

Tabela 5.3. Coeficiente angular das retas de tendência calculadas por regressão linear das alturas pluviométricas para cada um dos meses entre 2001 e 2010, no Rio Centro.

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
-0,16	-4,71	12,85	23,21	-4,4	2,26	-0,48	-0,95	-0,28	7,1	-5,88	16,3

A figura 5.7 ilustra o regime de chuvas de fevereiro e abril, meses em que o comportamento das chuvas mais se distanciou do esperado. No caso do mês de abril, mesmo que não fosse considerado o ano de 2010, por suas chuvas excepcionalmente altas, o coeficiente angular apontaria para tendência positiva, com valor de 7,67. Neste ano, um evento de grande magnitude, mais provável nos meses anteriores, ocorreu no início do mês de abril, ocasionando desastres deflagrados por escorregamentos em encostas e inundações nas planícies da cidade do Rio de Janeiro.

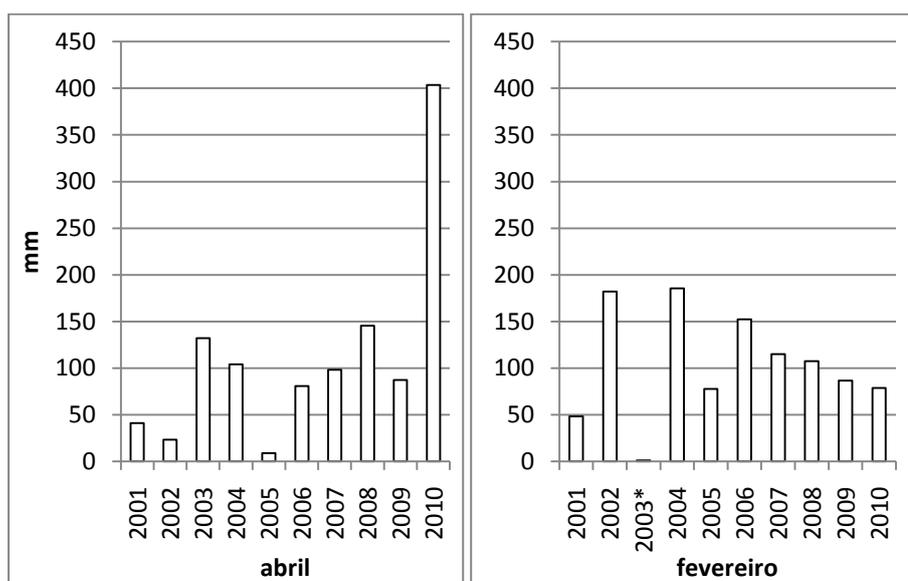


Figura 5.7. Alturas pluviométricas registradas no Rio Centro para os meses de abril e fevereiro.

* O ano de 2003 foi retirado do cálculo de regressão linear por falta de dados.

5.1.3

Altura pluviométrica e frequência das classes diárias de intensidade de chuva

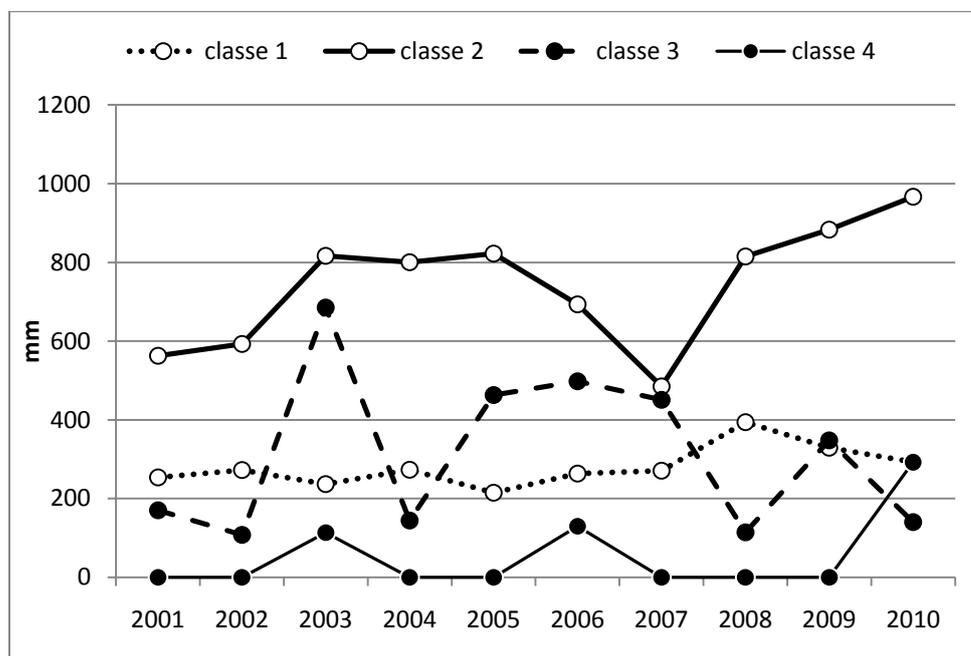


Figura 5.8. Alturas pluviométricas do Rio Centro divididas por classes diárias de chuvas.

A figura 5.8 indica que o volume de chuvas no Rio Centro é principalmente determinado por chuvas com intensidade diária entre 10,1mm e 50 mm (classe de intensidade diária C_{i2}). As chuvas de classe 3 (C_{i3}), entre 50,1 mm e 100 mm, contribuíram menos do que as de classe 1 (C_{i1}), menores do que 10 mm, durante os anos menos chuvosos de 2001, 2002, 2004 e 2008, sendo o ano de 2007 a exceção. Observa-se que no ano de 2007 o volume de chuvas com intensidade diária C_{i2} foi especialmente baixo, o que acabou por determinar este ano como menos chuvoso. As chuvas diárias com mais de 100 mm (C_{i4}) ficaram restritas aos anos mais chuvosos de 2002, 2006 e 2010. Apesar deste fato, tanto C_{i4} quanto C_{i3} são intensidades diárias consideradas potencializadoras de acidentes envolvendo movimentos de massa.

Pode-se afirmar, a partir da figura 5.8 que o fator determinante para anos chuvosos na década de 2001-2010, foi a presença de classes diárias de chuva 2 e 3. Verifica-se também que a combinação de C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} produziram os anos mais chuvosos da década: 2003, 2010 e 2006, em ordem decrescente. O ano de 2010 apesar de contar com o maior volume de C_{i4} e C_{i2} , não foi o mais chuvoso pela falta de chuvas de classe 3.

A figura 5.9 confirma que apesar de C_{i1} ser indiscutivelmente a classe de intensidade diária de chuva mais frequente, seu papel na década não foi decisivo ao determinar os anos mais chuvosos, até mesmo porque demonstraram bastante regularidade durante os anos (figura 5.8). A segunda intensidade diária mais comum é C_{i2} . Neste caso, comparando as figuras 5.9 e 5.8, nota-se que a altura pluviométrica anual de C_{i2} apresentou comportamento provavelmente determinado pela sua frequência, já que as duas linhas têm formas bastante similares. O mesmo acontece com C_{i3} e C_{i4} .

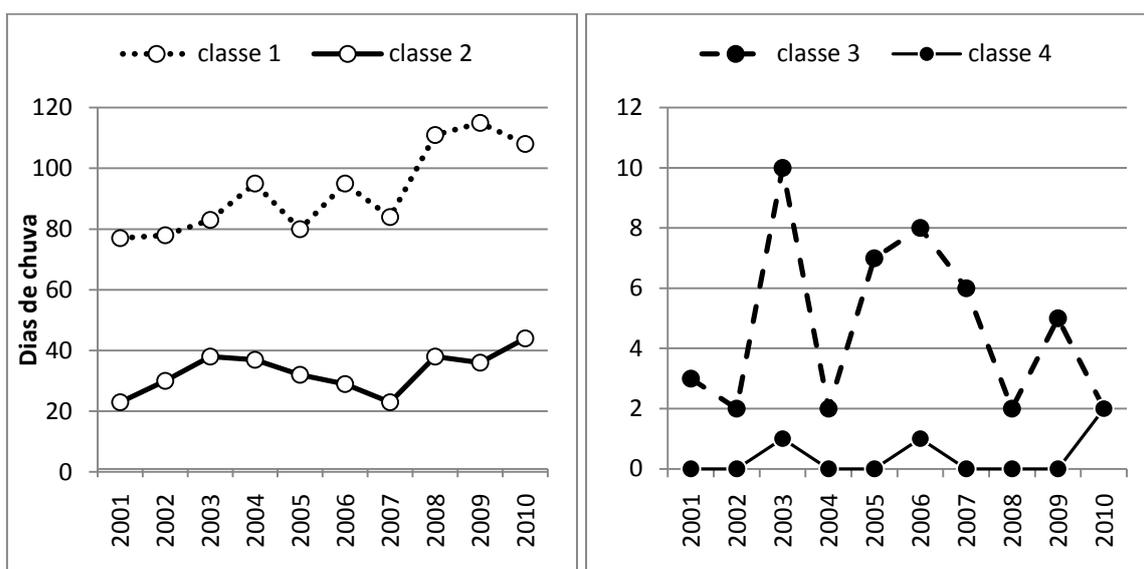


Figura 5.9. Frequência das classes diárias de chuvas no Rio Centro.

Na década de 2001-2010, as chuvas diárias C_{i1} corresponderam por 20,2% do total precipitado e C_{i2} foram 53,5% da altura pluviométrica. O total de C_{i3} foi de 22,5% e de C_{i4} ficou em 3,8%. Os coeficientes angulares das linhas de tendência da altura pluviométrica para C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} foram respectivamente 9,57; 27,77; -2,99 e 13,28. Os valores dos coeficientes angulares das linhas de tendência da frequência diária para C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} respectivamente foram 4; 1,12; -0,09; 0,08. Estes resultados sugerem que a tendência de acréscimo na precipitação anual durante a década foi determinada pelo aumento de C_{i2} , e C_{i4} , e também pela contribuição menor de C_{i1} . A classe 3, por outro lado, sofreu ligeiro decréscimo que não foi suficiente para determinar a diminuição da tendência de volume pluviométrico.

Avaliando o comportamento da intensidade diária por meses, durante a década de 2001-2010 (figura 5.10), observa-se que C_{i2} novamente esteve mais presente do que todas as outras classes. A classe 3 mostrou-se superior à

classe 1 no período entre dezembro e abril, o que significa que C_{i3} determina o maior volume de chuvas no verão e início de outono. Aprofundando a análise em C_{i3} , visto sua importância como classe que mais contribui com volume de chuvas para os eventos potencialmente deflagradores de movimentos de massa e alagamentos, a tabela 5.4 confirma a tendência de crescimento desta intensidade nos meses de maior aporte de chuvas de dezembro a abril, sendo janeiro a exceção. O caráter esporádico de C_{i4} torna a análise de tendência por mês desta classe pouco útil.

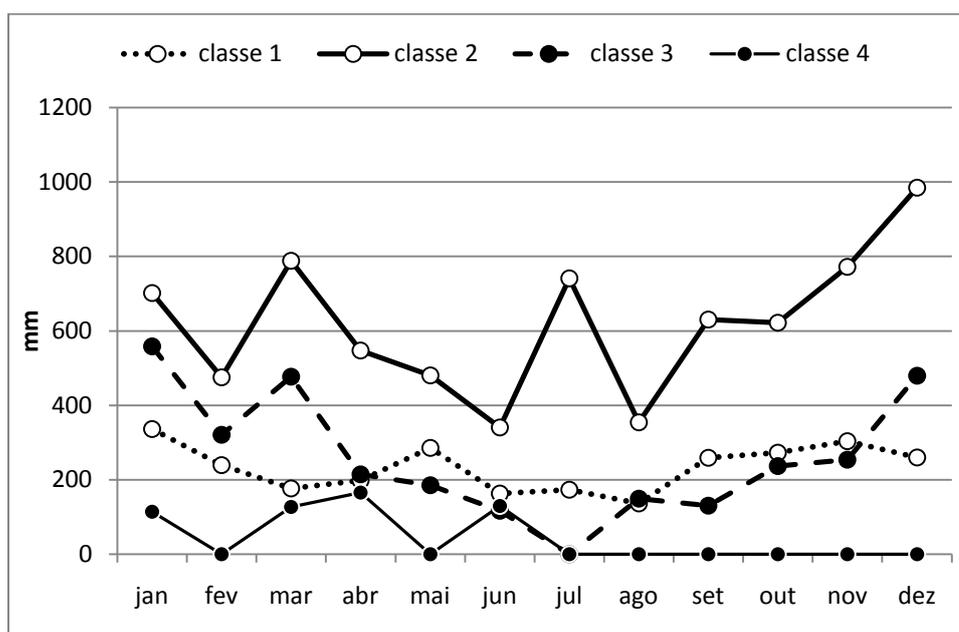


Figura 5.10. Alturas pluviométricas totais nos meses de 2001-2010, divididas por classes diárias de chuvas, para o Rio Centro.

Tabela 5.4. Coeficiente angular de C_{i3} das retas de tendência calculadas por regressão linear das alturas pluviométricas para cada um dos meses entre 2001 e 2010, no Rio Centro

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
-1,77	1	4,36	3,2	-1,4	-2,02	0	-4,5	-0,79	-0,49	-2,77	2,2

Atribui-se o período mais seco do fim do outono, inverno e primavera, em parte, à diminuição de C_{i3} . A classe 2 cresceu a partir de setembro mas sua concentração mais alta ocorreu no período de chuvas. Uma exceção foi o mês de julho que contou com boa precipitação derivada de C_{i2} mas extremamente baixas contribuições de C_{i3} e C_{i4} .

Em contrapartida, os dois meses mais secos da década, junho e agosto, coincidentemente contaram com a menor presença de C_{i2} . Em junho de 2006 ocorreu um dia de C_{i4} com 129,4 mm que não foi suficiente para mudar este quadro. Observa-se então que o período chuvoso entre dezembro e abril é

determinado por alta presença de C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} , enquanto que o resto do ano pode até contar com grande contribuição de uma das classes, mas a presença de pelo menos C_{i2} e C_{i3} combinados é que garantem uma grande altura pluviométrica em um mês. A classe 1 apesar de mais regular durante os meses também apresentou aumento no período chuvoso e declínio no período seco.

Assim como na análise anual, as frequências mensais de C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} estiveram de acordo com a altura pluviométrica mensal. A ordem numérica crescente das classes foi inversamente a ordem decrescente da frequência diária de dias de chuva. De forma geral, todas as classes C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} apresentaram aumento no período chuvoso e diminuição no período seco (Figura 5.11).

Apesar da grande variação na frequência de C_{i1} entre os meses, a variação na altura pluviométrica mensal foi menor, ainda que os padrões tenham sido de concentração mais alta no período chuvoso. Este fato pode indicar dias de C_{i1} entre maio e setembro mais próximos do limite de 10 mm e dias de C_{i1} entre outubro e abril mais próximos de 0,1 mm. Embora esta diferença ocorra, as pequenas variações das alturas pluviométricas mensais relacionadas à C_{i1} apontam pouco potencial em determinar meses mais chuvosos.

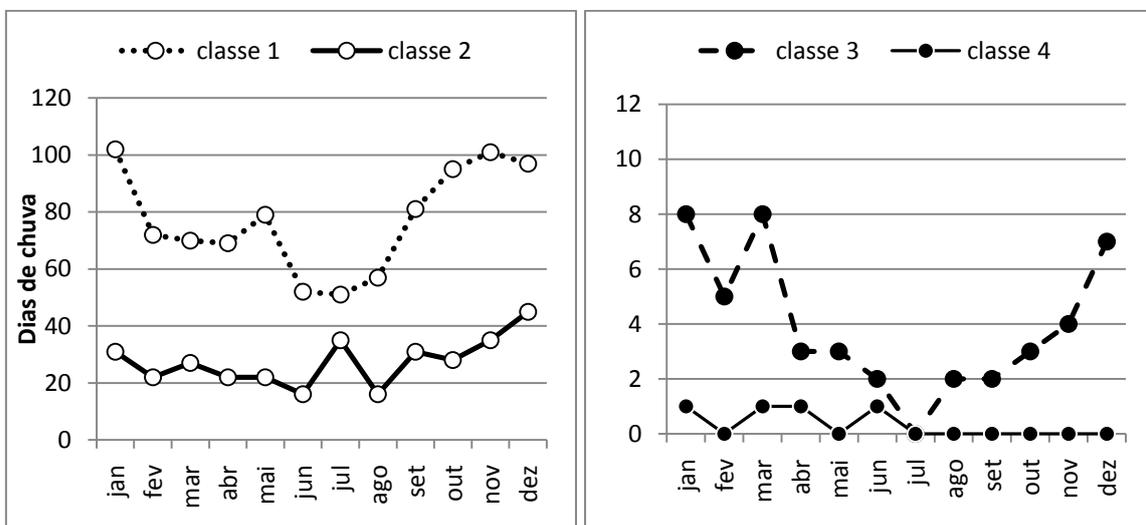


Figura 5.11. Frequências diárias totais nos meses de 2001-2010, divididas por classes diárias de chuvas, para o Rio Centro.

5.1.4 Dias sem chuva e classes interpluviais

A análise dos dias sem chuva corridos e consecutivos (interpluviais) é um complemento à avaliação das classes de intensidade diária. Verifica-se a intensidade das chuvas a partir do número de dias sem precipitação e também a

ocorrência de estresse hídrico por muitos dias sem chuva. A figura 5.12 contém o número de dias sem chuva por ano e a média de dias sem chuva por mês na década 2001-2010.

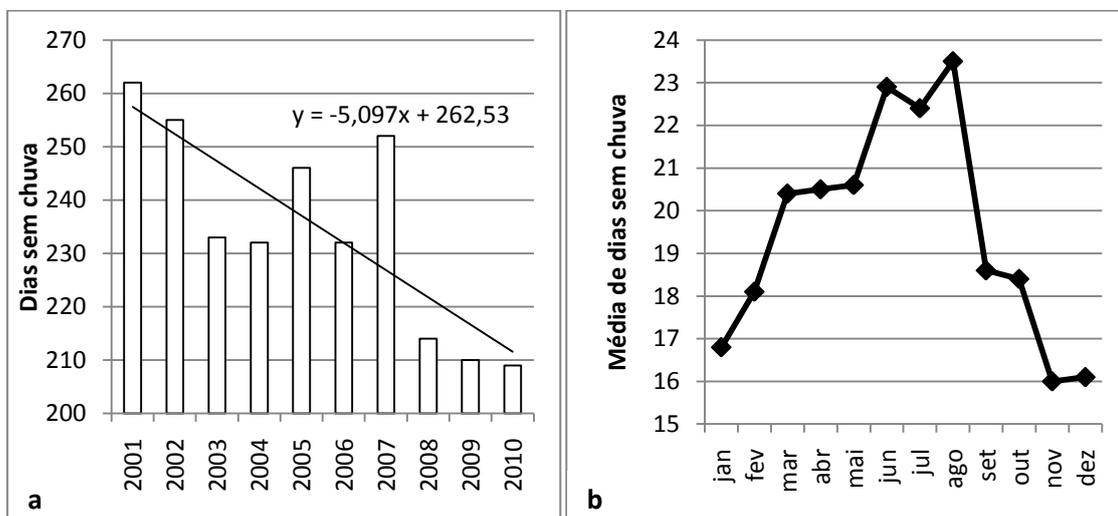


Figura 5.12. a) Dias sem chuva por ano no Rio Centro. b) Média de dias sem chuva por mês na década 2001-2010 para o Rio Centro.

A partir da figura 5.12, e dos resultados apresentados até aqui, é possível fazer algumas considerações. 1) O número de dias sem chuva vêm diminuindo ao longo da década. 2) Dentre os anos mais chuvosos, 2005 teve menos dias de chuva, o que não confirma mas pode indicar um aumento da intensidade de forma geral. 3) O ano menos chuvoso de 2004, e em especial o de 2008, apresentaram mais dias de chuva do que os anos de 2001, 2002 e 2007 sugerindo intensidades brandas. 4) Março em geral é um mês com intensidades altas para a década de 2001-2010. 5) As médias baixas de dias sem chuva de setembro e outubro podem estar relacionadas à tendência de aumento das alturas pluviométricas nestes meses.

Outro critério estabelecido por Figueiró (2005) considera a evolução e distribuição de meses secos ($<100 \text{ mm.mês}^{-1}$) por ano ao longo da série. “(...) Precipitações mensais abaixo do referido valor (100 mm) são suficientes para promover mudanças adaptativas, mesmo que temporárias, especialmente nos mecanismos de seqüestro de C [carbono] na maioria das plantas vasculares”³² (FIGUEIRÓ, 2005, p199). Outros fatores, não menos importantes, de suscetibilidade florestal relacionados à baixa precipitação são o aumento da

³² Embora a água seja de fato um fator limitante, para que a fotossíntese não se realize ou reduza significativamente, este não é o único fator envolvido. Variações na radiação luminosa e temperatura influenciam o metabolismo e processos relacionados, como a produtividade vegetal.

vulnerabilidade a incêndios e à incidência de pragas. A figura 5.13 indica uma diminuição ao longo da década no número de meses com esta deficiência hídrica, provocada provavelmente pelo aumento da tendência do volume de chuvas. Além disso, de forma geral os meses com deficiência hídrica tendem a concentrar-se no inverno com grande chance de ocorrência, enquanto que no verão eles ocorrem com menos frequência.

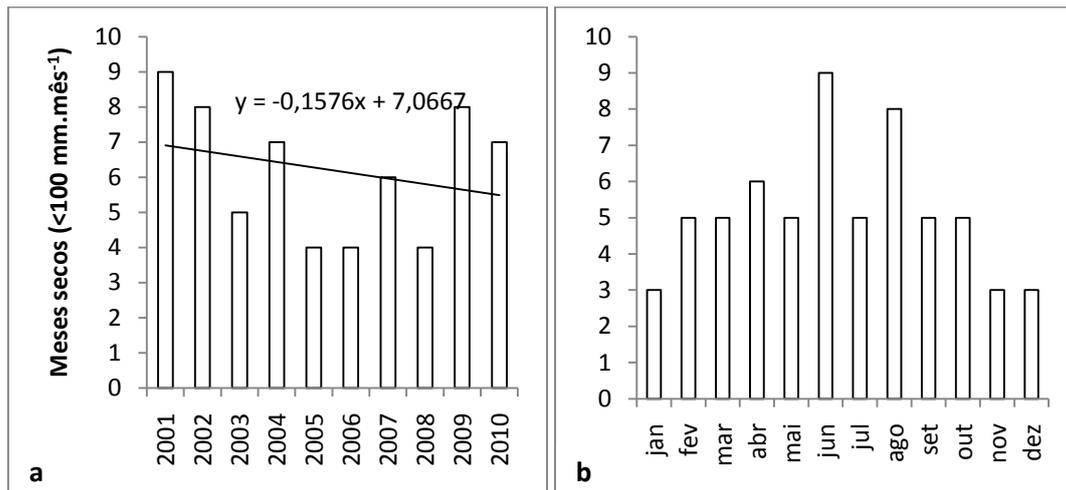


Figura 5.13. a) Meses secos (<100 mm.mês⁻¹) por ano no Rio Centro. b) Meses secos (<100 mm.mês⁻¹) por mês na década 2001-2010 para o Rio Centro.

Uma importante parte nesta análise é detalhar ainda mais o padrão de dias sem chuva no Rio Centro. Como já foi afirmado, há uma tendência no aumento das chuvas, sendo preocupante principalmente a ocorrência crescente de eventos acima de 50 mm.dia⁻¹ pelo seu potencial em deflagrar movimentos de massa. Uma correlação inversa entre aumento da pluviosidade anual e redução de meses secos, ou mesmo o aumento de apenas um destes, significa que estas chuvas estão se concentrando em um menor período de tempo caracterizando aumento da intensidade. Serão utilizadas as classes interpluviais para entender a dinâmica dos dias consecutivos sem chuva. A classe 1 (S_{c1}) abrange 1 a 3 dias consecutivos sem chuva; a classe 2 (S_{c2}), de 5 a 7 dias; a classe 3 (S_{c3}), de 8 a 12 dias; e a classe 4 (S_{c4}) acima de 12 dias sem chuva (FIGUEIRÓ, 2005). Esta análise trata dos dias de chuva que seriam considerados como classe zero(0), C_{i0}, de intensidade de chuva, ou seja, os dias sem chuva. Assim como o regime de chuvas, os dias sem chuva também apresentam certos regimes de distribuição. Períodos de muitos dias consecutivos sem chuva podem causar fragilização ambiental, gerando desequilíbrio na disponibilidade dos recursos hídricos (como recarga de aquíferos), alterações no ecossistema (como mencionado anteriormente) e aumento da susceptibilidade a incêndios. A partir

da deflagração do fogo, torna-se mais difícil seu controle em períodos longos de estiagem

A avaliação da figura 5.14 não demonstra relação aparente entre qualquer uma das classes de dias interpluviais com os 5 anos mais chuvosos ou com os 5 menos chuvosos. Os períodos consecutivos sem chuva entre 1 e 3 dias (S_c1) são os mais frequentes, seguidos pelos períodos de 5 a 7 dias (S_c2). A classe 3 (S_c3) é ligeiramente mais frequente que S_c4 . As retas de tendência apresentaram aumento para S_c1 (0,27) e para S_c2 (0,12). Para S_c3 e S_c4 a tendência foi a redução dos dias consecutivos sem chuva (-0,06 e -0,21 respectivamente). Os resultados indicam a redução de períodos mais longos de seca causadores de déficit hídrico.

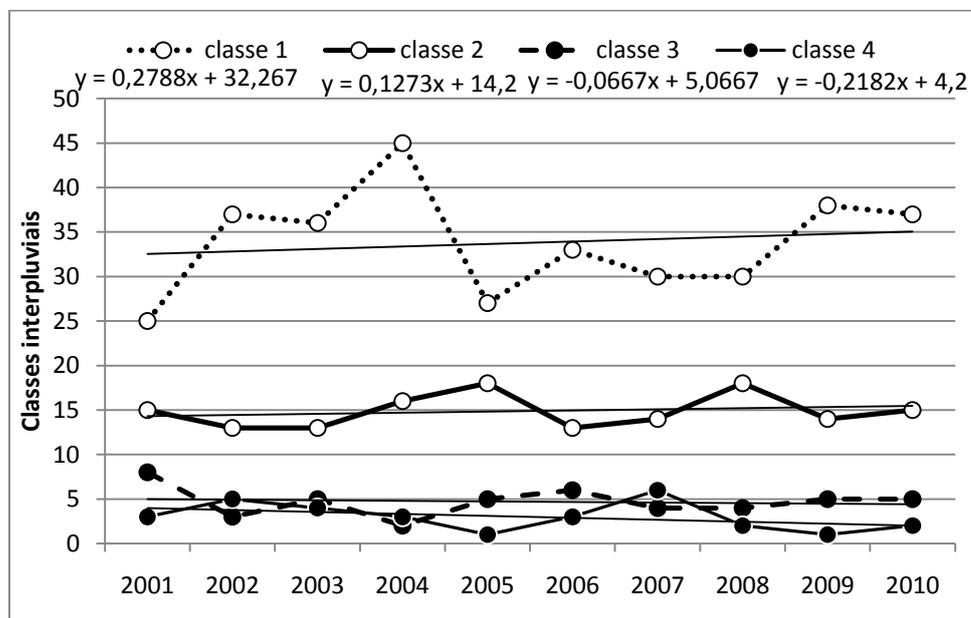


Figura 5.14. Dias sem chuva do Rio Centro divididas por classes interpluviais.

O aumento de S_c1 e S_c2 , classes interpluviais mais frequentes, estão possivelmente conectados com a diminuição de meses secos ($<100 \text{ mm.mês}^{-1}$) na década, com a diminuição de dias sem chuva por ano durante a década e com o aumento da intensidade C_i4 durante a década e C_i3 nos meses de verão.

Quanto à distribuição dos intervalos interpluviais, observa-se para S_c1 menor ocorrência no inverno (Figura 5.15). A classe S_c2 apresenta menor frequência nos meses de janeiro, fevereiro, junho e agosto. As classes S_c3 e S_c4 por sua vez, apresentam comportamentos semelhantes com mais casos nos meses do inverno e em março. Esta distribuição demonstra associação com as observações anteriores, mostrando que no inverno são mais comuns longos

intervalos sem chuva e pluviosidade acumulada menor, assinalando déficit hídrico já caracterizado para o Rio de Janeiro (OLIVEIRA, 2005). No mês de março, estes períodos relativamente prolongados de estiagem significam aumento da intensidade, conforme já havia sido verificado anteriormente. A partir de setembro constata-se diminuição de S_c2 , S_c3 e S_c4 e aumento gradual apenas de S_c1 até dezembro. Em janeiro e fevereiro a diminuição de S_c2 , S_c3 e S_c4 continua, significando redução nos períodos de déficit hídrico.

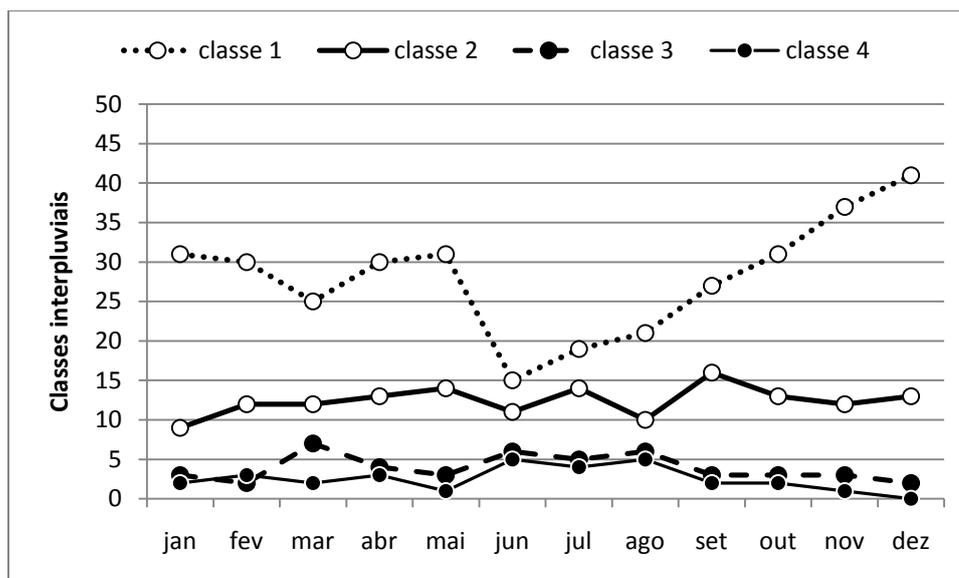


Figura 5.15. Classes interpluviais totais nos meses da série 2001-2010, para o Rio Centro.

Torna-se muito difícil, e fora das possibilidades deste trabalho, estabelecer quais são os limites de eventos interpluviais criadores de desequilíbrio na disponibilidade dos recursos hídricos, as conseqüentes alterações no ecossistema e como se estabilizariam de acordo com os limites de aporte de volume e intensidade de chuvas no mesmo sistema, de forma que não se potencialize desastres deflagrados por movimentos de massa ou alagamentos. Apesar das restrições, delinea-se um quadro de crescimento das chances de ocorrência de movimentos de massa. Por outro lado, não ocorre a fragilização ambiental por irregularidade de chuvas, já que, com exceção do mês de março, os resultados encontrados de déficit hídrico no inverno, não constituem alterações, estando de acordo com o descrito na literatura.

5.2

Precipitação e fluxo de atravessamento na sub-bacia do rio Caçambe

5.2.1

Precipitação incidente e fluxo de atravessamento observados (mm)

Os resultados totais observados para o Caçambe de precipitação em aberto (P) e dos fluxos de atravessamento (At) segundo a tipologia vegetal para o período de 04/11/2009 até 04/11/2010 estão na tabela 5.5³³. Os valores de precipitação (P) mostraram-se bem superiores à média da zona oeste do Rio de Janeiro entre 1.000 e 1.200 mm anuais (DERECZYNSKI *et al.*, 2009; TOGASHI, 2009). Um resultado esperado pela contribuição da altitude (BARBOZA *et al.*, 2004a, 2004b; OLIVEIRA e HACK, 2004; COELHO NETTO, 2007; DERECZYNSKI *et al.*, 2009; MOURA *et al.*, 2009³⁴), ainda que não se conheça com exatidão a magnitude desta influência.

A tabela 5.5 indica também o aumento da interceptação (I) para folhagens mais densas. No Caçambe, o atravessamento (At) geral foi decrescente ao seguir o gradiente mata secundária inicial (SI) - Borda - floresta secundária avançada (SA). Resultado amplamente encontrado na literatura (DUNNE e LEOPOLD, 1978; MENDES *et al.*, 1992; TOBÓN-MARIN *et al.*, 2000; LOESCHER *et al.*, 2002; COELHO NETTO, 2005; KONISHI *et al.*, 2006; SATO, 2008; WULLAERT *et al.*, 2009).

Tabela 5.5. Valores totais em mm de precipitação em aberto (P) e fluxo de atravessamento (At) nas tipologias vegetais secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

n = 27	Total	Verão 2009/2010	Outono 2010	Inverno 2010	Primavera 2009+2010*	Ano 2010*
P	2357,07	877,77	637,64	310,89	530,77	2019,03
At SI	2058,21	760,34	504,03	311,97	481,87	1745,37
At borda	1930,47	699,31	557,81	289,22	384,14	1704,31
At SA	1771,70	649,97	490,54	223,50	407,69	1508,35

* Os resultados da primavera são a soma da primavera incompleta de 2009 com a incompleta de 2010. O ano de 2010 foi contabilizado a partir de 05/01/2010 até 04/11/2010.

³³ Considerou-se verão o período entre 25/11/2009 e 22/02/2010. O outono compreende os dias entre 23/02/2010 e 16/06/2010. O inverno está entre as coletas de 03/07/2010 e 22/09/2010. A primavera foi observada apenas parcialmente em 2009 e em 2010. As datas estão de acordo com a coleta realizada mais próxima dos dias iniciais das estações e do ano.

³⁴ Moura *et al.*, 2009 verificou o efeito orográfico em Recife e os outros autores no estado RJ.

Destaca-se a interceptação superior no total e nas estações do ano, em relação à Borda e a SI. A interceptação da Borda mostrou-se bastante irregular mas no geral foi superior à tipologia SI, com exceção do Outono.

A chuva acumulada entre cada uma das 27 coletas foi por 4 vezes superior a 200 mm (Figura 5.16). Valores entre 50 e 150 mm foram encontrados em 12 coletas. As outras 11 coletas acumularam menos de 50 mm. As grandes diferenças de amplitude aconteceram no verão e no outono, tendo ocorrido inclusive eventos de grande intensidade raros nesta última estação, antecedentes às coletas de 09/03/2010 e 10/04/2010³⁵. Togashi (2009) levantou a hipótese de uma tendência crescente da intensidade e volume de chuvas, para os outonos e a primaveras na última década, em particular a partir de 2004. O final da primavera de 2009 e, em especial o outono de 2010 com o maior evento do período amostral, confirmam estas tendências, que apesar de contar com grandes chances de se prolongarem, podem se transformar à medida que o comportamento da precipitação é altamente dependente da dinâmica das massas de ar e de outras variáveis como a temperatura, ventos e umidade.

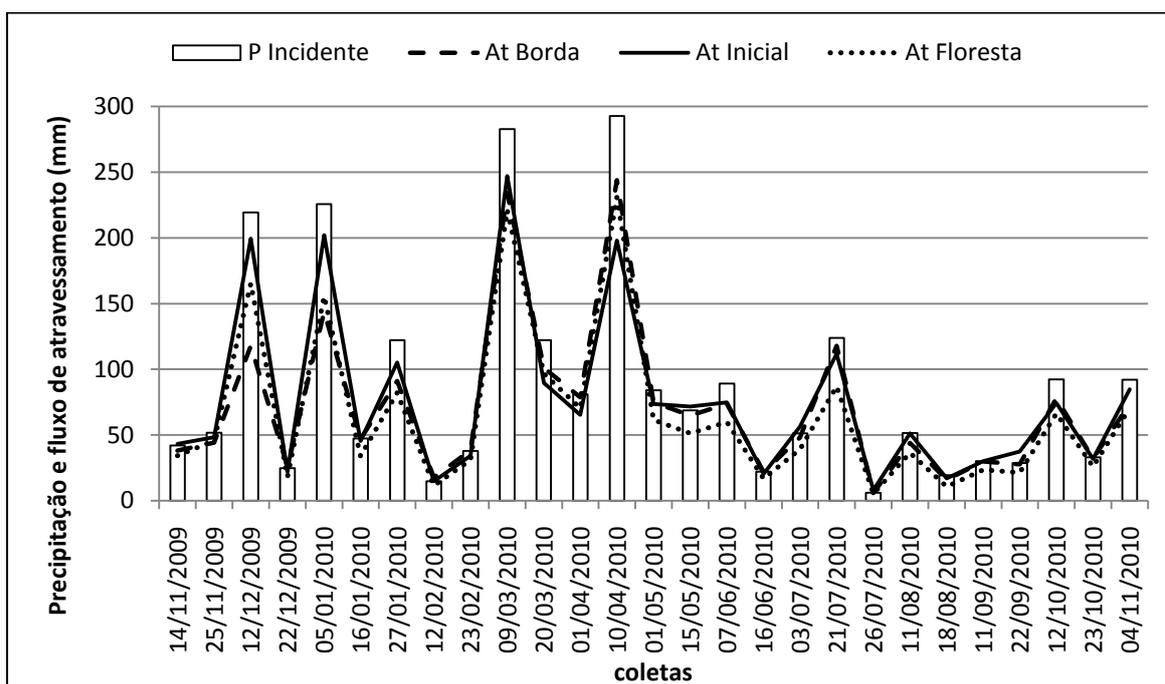


Figura 5.16. Precipitação incidente (P) no Caçambe e fluxos de atravessamento médios segundo tipologias vegetais. (para cada coleta: n Borda = 6, n SI = 6, n SA = 12)

Em acordo com a supracitada literatura, o fluxo de atravessamento aumentou com o incremento da quantidade de chuva, conforme mostra a figura

³⁵ Eventos que potencializaram grandes estragos materiais e mais de 200 mortos no estado do Rio de Janeiro, destacadamente no evento precedente à 10/04/2010.

5.16. O fluxo de atravessamento na mata secundária inicial (SI), na borda e na floresta secundária avançada (SA) apresentaram estreita relação R^2 (figura 5.17) com a precipitação em aberto. Um indicativo de alta correlação nos dois regimes, ou seja, At. aumenta de acordo com a elevação da altura pluviométrica e diminui à medida que a chuva reduz.

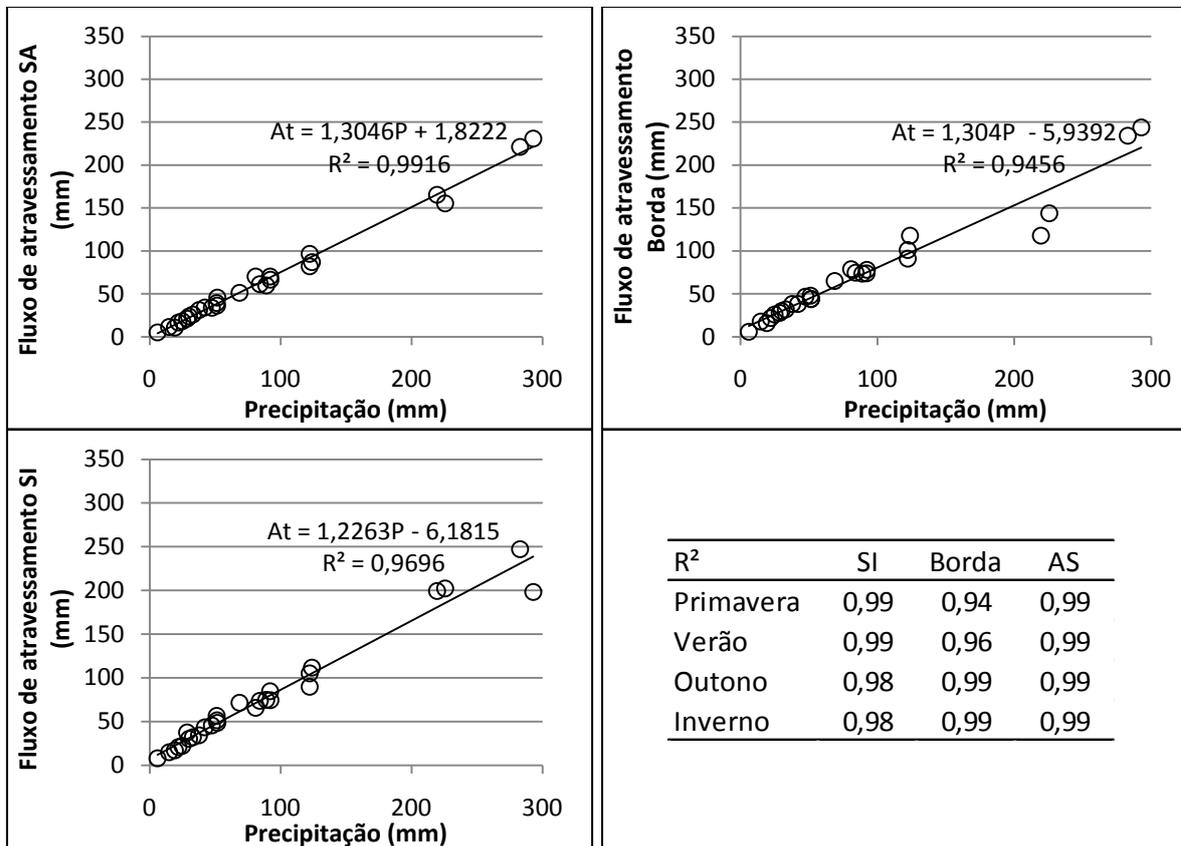


Figura 5.17. Relação no Caçambe entre precipitação (P) e atravessamento nos transectos SI (e borda) e SA para o total amostral nos gráficos e para as estações do ano na tabela.

O coeficiente R^2 também mostrou correlação entre a precipitação e os fluxos de atravessamento nas diferentes tipologias, se consideradas as estações do ano em separado. O valor de R^2 apesar de não enquadrar-se no nível de confiança de 95%, ficou muito perto com 94%, um reflexo da irregularidade tipologia Borda na função de interceptação vegetal em relação às outras tipologias.

Os p-valores para a série de 1 ano no teste não paramétrico de Spearman foram de 0,991 para SA, de 0,986 para Borda e de 0,983 para SI. Todos os resultados mostraram-se dentro do nível de confiança de 95%. Para a primavera na Borda, o teste de Spearman foi 0,996, demonstrando alta correlação no único resultado em que o teste de R^2 foi apenas próximo de 95%.

A aplicação do teste T entre a precipitação incidente (P) e o atravessamento (At) nas diferentes tipologias não apresentou significância ($p < 0,05$). Togashi (2009) chamou a atenção para as limitações da aplicação em séries pluviométricas pequenas. A grande variação dos valores com amplitude de algumas centenas e duas casas decimais reduz muito a chance de atingir confiança de 95% pelo teste, mesmo que exista alguma relação. Verificando as estações do ano separadamente, apresentaram correlação estatística apenas os pares P e Borda na primavera ($p=0,179$), P e SI na primavera ($p=0,750$), P e Borda no verão (0,770), P e Borda no outono ($p=0,134$), P e SI no outono ($p=0,193$), P e SI no inverno ($p=0,953$). Em outras palavras, de forma geral o teste T indicou pouca ou nenhuma influência da precipitação sobre o fluxo de atravessamento, ao contrário do teste R^2 que apontou alta semelhança entre os regimes.

5.2.2

Comportamento da precipitação incidente no Caçambe em relação ao Rio Centro

Existe uma grande semelhança de comportamento no regime pluviométrico de Caçambe e Rio Centro (figura 5.18). Fato até certo ponto esperado em uma área onde o principal fator controle das chuvas é a dinâmica de massas de ar. Em geral, as alturas pluviométricas maiores estão no Caçambe, provavelmente pelo efeito da altitude, não impedindo, no entanto, que por algumas vezes (4) o Rio Centro registrasse valores mais elevados.

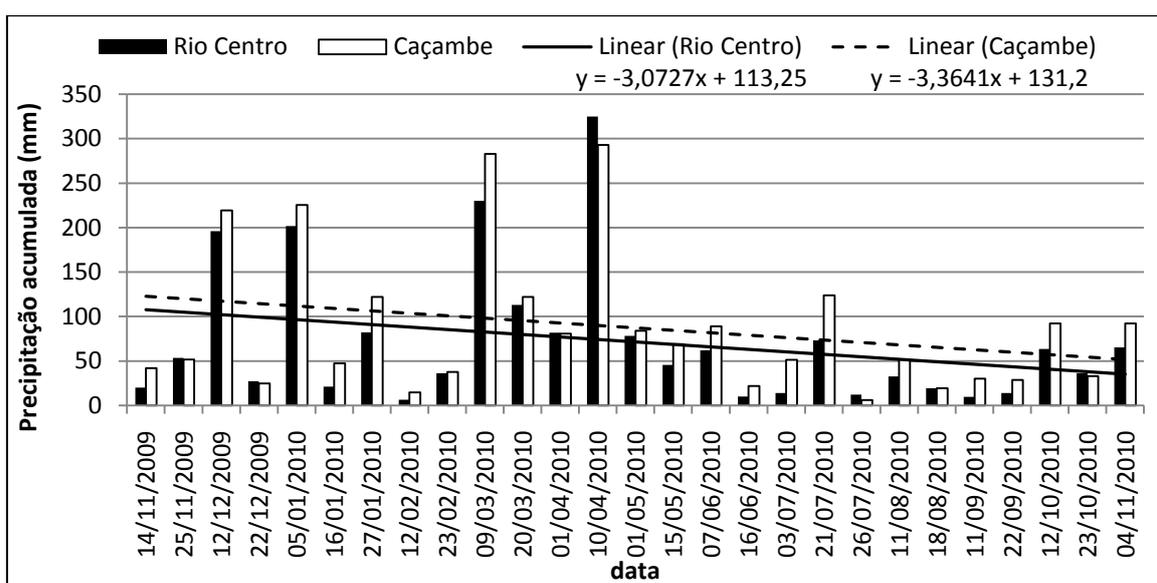


Figura 5.18. Precipitação (P) acumulada entre coletas no período de 04/11/2009 à 04/11/2010, no Caçambe e no Rio Centro.

A altura pluviométrica registrada no Rio Centro entre 04/11/09 e 04/11/10 foi 1.931 mm, enquanto que a do Caçambe foi 2.357 mm. Isto equivale a um valor médio de 22% a mais de chuvas no Caçambe em relação ao Rio Centro. As linhas de tendência lineares quase paralelas (figura 5.18) sugerem estreita similaridade de padrões que pode ser confirmada pela figura 5.19, a partir de R^2 que mostra alto grau de confiança para a plotagem Rio Centro vs. Caçambe. A correlação de Spearman foi de 0,93. Ambos valores não alcançaram 95% mas mostraram-se bem próximos.

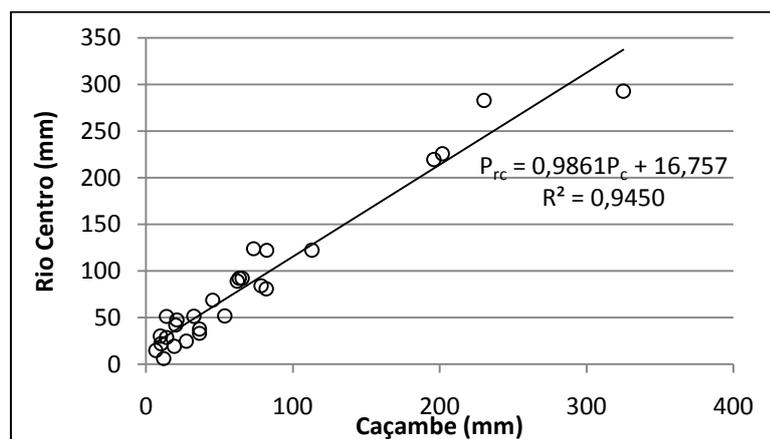


Figura 5.19. R^2 em dispersão do Rio Centro sobre o Caçambe para 27 coletas entre 14/11/09 e 04/11/2010.

Nogueira (2008) encontrou R^2 de 0,95 na correlação dos regimes pluviométricos de Caçambe e Rio Centro. O período amostral da autora começou em fevereiro de 2007 e terminou em novembro do mesmo ano. Os valores de precipitação total neste período foram de 956,7 mm no Caçambe e 721 mm no Rio Centro. O total pluviométrico de 2007 mostrou-se bem abaixo do registrado em 2010, sendo caracterizado como um ano pouco chuvoso na década (item 5.1). Apesar da autora não ter incluído os chuvosos meses de janeiro e dezembro, seus resultados também apontaram para alta correlação de regimes pluviométricos, mesmo em um ano menos chuvoso.

O Caçambe mais chuvoso do que o Rio Centro acima de 30 mm aconteceu em apenas 4 ocasiões, o que percentualmente pode significar valores altos como no dia 03/07/2010 em que a razão chegou a 366% (figura 5.20). Para o período amostral deste estudo, não foi possível constatar nenhuma relação aparente que apontasse um padrão, como por exemplo, a concentração destes eventos em alguma estação do ano, explicando esta diferença acima de 30 mm.

Separando as estações primavera, verão, outono e inverno, os valores de R^2 são respectivamente 0,95, 0,97, 0,98 e 0,85 Com exceção do inverno, suas

linhas de tendências são paralelas. Fato que sugere altos níveis de correlação entre Rio Centro e Caçambe para primavera, verão e outono. Conforme é possível verificar pela figura 5.20, o final do outono e o inverno, entre 15/05/2010 e 22/09/2010, concentraram a maior parte dos desvios percentuais elevados da razão Caçambe/Rio Centro. Por esta razão, a utilização dos dados do inverno do Rio Centro para comparações com o Caçambe deve ser feita com ressalvas. Apesar de também haver diferenças de até 60 mm em outras estações do ano, o aumento percentual das razões Caçambe/Rio Centro no inverno, devem-se ao maior número de eventos de baixa magnitude, ocasionando aumento dos valores percentuais. Da mesma forma que R^2 , o valor de Spearman não alcançou 95% de confiança no inverno, ficando em 0,89. No teste T, a série Rio Centro – Caçambe não se correlacionou. Apenas suas primaveras ($p=0,220$) e outonos ($p=0,537$).

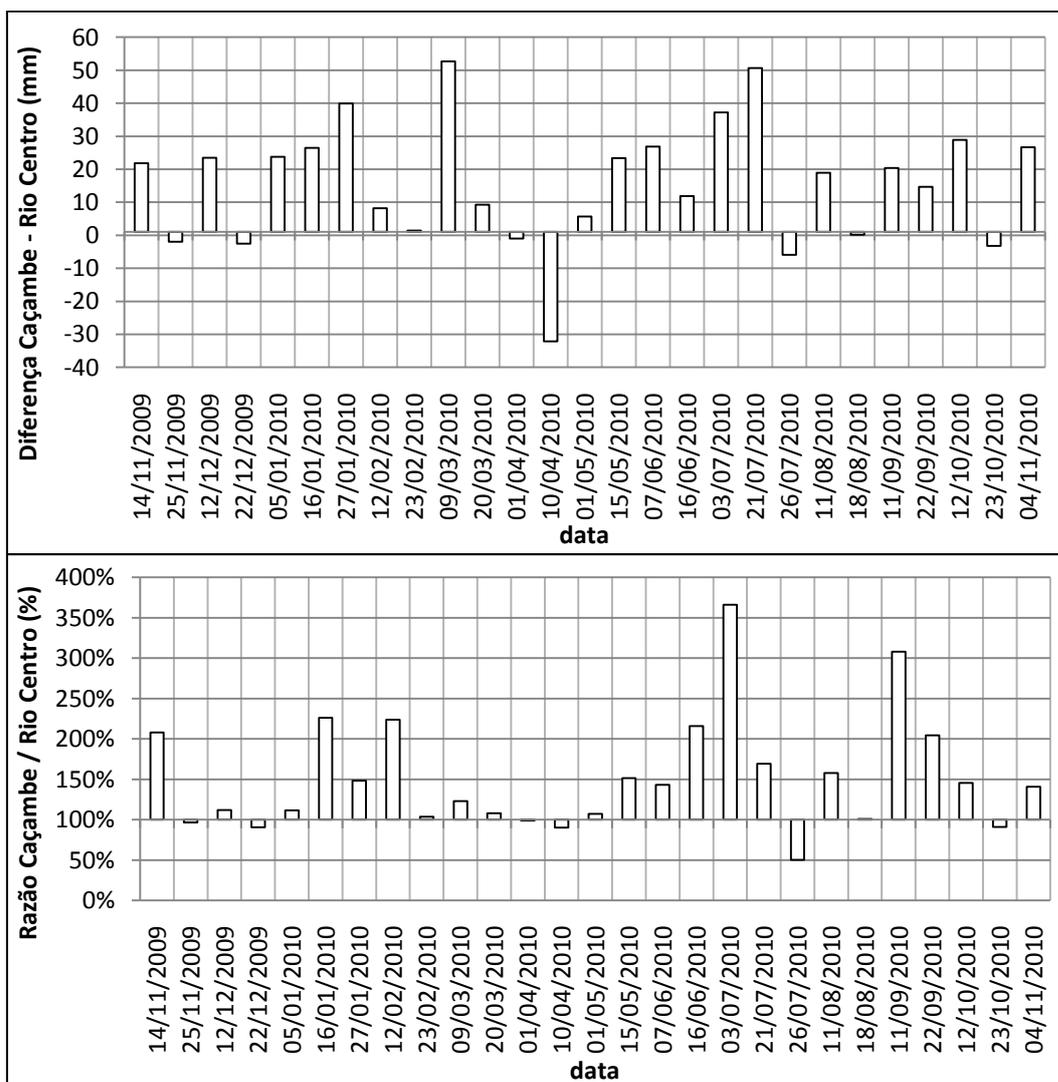


Figura 5.20. Desvios entre a precipitação (P) de Caçambe e Rio Centro segundo a razão (%) e a subtração (mm), calculadas por coleta.

5.2.3

Intensidade da precipitação no período amostral para o Caçambe, segundo dados do Rio Centro

Adotou-se neste trabalho o monitoramento do fluxo de atravessamento após eventos de chuva, considerando-se estes como as chuvas em dias consecutivos provocadas pelas entradas e choques de sistemas frontais, potencializadas no verão pela convecção. Por vezes, uma massa de ar entra no Rio de Janeiro e consecutivamente entra outra, em um intervalo de tempo muito curto. Um evento de chuva prossegue o outro com a realização da coleta somente após o fim das chuvas. Portanto, uma medição pode conter chuva de dois eventos ou mais. Este fato impõe certo limite na análise percentual do fluxo de atravessamento, inerente a todos os monitoramentos onde a frequência de coleta não é diária. Dois eventos sobrepostos produzem chuvas de magnitudes diferentes, com percentuais de atravessamento diferentes. A medição de seu acumulado permite a obtenção do total de atravessamento em mm, mas percentualmente será apenas a média entre os dois eventos e não o valor verificado de fato para cada evento. Utilizou-se os dados do Rio Centro para avaliar a intensidade das chuvas no Caçambe³⁶, considerando-se a semelhança no comportamento dos regimes das duas áreas³⁷.

Em um remanescente de Floresta Atlântica no Paraná, Thomaz (2005) utilizou 8 classes para intensidades diárias, sendo a última delas para as alturas pluviométricas maiores que 50 mm e resolução a partir de 2,5 mm (classe 1). Tal nível de especificidade parece demasiado para a utilização no Caçambe dos dados de precipitação (P) do Rio Centro, visto suas limitações. As classes de intensidade diária (C_i) propostas por Figueiró (2005) parecem ser mais adequadas para este caso ($C_1 < 10$ mm, $C_2 = 10,1$ mm – 50 mm, $C_3 = 50,1$ mm – 100 mm, $C_4 > 100$ mm), em especial considerando-se C_1 e C_2 como baixa intensidade de chuva e C_3 mais C_4 como alta intensidade. As chuvas diárias de alta intensidade invariavelmente ocorrem entre dias de menor intensidade, ou

³⁶ Reforçando que para eventos no inverno, entre 03/07/2010 e 22/09/2010, confiabilidade de 85% (R^2).

³⁷ De forma geral os regimes de Caçambe e Rio Centro são muito parecidos, sendo a maior diferença a intensidade de chuvas mais alta na primeira área. Portanto, mesmo que a intensidade dos eventos seja mais alta para o Caçambe, será em média, mais alta proporcionalmente para todos. A análise da série como um todo pode não refletir a intensidade de fato, mas as relações comparativas certamente estarão muito perto da realidade. Neste caso, os parâmetros das classes utilizadas podem estar subestimados em até 22%. A análise deste trabalho não se torna inválida na medida em que as classes utilizadas (ver adiante no texto) podem ser relativizadas como baixa, moderada, alta e muito alta intensidades.

seja, a intensidade cresce até um pico para depois decrescer, um efeito da passagem da massa de ar.

As coletas dos dias 12/12/2009 e 05/01/2010 apresentaram cada, um dia de C_3 . Na chuva acumulada das coletas de 09/03/2010 e 10/04/2010, verificam-se para cada, um dia de C_3 e um dia de C_4 (tabela 5.6). A figura 5.21 mostra os eventos nestas 4 coletas de maior magnitude, em duas ocasiões aconteceram 2 eventos acumulados. O dia 12/12/2009 foi composto por dois eventos com intervalo de apenas 24 horas entre eles e o dia 09/03/2010 apresentou um dos eventos com apenas 1 dia de C_2 . Portanto, para os quatro maiores eventos no período amostral, o alto volume está diretamente relacionado com uma alta intensidade. Além disso, nas quatro datas, o número de eventos moderados C_2 foi acima de 2, um número significativo.

Tabela 5.6. Quantidade de classes de intensidade de chuva diária divididos por coleta, por ordem crescente de volume de chuva (mesma ordem da figura 5.6). As estações do ano são indicadas abaixo.

Classes de intensidade	26/07/2010	12/02/2010	18/08/2010	16/06/2010	22/12/2009	22/09/2010	11/09/2010	23/10/2010	23/02/2010	14/11/2009	16/01/2010	03/07/2010	11/08/2010	25/11/2009	15/05/2010	01/04/2010	01/05/2010	07/06/2010	04/11/2010	12/10/2010	27/01/2010	20/03/2010	21/07/2010	12/12/2009	05/01/2010	09/03/2010	10/04/2010
C_1		2	4	3	3	2	5	3	2	2	2	1	7		3	3	6	8	3	12	2	1	3	2	1	6	1
C_2	1		1		1	1		1	1	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	1	3	4	3	5	3	2	4
C_3																								1	1	1	1
C_4																										1	1
	Inv.	Ver.	Inv.	Out.	Ver.	Inv.	Inv.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Inv.	Inv.	Pri.	Out.	Out.	Out.	Out.	Pri.	Pri.	Ver.	Ver.	Inv.	Pri.	Ver.	Ver.	Out.

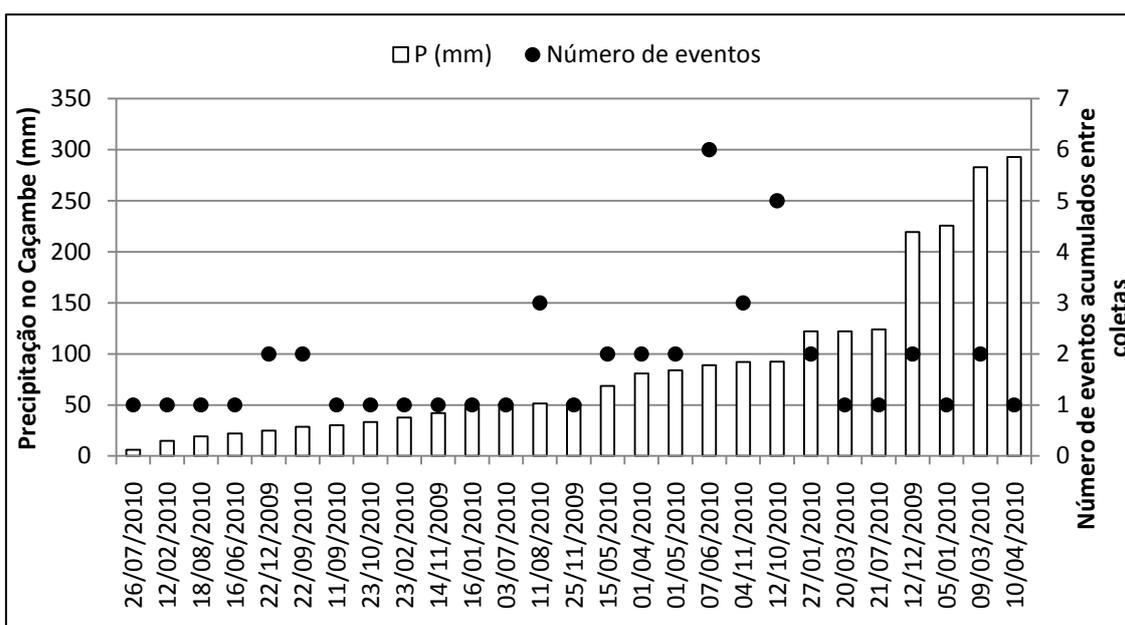


Figura 5.21. Número de eventos acumulados entre as coletas do Caçambe durante o período amostral, por ordem crescente do volume de chuvas (datas fora de ordem).

Para as coletas com volume entre 50 mm e 150 mm, as chuvas foram compostas por episódios diários de C_{i1} e C_{i2} , sendo a intensidade média determinada por precipitação de intensidade diária média em diversos dias. Neste caso, o volume de chuvas das coletas foi determinado por intensidades diárias moderadas C_{i2} em 8 coletas ou em 3 ocasiões pela alta frequência de intensidades fracas C_{i1} (tabela 5.6). Nas coletas com volume de chuva menor do que 50 mm, a intensidade diária moderada C_{i2} esteve presente no máximo uma vez. Em geral, C_{i1} apresentou frequência baixa.

Os eventos de grande intensidade não ocorreram no inverno e com exceção da coleta do dia 21/07/2010, os acumulados por coleta foram abaixo de 53 mm. No outono e na primavera predominaram as intensidades diárias de chuva moderadas e fracas. O verão foi a estação em que mais se mesclaram os eventos de intensidades baixa, média e alta.

5.2.4

Fluxo de atravessamento percentual no Caçambe

O valor do fluxo de atravessamento (A_t) percentual é frequentemente calculado na literatura como a razão A_t sobre P (precipitação) dos totais observados no período estudado (tabela 5.7). Este cálculo, porém, ignora o fator intensidade presente durante um evento. Uma chuva de alta intensidade mas volume não tão elevado pode ter seu atravessamento percentual mascarado por uma chuva de grande volume e intensidade diferente. Portanto, o atravessamento médio percentual mais acurado para um período deve ser obtido pela média dos eventos verificados no mesmo (tabela 5.8).

Tabela 5.7. Valores percentuais dos totais de precipitação em aberto (P) e fluxo de atravessamento (A_t) nas tipologias vegetais borda, secundária inicial (SI) e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

n = 27	Total	Verão 2009/2010	Outono 2010	Inverno 2010	Primavera 2009+2010*	Ano 2010*
P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
At SI	0,87	0,87	0,79	1,00	0,91	0,86
At borda	0,82	0,80	0,87	0,93	0,72	0,84
At SA	0,75	0,74	0,77	0,72	0,77	0,75

* Os resultados da primavera são a soma da primavera incompleta de 2009 com a incompleta de 2010. O ano de 2010 foi contabilizado a partir de 05/01/2010 até 04/11/2010.

Tabela 5.8. Valores percentuais médios de precipitação em aberto (P) e fluxo de atravessamento (At) nas tipologias vegetais borda, secundária inicial (SI) e secundária avançada (SA) considerando as magnitudes dos eventos. Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

n = 27	Total	Verão 2009/2010	Outono 2010	Inverno 2010	Primavera 2009+2010*	Ano 2010*
P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
At SI	0,94±0,14	0,89±0,08	0,86±0,12	1,07±0,18	0,93±0,07	0,94±0,15
At borda	0,89±0,13	0,91±0,18	0,91±0,07	0,93±0,06	0,82±0,15	0,90±0,11
At SA	0,75±0,07	0,75±0,05	0,76±0,07	0,73±0,10	0,79±0,06	0,75±0,07

* Os resultados da primavera são a soma da primavera incompleta de 2009 com a incompleta de 2010. O ano de 2010 foi contabilizado a partir de 05/01/2010 até 04/11/2010.

Os resultados da tabela 5.8 são compatíveis com os estudos anteriores realizados na mesma área (CINTRA, 2004; SILVA *et al.*, 2006; NOGUEIRA, 2008), que variaram em interceptação de 13,3% a 29,7%, assim como os outros estudos em Floresta Atlântica (Tabela 2.1) que registraram mais frequentemente valores de interceptação entre 10% e 20%.

Segundo a tabela 5.8, a interceptação percentual de SA foi sempre superior as demais tipologias, assim como a interceptação absoluta (mm). A Borda e SI tiveram comportamento inconsistente. Espera-se que folhagens mais densas interceptem mais, mas na Borda isso não ocorreu percentualmente no verão e no outono. Os fluxos de atravessamento percentual por tipologia vegetal e data da coleta encontram-se detalhados nas figuras 5.22 e 5.23.

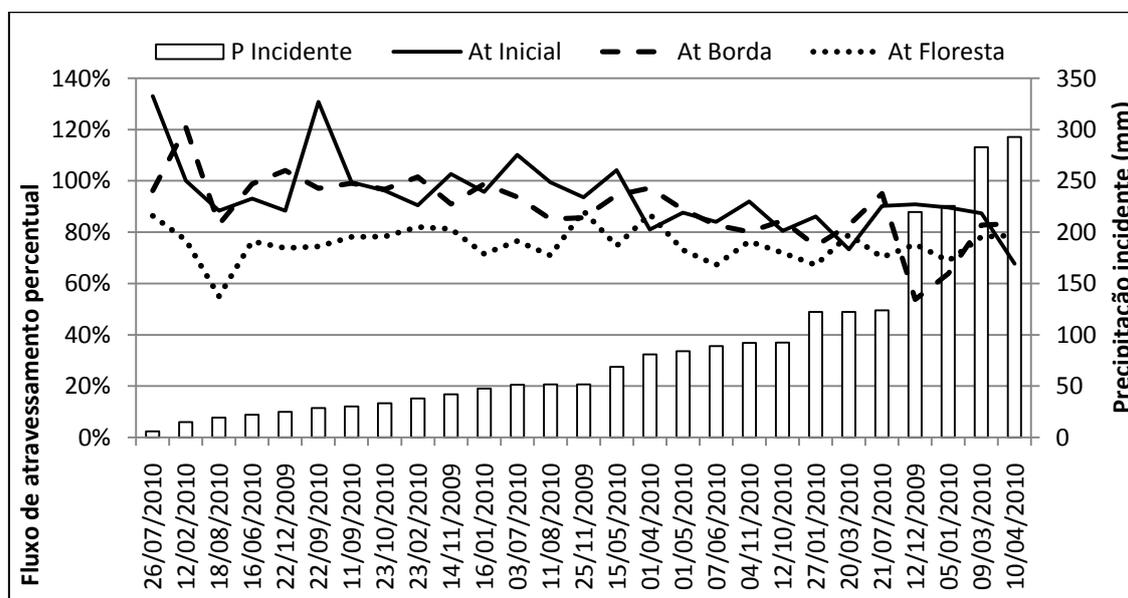


Figura 5.22. Fluxo de atravessamento (At) percentual nas tipologias borda, secundária avançada (AS) e secundária inicial (SI) em ordem crescente de precipitação incidente (P).

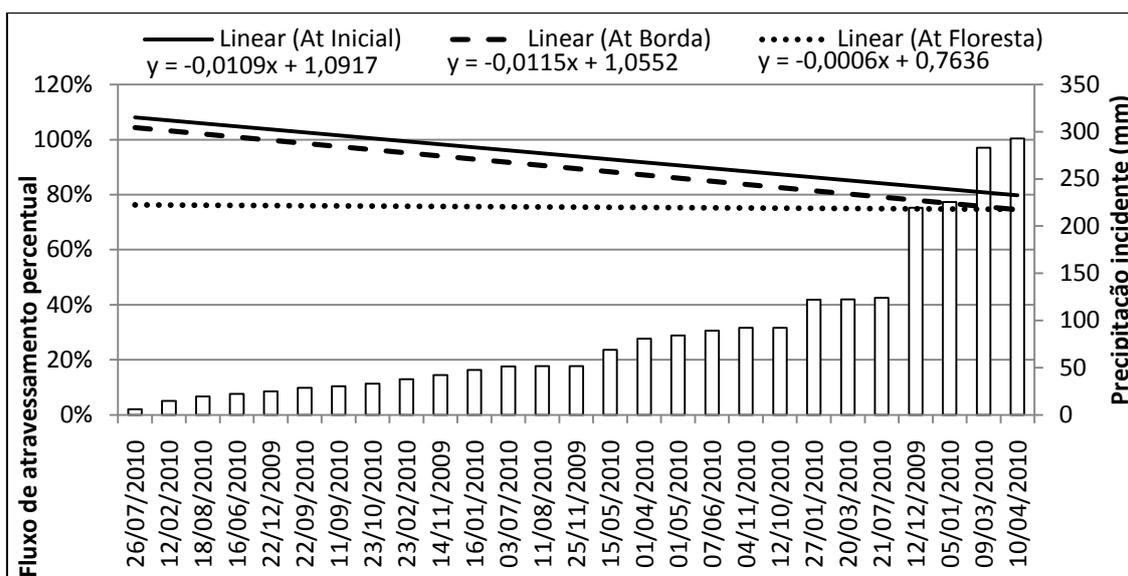


Figura 5.23. Linhas de tendência respectivas aos fluxos de atravessamento das tipologias vegetais da figura 5.22.

De uma forma geral, a interceptação percentual em SI e na Borda aumentou com o aumento da altura pluviométrica por evento, no entanto, não alcançando os níveis de SA, com exceção da Borda nos eventos de grande magnitude.

Em SI, praticamente não há dossel para a interceptação de chuva³⁸. Em volumes de chuva inferiores a 75 mm por coleta, verificou-se por algumas vezes fluxo de atravessamento superior a 100%. Atribui-se isso a duas possibilidades não diferenciadas neste trabalho: 1) Convergência de gotejamento pela vegetação densa arbustiva, inclusive com armazenamento de água por galhos e folhas entrelaçadas³⁹; 2) A precipitação é altamente heterogênea considerando-se o número de coletores. Os resultados superiores a 100% podem ser simplesmente maior incidência de precipitação em determinados pontos, mesmo porque a turbulência das correntes de ar contribui com a heterogeneidade. Esta heterogeneidade da precipitação contribui com a heterogeneidade da Floresta Atlântica na área amostral que é ilustrada pela tabela 5.9, e em especial pelos altos desvios padrão pontuais. Estes valores reiteram os registros da literatura que apontam para a alta heterogeneidade no fluxo de atravessamento em florestas tropicais (HELVEY e PATRICK, 1964; LLOYD e MARQUES FILHO, 1988; SCHELLEKENS *et al.*, 1999; TOBÓN-MARIN *et al.*, 2000).

³⁸ A baixa interceptação no entanto não significa que a precipitação atinge diretamente o solo. Neste trabalho não foi feito o monitoramento da interceptação pelo extrato herbáceo (gramíneas) nem do piso florestal da mata secundária inicial.

³⁹ Este pareceu ser o caso do pluviômetro 11 (tabela 5.9) que apesar de um desvio padrão alto, teve a quase totalidade das coletas acima de 100%.

Tabela 5.9. Fluxo de atravessamento percentual médio (%) com desvios padrão (dp) por pluviômetro (Pluv.).

n	Pluv.	%	dp	n	Pluv.	%	dp
24	1	0,88	0,20	27	13	0,78	0,14
27	2	0,84	0,30	27	14	0,72	0,20
26	3	0,86	0,20	26	15	0,78	0,11
25	4	0,84	0,36	24	16	0,78	0,15
25	5	0,74	0,34	25	17	0,89	0,24
21	6	0,66	0,23	26	18	0,45	0,24
26	7	0,90	0,15	27	19	0,73	0,18
26	8	0,93	0,02	24	20	0,62	0,18
25	9	0,51	0,60	24	21	0,86	0,14
22	10	0,81	0,14	26	22	0,60	0,20
26	11	1,20	0,22	25	23	0,57	0,14
25	12	0,69	0,27	25	24	0,69	0,22

A Borda teve fraco desempenho de interceptação percentual em volumes de chuva inferiores a 90 mm por coleta (figura 5.22). A tendência de seu comportamento foi similar a de SI (figura 5.23) mas com certo desenvolvimento das funções de interceptação visto que seu fluxo de atravessamento é geralmente inferior ao de SI. Por outro lado, a tipologia SI com 8 anos de idade não desenvolveu esta funcionalidade. A utilização anterior como pasto provavelmente está relacionada ao retardamento da reestruturação da cobertura vegetal e, conseqüentemente, da recuperação de níveis mais elevados de interceptação. O atraso no desenvolvimento sucessional em áreas de pasto abandonado ou severamente degradadas é frequentemente relatado na literatura, como por exemplo, em Guariguata e Ostertag (2001). Em apenas 3 ocasiões o fluxo de atravessamento percentual médio da Borda foi superior a 100%. A menor frequência em relação a SI é provavelmente devida ao início de presença de dossel.

Já em SA, a interceptação percentual foi constante, apenas com ligeiro aumento, mantendo-se como a cobertura vegetal mais eficiente na interceptação de variadas magnitudes de chuva.

Além das comparações do fluxo de atravessamento percentual em 3 tipologias em relação à precipitação, foram investigadas relações do fluxo de atravessamento percentual com: 1) o número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento (Secos antecedentes); e 2) dias consecutivos sem chuva após o término do evento, antecedendo a coleta (Secos posteriores) (tabela 5.10).

Tabela 5.10. Número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento (Secos antecedentes) e dias consecutivos sem chuva após o término do evento, antecedendo a coleta (Secos posteriores).

	14/11/2009	25/11/2009	12/12/2009	22/12/2009	05/01/2010	16/01/2010	27/01/2010	12/02/2010	23/02/2010	09/03/2010	20/03/2010	01/04/2010	10/04/2010	01/05/2010	15/05/2010	07/06/2010	16/06/2010	03/07/2010	21/07/2010	26/07/2010	11/08/2010	18/08/2010	11/09/2010	22/09/2010	12/10/2010	23/10/2010	04/11/2010
Secos antecedentes	6	2	15	2	9	11	4	14	6	5	5	6	2	10	7	6	5	8	19	5	5	2	18	5	5	4	3
Secos posteriores	1	8	1	3	3	0	1	1	3	1	2	0	0	0	2	1	2	9	2	1	0	0	1	3	0	3	2

Teoricamente, o aumento do número de dias consecutivos sem chuva antecedentes a um evento influencia diretamente na umidade⁴⁰, reduzindo-a, e na capacidade de retenção do dossel, aumentando a interceptação. A figura 5.24 não mostra relação aparente entre um período mais longo sem chuvas e aumento da interceptação em qualquer uma das tipologias.

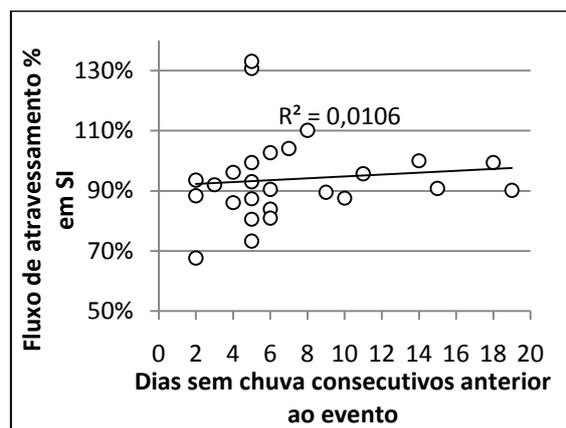
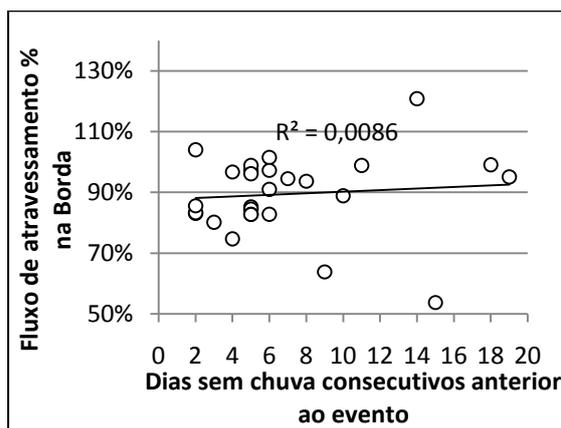
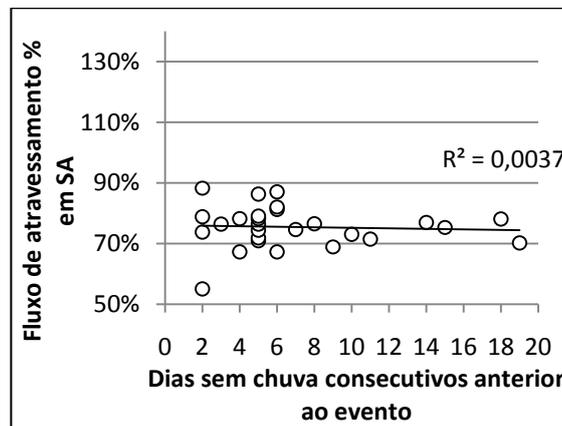


Figura 5.24. Relações do fluxo de atravessamento percentual com o número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento, por tipologia.

Em coletas com mais de um evento foi selecionado o maior período seco. Destaca-se que os dados utilizados nesta análise não são suficientes para qualquer afirmação conclusiva já que a interceptação nas várias fases de um

⁴⁰ A ocorrência de chuva não é o único fator determinante na umidade antecedente.

evento de chuva é diferenciada (e.g. início de um evento ou fase de saturação do dossel). Desta forma, verificou-se a relação entre dias consecutivos sem chuva antecedentes a um evento e a interceptação média de todo o evento, considerando que a intensidade é proporcional ao volume da coleta (item 5.3).

Tratando-se de dias consecutivos sem chuva após o término do evento, antecedendo a coleta, procura-se indícios de influência da evapotranspiração (figura 5.25). As ressalvas aqui se devem ao fato da evapotranspiração também ocorrer durante o evento. Diferenças na radiação solar que alcança a superfície vegetal, umidade, vento e temperatura também ocorrem a cada dia. Uma análise mais acurada poderia ser realizada se a evapotranspiração no sítio amostral fosse determinada, o que incluiria a possibilidade de investigar a capacidade de estocagem da água pelo dossel garantindo a umidade necessária ao abastecimento do sistema.

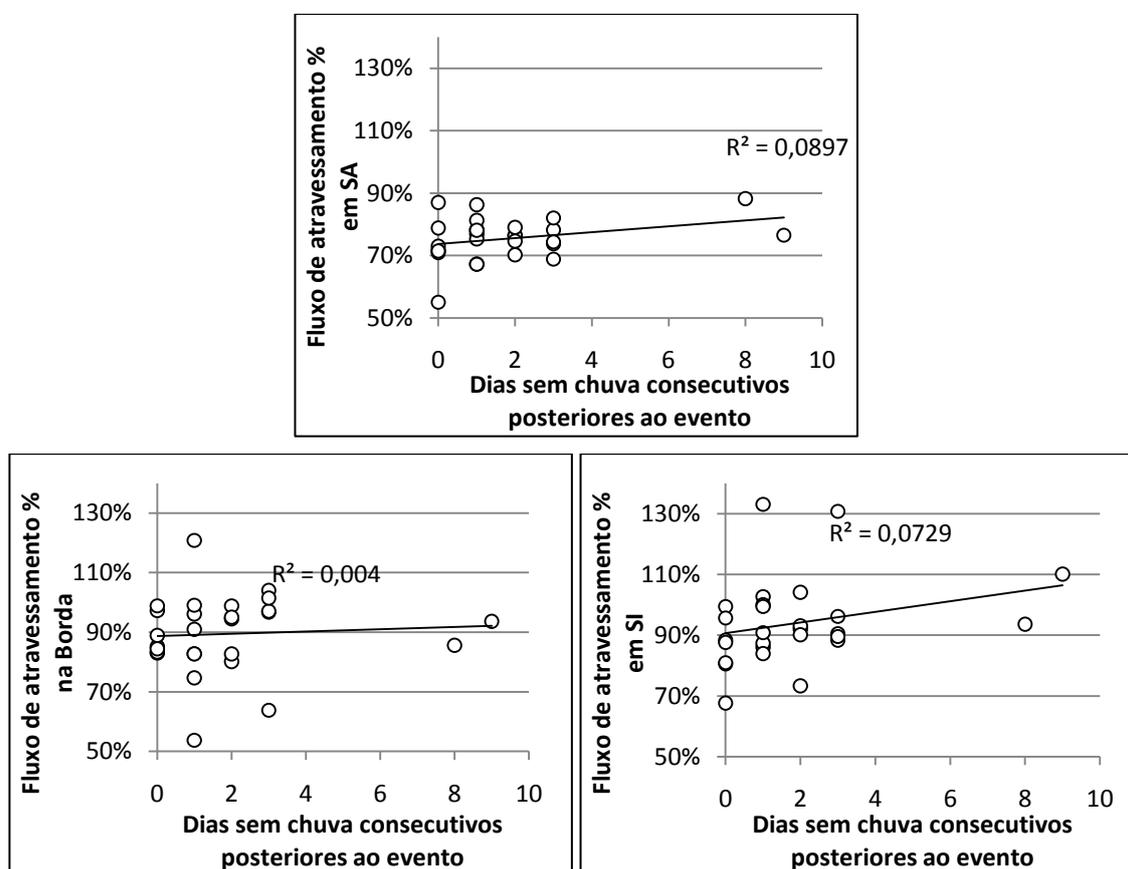


Figura 5.25. Relações do fluxo de atravessamento percentual com o número de dias consecutivos sem chuva após o término do evento, antecedendo a coleta, por tipologia.

5.2.5

Resultados do Caçambe ampliados para áreas adjacentes

Um dos maiores desafios em trabalhos que envolvem uma área amostral limitada, como é o caso deste, é ampliar o entendimento dos resultados

alcançados para uma escala mais ampla. Isto significa procurar estabelecer pontes entre os padrões e processos envolvidos na precipitação e interceptação vegetal na sub-bacia do rio Caçambe com seu entorno, e mesmo com a cidade do Rio de Janeiro. No entanto, a extrapolação das relações entre padrões e processos obtidos em escalas pequenas para escalas grandes, e vice-versa, é na maioria das vezes extremamente limitada na medida em que o todo não constitui apenas a soma das suas partes.

Muitas vezes a escala espacial denota a existência de uma hierarquia. “Num sistema, as propriedades de um nível hierárquico N dependem das interações ou associações existentes no nível $N-1$ e são condicionadas (limitadas) pelo nível $N+1$. (METZGER, 2001. p.5)”. Verificar a decomposição de biomassa vegetal (M), em uma escala bem local, requer o entendimento do microclima e variações no ambiente como distúrbios humanos ($N+1$), além de características da serrapilheira como quantidade de lignina das folhas ($N-1$) (TURNER *et al.*, 2001). Estudos de mortalidade de sementes de carvalho em uma escala local nos Estados Unidos mostraram que a mortalidade diminuiu com o aumento da precipitação, enquanto que em uma escala mais ampla, a mortalidade diminuiu nas latitudes mais secas.

A interceptação vegetal em um trecho de floresta adjacente à sub-bacia do rio Caçambe, provavelmente apresentará padrões distintos, mesmo que estruturalmente a semelhança seja muito alta. A precipitação também é extremamente heterogênea, considerando-se escalas pontuais.

Da mesma forma, extrapolações na escala temporal encontram grandes restrições. O regime da precipitação e o padrão de interceptação vegetal podem ser similares mas certamente não serão os mesmos que os registrados na série 2009/2010 deste trabalho. Em um ano com volume de chuvas inferior, a interceptação poderá ser menor, maior ou semelhante. Turner *et al.* (2001) explica este entrave na extrapolação temporal com o seguinte exemplo:

“quando a relação entre produção de algas e biomassa do zooplâncton foram examinadas em intervalos de 3 dias, uma correlação negativa foi observada. Entretanto, quando intervalos de 6 dias foram usados, a dinâmica de nutrientes tornou-se mais importante e a correlação foi positiva. (TURNER *et al.*, 2001. p. 37)”

Ponderando todas estas limitações, a extrapolação de escalas torna-se um exercício de aproximação. Entretanto, exercício necessário para discutir a relação da funcionalidade hidrológica da precipitação-interceptação em uma área maior, como o maciço da Pedra Branca, com o seu entorno, no caso, parte da cidade do Rio de Janeiro.

Os resultados percentuais de interceptação encontrados neste trabalho estiveram próximos dos resultados encontrados em outras áreas de Floresta Atlântica, como o maciço da Tijuca no Rio de Janeiro, Cunha na Serra do Mar paulista e Floresta Estadual do Palmito no Paraná. Por outro lado, a Ilha Grande no Rio de Janeiro constitui uma exceção. O grande número de resultados semelhantes e o pequeno número de estudos divergentes, descritos mais detalhadamente no item 2.5, tornam estas áreas relativamente comparáveis entre si, e da mesma forma, áreas adjacentes não investigadas.

A floresta na sub-bacia do rio Caçambe, integrada à bacia do rio Camorim, constitui um mosaico sucessional determinante na relação hidrológica da encosta local com a planície adjacente. A planície de Jacarepaguá é frequentemente sujeita a alagamentos. Por constituir uma área plana, baixa e próxima do mar, a maré também determina os períodos de alagamento. Segundo Montezuma e Oliveira (2010), a ocupação da planície de Jacarepaguá ocorreu em áreas já anteriormente sujeitas a alagamentos. O caráter de impermeabilização do solo na ocupação antrópica em uma área vulnerável a alagamentos, os potencializou. Uma floresta preservada na bacia do rio Camorim não evitaria os alagamentos em áreas da planície adjacente, como o Rio Centro e entorno, mas ajudaria a mitigar o problema. A mitigação de alagamentos na baixada de Jacarepaguá pela preservação florestal torna-se ainda mais eficiente considerando-se todas as sub-bacias do sul do maciço da Pedra Branca, na medida em que tanto a baixada como o maciço não são unidades estanques, mas sim integradas.

A literatura aponta que, em geral, vegetação em estágios sucessionais mais avançados interceptam mais chuva do que estágios menos avançados. Para a área e período amostral deste trabalho, o estágio de sucessão mais avançado interceptou em média 25% enquanto que o estágio menos avançado interceptou apenas 6%. Neste trabalho não foi possível avaliar a interceptação pela serrapilheira mas autores como Helvey (1964), Walsh e Voigt (1977), Gerrits *et al.* (2007) e Guevara-Escobar (2007) afirmam que sua interceptação pode ser tão alta quanto a do dossel. Segundo Guariguata e Ostertag (2001), um estágio avançado de sucessão é vital para a manutenção da serrapilheira e seus horizontes. Estes dados demonstram a importância da preservação florestal na mitigação de alagamentos.

Cintra (2007) avaliou a cobertura vegetal da bacia do rio Camorim. A autora utilizou como parâmetros de classificação sucessional a Resolução CONAMA nº6, similares aos utilizados neste trabalho. A figura 5.26 e a tabela

5.11 mostram os usos do solo e estágios de sucessão na área em hectares e porcentagem para a bacia do rio Camorim.

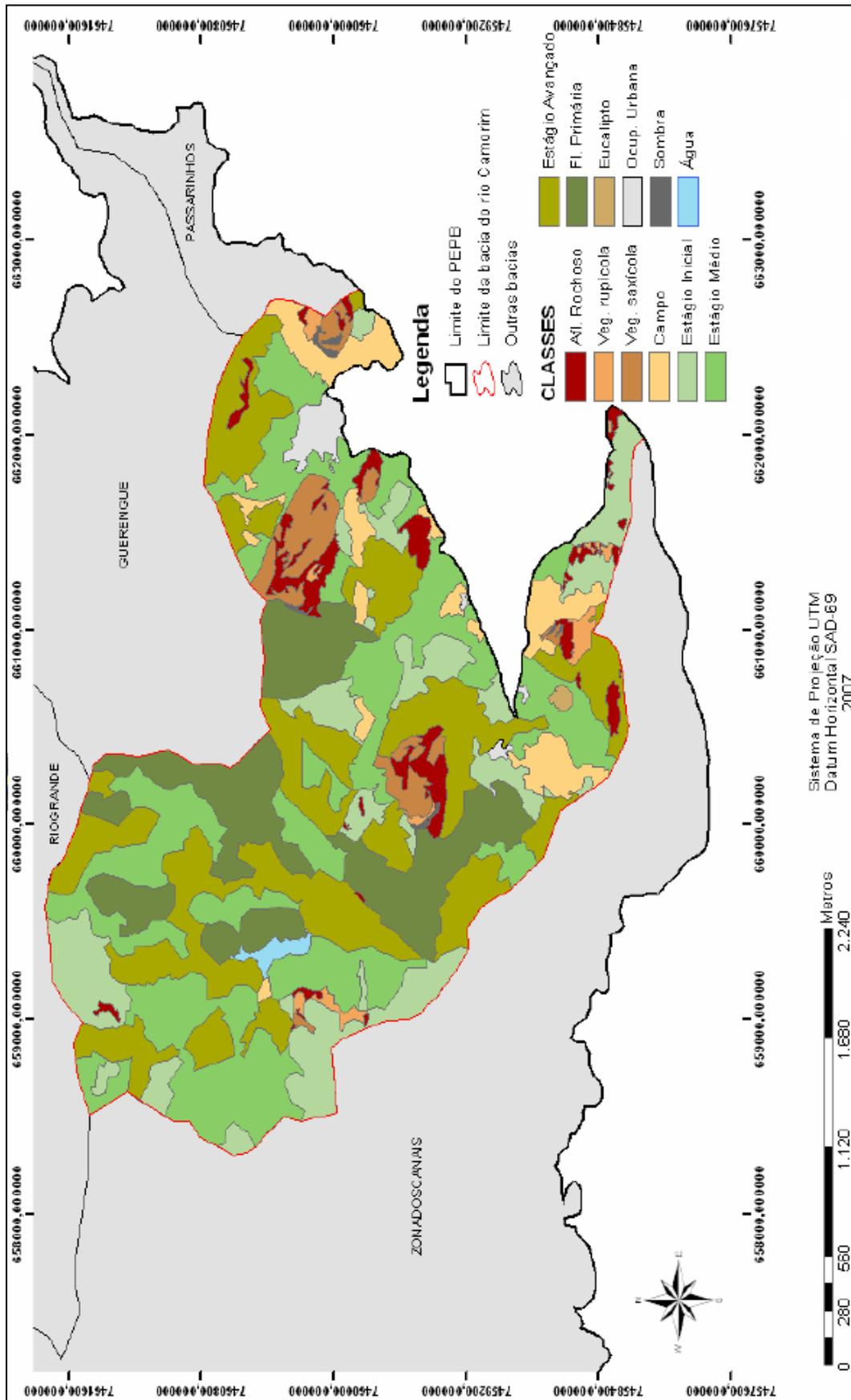


Figura 5.26. Classificação do solo e estágio sucessional da vegetação no Parque Estadual da Pedra Branca, micro-bacia hidrográfica do Camorim (Fonte: CINTRA, 2007, p.36).

Tabela 5.11. Uso do solo e estágios de sucessão na bacia do rio Camorim (fonte: Cintra, 2007, p.37)

Classes de uso do solo	Estágio inicial	Estágio médio	Estágio Avançado	Floresta Primária	Eucaliptal	Afloramento rochoso	Vegetação rupícola	Vegetação saxícola	Campo	Água	Ocupação Urbana	Sombra (ruído)	Total
Área ocupada (ha)	110	226	208	120	1,4	30,5	8,4	28,8	46,7	3,9	10	1,9	795
Área ocupada (%)	13,8	28,4	26,2	15,1	0,2	3,8	1,1	3,6	5,9	0,5	1,3	0,2	100

Segundo Guariguata e Ostertag (2001), o dossel de vegetação em estágios sucessionais avançados pode interceptar tanto quanto os maduros. Considerando ainda que nas áreas onde há campo ou ocupação humana⁴¹ não existe interceptação pelo dossel, foi elaborada a tabela 5.12, uma adaptação para a escala da bacia do rio Camorim, utilizando os dados obtidos na sub-bacia do rio Caçambe, no período amostral deste trabalho, e os resultados de Cintra (2007). A partir dos dados da tabela 5.11 optou-se por reunir os estágios avançado com o primário (maduros) e o campo com a ocupação urbana. Os valores de área em ha foram convertidos para m². A tabela 5.12 mostra a interceptação atual e a capacidade máxima na bacia do Camorim se houvesse floresta em estágio de sucessão avançada em toda a bacia.

Tabela 5.12. Capacidade de interceptação (L), interceptação atual (L) e chuva que seria interceptada (diferença) pela vegetação em estágio avançado de sucessão na bacia do rio Camorim, para a série temporal 11/2009-11/2010.

Sucessão e usos	Área ocupada (m ²)	I (%)	P ou At (mm)	Interceptação atual (L)	Capacidade de interceptação (L)	Diferença (L)	Diferença (mm)
Estágios avançado + maduro	3,28.10 ⁶	25	1771,70	1,92.10 ⁹	1,92.10 ⁹	0	0
Estágio Médio	2,26.10 ⁶	11	1930,47	9,64.10 ⁸	1,32.10 ⁹	3,59.10 ⁸	158,77
Estágio Inicial	1,10.10 ⁶	6	2058,21	3,29.10 ⁸	6,44.10 ⁸	3,15.10 ⁸	286,51
Campo + ocupação urbana	5,67.10 ⁵	0	2357,07	0	3,32.10 ⁸	3,32.10 ⁸	585,37
Total	7,21.10 ⁶	_	2357,07	3,21.10 ⁹	4,22.10 ⁹	1,01.10 ⁹	140*

* Média ponderada entre os estágios de sucessão e usos.

Apesar de o mosaico sucessional ser resultado do uso do solo, distúrbios não antrópicos fazem parte da dinâmica do sistema e certamente o maciço da Pedra Branca apresentaria diversos gradientes sucessionais avançados, ainda que em geral menos abruptos, se o único uso conferido fosse a preservação. Durante a série amostral de 1 ano deste estudo, a diferença da capacidade de interceptação no Camorim com a floresta preservada menos a interceptação atual poderia alcançar 140 mm, ou interceptação 6% a mais de toda a

⁴¹ Apesar de existirem exceções em que ocupações humanas possam interceptar chuva.

precipitação. Este valor significa uma grandeza de 9 dígitos de litros que seriam armazenados pela vegetação do Camorim e devolvidos para a atmosfera em 1 ano. Considerando que a interceptação pela serrapilheira não foi monitorada mas pode alcançar o mesmo nível da interceptação pelo dossel em florestas com estágio de sucessão avançado, estes valores de interceptação seriam 2 vezes maiores. Durante o ano de 2008 no Caçambe, Santos (2009) registrou apenas para a capacidade de retenção hídrica da serrapilheira 158 % do seu peso seco. Considerando que a retenção hídrica é apenas uma das componentes da interceptação pela serrapilheira, os valores de armazenamento de água podem ser ainda maiores no Caçambe. Este seria um quadro de potencialização ao máximo desta função ecológica com benefícios óbvios ao ser humano, como o maior armazenamento das águas e conseqüente diminuição do volume de água a convergir para a planície de Jacarepaguá, inclusive nos períodos de alagamento.

A extrapolação dos dados da área amostral na sub-bacia do rio Caçambe, com cerca de 1 ha, para a bacia do rio Camorim, com 750 ha, foi considerada neste trabalho uma aproximação admissível apesar da grande diferença de tamanho nas áreas. Respalda-se nas características: 1) a sub-bacia do rio Caçambe situa-se dentro do mesmo limite de divisores de drenagem que a bacia do rio Camorim, 2) historicamente, os mesmos usos foram conferidos a terra, 3) as três tipologias vegetais escolhidas (SI, Borda e SA) na área amostral são representativas do mosaico florestal do Camorim, 4) a literatura de interceptação vegetal em Floresta Atlântica registra resultados similares e poucas exceções.

Desde que o maciço da Pedra Branca foi ocupado, as populações residentes necessitaram dos recursos florestais para sua sobrevivência, seja com usos mais devastadores como a pecuária, seja com usos menos impactantes como a agricultura coivara. Ainda hoje existem residentes que utilizam recursos florestais como o cultivo de bananas. Não se defende aqui uma preservação em que o ser humano seja privado do acesso a estes recursos. Para utilizar os recursos florestais preservando-os, usos menos impactantes, que são cada vez menos frequentes na atualidade, como a coivara e o cultivo de bananas não devem ser substituídos por empreendimentos imobiliários ou industriais como os que têm se expandido no sul do maciço. Os resultados da tabela 5.12 demonstram a importância da interceptação vegetal no ciclo hidrológico, no que concerne sua função de armazenar e reduzir a disponibilidade da água em um sistema, sendo este um fenômeno de grande magnitude.

5.3

Nutrientes nas amostras de precipitação e fluxo de atravessamento na sub-bacia do rio Caçambe

5.3.1

Concentração de nutrientes (mg. L⁻¹) na precipitação e no fluxo de atravessamento

Os resultados de concentração média de nutrientes (mg. L⁻¹) para o período de 1 ano entre 04/11/2009 até 04/11/2010 na área amostral da sub-bacia do rio Caçambe estão descritos na tabela 5.13. Das 27 coletas de precipitação e fluxo de atravessamento realizadas, foram realizadas neste trabalho a análise dos elementos Na⁺, K⁺, Mg⁺² e Ca⁺² em 12 coletas.

Tabela 5.13. Concentração média de nutrientes (mg. L⁻¹) na precipitação (P) e no fluxo de atravessamento das tipologias secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA), incluindo desvio padrão (dp), máximo (max) e mínimo (min) e taxa de concentração (CR). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe. N=12.

	Na ⁺	dp	max	min	CR	K ⁺	dp	max	min	CR
SI	1,9	0,85	13,35	0,00	0,69	3,63	2,64	25,25	0,00	4,97
Borda	2,26	0,87	13,64	0,13	0,83	7,38	5,06	84,10	0,39	10,11
SA	2,37	0,57	20,34	0,00	0,86	13,89	7,51	119,19	0,00	19,03
P	1,53	1,58	11,08	0,00		0,73	0,75	5,02	0,00	
	Mg ⁺²	dp	max	min	CR	Ca ⁺²	dp	max	min	CR
SI	0,71	0,36	3,22	0,05	1,98	3,86	1,17	13,96	0,54	1,58
Borda	0,96	0,34	5,35	0,14	2,66	4,98	0,98	17,68	0,62	2,04
SA	1,87	0,71	13,96	0,05	5,20	6,81	2,07	45,06	0,63	2,79
P	0,36	0,18	1,41	0,04		2,44	2,07	8,64	0,11	

Verificou-se que, em geral, dosséis mais densos e mais antigos, característicos de estágios de sucessão avançados, favoreceram a captura de elementos atmosféricos, aumentando assim a disponibilidade de substâncias a serem lavadas e lixiviadas. Esta afirmação reitera a literatura (EATON *et al.*, 1973; BERTÉ, 2003; TOBÓN *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA, 2006). Por outro lado, o aumento crescente da concentração de cátions no fluxo de atravessamento no sentido do gradiente sucessional SI-Borda-SA, esteve em desacordo com as conclusões de Weathers *et al.* (2001) e Devlaeminck *et al.* (2005) em que a borda aumentou a captura de nutrientes em relação ao seu interior. Os processos envolvendo a ciclagem de nutrientes em áreas sob o efeito de borda ainda são pouco estudados e em boa parte desconhecidos.

Durante o ano de observações no Caçambe, houve o enriquecimento para Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} nas 3 tipologias vegetais durante o processo de interceptação (tabela 5.13). Taxa de concentração é a razão entre o fluxo de atravessamento e a precipitação de determinado íon, significando enriquecimento quando superior a 1. O enriquecimento superior de K^+ é amplamente reportado na literatura e no Caçambe não foi diferente. A lavagem e lixiviação deste cátion nas copas enriqueceram o fluxo de atravessamento em até 19 vezes na tipologia secundária avançada, em cálculo pela taxa de concentração (tabela 5.13). A baixa concentração de Mg^{+2} também esteve de acordo com os resultados da literatura.

Segundo o teste Spearman, as concentrações de At nas 3 tipologias para Na^+ e Ca^{+2} foram correlatas com a precipitação respectiva (Na^+ : $p_{SI}=0,882$; $p_{Borda}=0,709$; $p_{SA}=0,973$. Ca^{+2} : $p_{SI}=0,645$; $p_{Borda}=0,809$; $p_{SA}=0,700$). As relações do K^+ foram rejeitadas e para Mg^{+2} foram correspondentes as concentrações entre precipitação e fluxo de atravessamento de em SI e SA ($p_{SI}=0,882$; $p_{SA}=0,655$). As análises de R^2 apontaram correlação significativa apenas entre as concentrações iônicas de Na^+ , na precipitação e nas concentrações dos respectivos fluxos de atravessamento, para todas as 3 tipologias ($R^2_{SI}=0,98$; $R^2_{Borda}=0,95$; $R^2_{SA}=0,97$). No teste T entre as concentrações dos nutrientes em P e At, foram significantes apenas em Ca^{+2} na concentração da precipitação e do fluxo de atravessamento em SI ($p=0,099$). Pelos resultados dos testes, pode-se concluir que as concentrações de Na^+ e Ca^{+2} e Mg^{+2} em P apresentam alguma correlação com os respectivos fluxos de atravessamento, ainda que não necessariamente os determinem, como acontece em se tratando de altura pluviométrica. Esta influência de P em At presumivelmente sofre contundentes interferências, como a lavagem, a lixiviação e a absorção de nutrientes nas copas. A falta de correlação estatística entre as concentrações de K^+ pode estar relacionada aos padrões diferenciadamente altos de enriquecimento da precipitação ao tornar-se fluxo de atravessamento.

O cátion Ca^{+2} foi encontrado no Caçambe em teores bem elevados, considerando a encosta sotavento do maciço da Pedra Branca (ABREU, 2005), o maciço da Tijuca - RJ (SILVEIRA e COELHO NETTO, 1999), algumas florestas no Paraná (PROTIL, 2006) e em Cunha - SP (FORTI *et al.*, 2005) (tabela 2.3). Em São Francisco de Paula - RG (BACKES, 2007) e em Paranaguá - PR (SOUZA e MARQUES, 2010) estes teores foram apenas ligeiramente mais elevados. Por sua vez, os cátions Na^+ , K^+ , Mg^{+2} estiveram mais próximos dos valores destas outras áreas de Floresta Atlântica.

A ordem dos elementos foi na precipitação (P) $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$, na tipologia secundária inicial (SI) $\text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$, na borda $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ e na secundária avançada (SA) $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$. O íon potássio confirma as expectativas, sendo o elemento relativamente mais concentrado entre os 4 elementos no fluxo de atravessamento das tipologias borda e SA. O menor desempenho de K^+ em SI pode estar relacionado ao incipiente dossel.

Seria esperado em áreas próximas do mar uma menor concentração de Mg^{+2} e Ca^{+2} e maior concentração de Na^+ e K^+ . A concentração alta relativa de cálcio não chega a ser inédita na literatura, apesar de dificilmente constar como elemento de maior concentração. O Ca^{+2} em segundo na hierarquia dos 4 nutrientes foi reportado por Silveira e Coelho Netto (1999) que constataram ordem $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ na precipitação sob o maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. Abreu (2005) encontrou a ordem $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ (tabela 2.2) na precipitação a sotavento do maciço da Pedra Branca. No Paraná, Souza e Marques (2010) registraram a mesma ordem de concentração de Abreu (2005) e foram os únicos autores a registrar concentrações médias mais altas de Ca^{+2} em valores absolutos.

Algumas razões entre as concentrações de elementos na precipitação podem indicar proximidade do mar. Sabendo-se que a área de estudo deste trabalho é bem próxima do mar, as razões podem indicar outras contribuições, como seriam as fontes antrópicas. Esta é uma forte possibilidade no Caçambe já que a tabela 5.14 indica as razões com cálcio bem maiores do que as com outros elementos. Emissões adicionais de fontes antrópicas para Na^+ , K^+ e Mg^{+2} também não estão descartadas visto que existe alguma diferença na comparação com a razão do oceano. Sem discutir o juízo de quantidade, a contribuição antrópica seria esperada na porção sul do maciço da Pedra Branca, área onde a expansão urbana consolida a transformação intensa sobre o remanescente florestal.

Tabela 5.14. Razões entre os elementos Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} encontrados na precipitação do Caçambe comparada com os valores do oceano.

Razão	Ca/Na	Mg/Na	K/Na	Ca/Mg
Caçambe	1,282	0,235	0,478	6,778
Oceano	0,039	0,120	0,036	0,196

Se o oceano determina concentrações catiônicas estáveis, a ponto das razões serem quase constantes, uma área costeira preservada deveria provavelmente apresentar correlação estatística positiva entre as concentrações

de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} na precipitação. Desta forma, alterações na concentração dos aerossóis advindas do oceano afetariam todos de maneira relativamente homogênea durante o tempo. O aumento de contribuições adicionais de fontes antrópicas reduziria a chance de correlação positiva entre as séries temporais das concentrações de dois nutrientes, a não ser em um caso pouco provável em que emissões extras de todos os cátions em questão se combinassem em um padrão apenas matematicamente correlacionado.

Este raciocínio poderia até não se confirmar em caso de correlação positiva pois é certo que mesmo estas razões são aproximações e que os fatores que determinam as concentrações catiônicas na chuva não são tão estanques. Mesmo não consolidando uma posição sobre contribuições iônicas adicionais, esta análise pode fornecer mais um indício para a investigação. Na correlação de Spearman, apenas as concentrações de Na^+ e Mg^{+2} foram positivas entre si ($p=0,845$). Em R^2 o valor foi de 0,96 para as concentrações na precipitação dos mesmos cátions. No teste T, a hipótese foi aceita em Ca^{+2} com Na^+ ($p=0,196$), Mg^{+2} com K^+ ($p=0,227$), Mg^{+2} com Na^+ ($p=0,084$) e K^+ com Na^+ ($p=0,111$).

O resultado coincidiu com a razão de concentração Mg/Na mais próxima do valor esperado para áreas preservadas, fortalecendo uma conjectura para o Caçambe na qual Na^+ e Mg^{+2} são os elementos de menor contribuição antrópica. A análise do K^+ pode ter sido subestimada pelo limite de detecção do Laboratório de Absorção Atômica utilizado na maior parte das amostras deste trabalho ($> 0,3 \text{ mg.L}^{-1}$). Por algumas vezes o K^+ esteve abaixo deste limite e foi considerado como zero. Em contraposição, o Ca^{+2} apesar de correlato com o Na^+ no teste T, conta com uma série de indícios que presumem sua concentração aumentada por outras fontes de emissão, além do oceano: 1) concentração acima da média da literatura, 2) coloca-se como o primeiro elemento na ordem crescente de concentração da precipitação e do fluxo de atravessamento nas tipologias secundária inicial e borda, 3) as razões calculadas com sua concentração, para comparação com a razão do oceano, mostraram-se as mais elevadas.

Uma hipótese para o excesso de cálcio seria a suspensão de partículas do cimento utilizado nas construções e o aumento do fluxo de automóveis. Segundo Likens *et al.* (1998), as principais fontes antropogênicas de emissão de cálcio são a produção de cimento, a queima de combustível e a incineração de lixo sólido. Durante a quase totalidade da amostragem deste trabalho, um condomínio esteve em construção a cerca de 800 metros da área de estudo. Os condomínios residenciais na Av. Olof Palm, em frente ao Rio Centro, também se

encontram na iminência de conclusão de suas obras. Há ainda considerável presença da indústria farmacêutica, espalhada principalmente ao longo da Estrada dos Bandeirantes, sendo o exemplo mais próximo do Caçambe, a Glaxo Smith Kline situada 1 km ao sul da área amostral. Diversos outros empreendimentos nas áreas imediatamente adjacentes ao Autódromo de Jacarepaguá, que se situa a menos de 1 km do Rio Centro, foram concluídos recentemente ou estão em andamento. São exemplos: o Parque aquático Maria Lenk, o Hospital Sarah, pelo menos dois condomínios residenciais de grande porte na Av. Embaixador Abelardo Bueno e um condomínio na Av. Célia Ribeiro da Silva Mendes ocupando cerca de 180 ha. Segundo a Secretaria Municipal de Urbanismo, entre 1998 e 2005 foram licenciadas construções em 349 ha no Recreio, área de influência direta no Caçambe por ser passagem da massa polar Atlântica (MPA) e por vezes mesmo da massa tropical Atlântica (MTA). Em Jacarepaguá, área de provável influência, foram licenciados 316 ha. Este crescimento urbano tem como consequência o aumento do fluxo de automóveis, outra fonte de Ca^{+2} .

Não será possível confirmar esta hipótese aqui pois seriam necessárias, além do aumento da amostragem, análises de outros elementos, como a sílica que também participa da constituição do cimento. Também seria necessário verificar a intensidade e direção dos ventos. Estudos em florestas inseridas em contexto urbano não são frequentes e adaptações do sistema podem ser difíceis de ser reconhecidas pela falta de informações.

5.3.2

A influência da magnitude dos eventos de precipitação na concentração de nutrientes (mg. L^{-1})

A literatura reporta que a concentração dos íons presentes na água da precipitação incidente e fluxo de atravessamento tende a diminuir com o aumento do volume precipitado, em uma relação inversa de comportamentos (McDOWELL e LIKENS, 1988; PARKER, 1983). Para confirmar esta relação no Caçambe, foram selecionadas duas classes comparativas, de acordo com o volume de chuvas acumulado em cada coleta⁴². Uma das classes é composta pela média de concentração dos 4 maiores eventos (12/12/2009, 05/01/2010,

⁴² Lembrando que segundo os resultados obtidos no item 5.2, durante o período amostral, as magnitudes altas ou baixas geralmente coincidiram com o mesmo comportamento para a intensidade no Caçambe e no Rio Centro.

09/03/2010, 10/04/2010) e a outra pela média dos 4 menores eventos (12/02/2010, 16/06/2010, 26/07/2010, 18/08/2010).

A partir da tabela 5.15 é possível afirmar que a alta magnitude determina redução no teor dos cátions Na^+ , K^+ e Mg^{+2} . Converging com o esperado, para estes cátions, chuvas maiores no Caçambe possuem concentração menor, assim como chuvas menores possuem concentrações maiores. O comportamento do cálcio é exatamente o oposto, fugindo à regra. Entretanto, a capacidade dos eventos maiores concentrarem mais Ca^{+2} não explica o teor elevado deste cátion já que mesmo nos eventos menores seu valor foi elevado. Likens *et al.* (1998) observou por vezes relação inversa nos fluxos de cálcio com a quantidade de precipitação mas em regra geral não verificou um padrão significativamente dominante. As concentrações crescentes com o avanço do gradiente de sucessão se mantiveram mesmo com a variação da magnitude dos eventos.

Tabela 5.15. Concentração média de nutrientes (mg. L^{-1}) por 4 maiores eventos, 4 menores e na série amostral completa, na precipitação (P) e no fluxo de atravessamento das tipologias secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

	Na^+			K^+			Mg^{+2}			Ca^{+2}		
	4 menores	4 maiores	Série (N=12)	4 menores	4 maiores	Série (N=12)	4 menores	4 maiores	Série (N=12)	4 menores	4 maiores	Série (N=12)
SI	4,68	0,85	1,90	5,81	2,35	3,63	1,25	0,33	0,71	2,78	4,47	3,86
Borda	4,00	0,81	2,26	10,60	3,66	7,38	1,40	0,65	0,96	3,78	6,04	4,98
SA	4,65	1,06	2,37	21,48	8,77	13,89	3,26	0,92	1,87	7,70	5,88	6,81
P	4,74	0,39	1,53	1,76	0,00	0,73	0,65	0,09	0,36	1,34	2,27	2,44

As análises estatísticas de Spearman sobre a série das 12 coletas tenderam a confirmar a maioria dos comportamentos inversos da magnitude dos eventos em relação às concentrações, tanto na precipitação quanto nos fluxos de atravessamento (Na^+ : $p_{\text{Borda}} = -0,673$; $p_{\text{SA}} = -0,827$; $p_{\text{P}} = -0,609$. K^+ : $p_{\text{Borda}} = -0,691$; $p_{\text{P}} = -0,753$. Mg^{+2} : $p_{\text{SI}} = -0,800$, $p_{\text{SA}} = -0,782$; $p_{\text{P}} = -0,745$). O Ca^{+2} não apresentou qualquer correlação estatisticamente significativa, reiterando assim a afirmação de Likens *et al.* (1998). Nem o coeficiente de Pearson ao quadrado, nem o teste T, apontaram relações estatisticamente significantes.

As razões Ca/Na e Ca/Mg (tabela 5.16) sobre a precipitação indicam que eventos de maior magnitude, puderam incorporar maior concentração de cálcio de outras fontes emissoras. Os altos valores de Ca/Mg se devem à grande

concentração de cálcio, tanto nos maiores quanto nos menores eventos, além da divisão pelo baixo teor de Mg^{+2} que fez a razão aumentar. O valor de 5,888 na razão Ca/Na dos 4 maiores eventos também reflete o comportamento inverso do cálcio, ou seja, um aumento da sua concentração com aumento da magnitude de um evento. Junte-se a isso a redução na concentração do cátion sódio. Avaliando ainda as razões Mg/Na e K/Na, e considerando os valores esperados pela contribuição do oceano, assume-se um provável aumento de concentração do Ca^{+2} por outras fontes emissoras.

Tabela 5.16. Razões entre os elementos Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} , divididos por classes de 4 maiores eventos e 4 menores, encontrados na precipitação do Caçambe e comparada com os valores do oceano e da série amostral completa. Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

Razão	Ca/Na	Mg/Na	K/Na	Ca/Mg
4 menores	0,282	0,138	0,372	2,042
4 maiores	5,888	0,233	0,000	25,251
Oceano	0,039	0,120	0,036	0,196
Série	1,282	0,235	0,478	6,778

A tabela 5.17 relaciona as ordens encontradas para os teores dos cátions de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} . Algumas observações já foram relatadas anteriormente, como a alta concentração relativa de Ca^{+2} , em especial na precipitação e no fluxo de atravessamento de SI e borda durante eventos de maior magnitude. Além disso, a tabela sugere uma tipologia secundária avançada menos sensível a alterações de concentração de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} decorrentes da altura pluviométrica. Esta ocorrência pode ser um indício de manutenção dos padrões de ciclagem de nutrientes estáveis por florestas preservadas que teoricamente desempenhariam este papel com maior desenvoltura em estágios mais avançados da sucessão ecológica.

Tabela 5.17. Ordem de concentração de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} por 4 maiores eventos, 4 menores e na série amostral completa, na precipitação (P) e no fluxo de atravessamento das tipologias secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

	P	SI	Borda	SA
4 menores	$Na^+ > K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	$K^+ > Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	$K^+ > Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	$K^+ > Ca^{+2} > Na^+ > Mg^{+2}$
4 maiores	$Ca^{+2} > Na^+ > Mg^{+2} > K^+$	$Ca^{+2} > K^+ > Na^+ > Mg^{+2}$	$Ca^{+2} > K^+ > Na^+ > Mg^{+2}$	$K^+ > Ca^{+2} > Na^+ > Mg^{+2}$
Série	$Ca^{+2} > Na^+ > K^+ > Mg^{+2}$	$Ca^{+2} > K^+ > Na^+ > Mg^{+2}$	$K^+ > Ca^{+2} > Na^+ > Mg^{+2}$	$K^+ > Ca^{+2} > Na^+ > Mg^{+2}$

Também, teoricamente, existiria correlação entre a concentração de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} ou Ca^{+2} com os eventos precedidos de longos períodos de estiagem.

Segundo Lima (1979), a concentração destes cátions no fluxo de atravessamento aumentaria com o número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento. Entretanto, tal padrão não foi claramente constatado. Para esta comparação, os dados de dias consecutivos sem chuva utilizados foram retirados da estação Rio Centro. A figura 5.27 demonstra a checagem feita para o elemento Ca^{+2} . A comparação também se realizou com os outros três elementos que da mesma forma não se correlacionaram. Na avaliação do número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento com as concentrações dos 4 cátions, nenhum valor de Spearman ou R^2 foram estatisticamente significativos. Pelo teste T, a hipótese foi aceita no fluxo de atravessamento do Ca^{+2} ($p_{SI}=0,057$; $p_{Borda}=0,122$; $p_{SA}=0,819$) e na borda e SA do K^+ ($p_{Borda}=0,558$; $p_{SA}=0,066$). Deve-se reconhecer que o baixo valor de N pode ter influenciado este resultado.

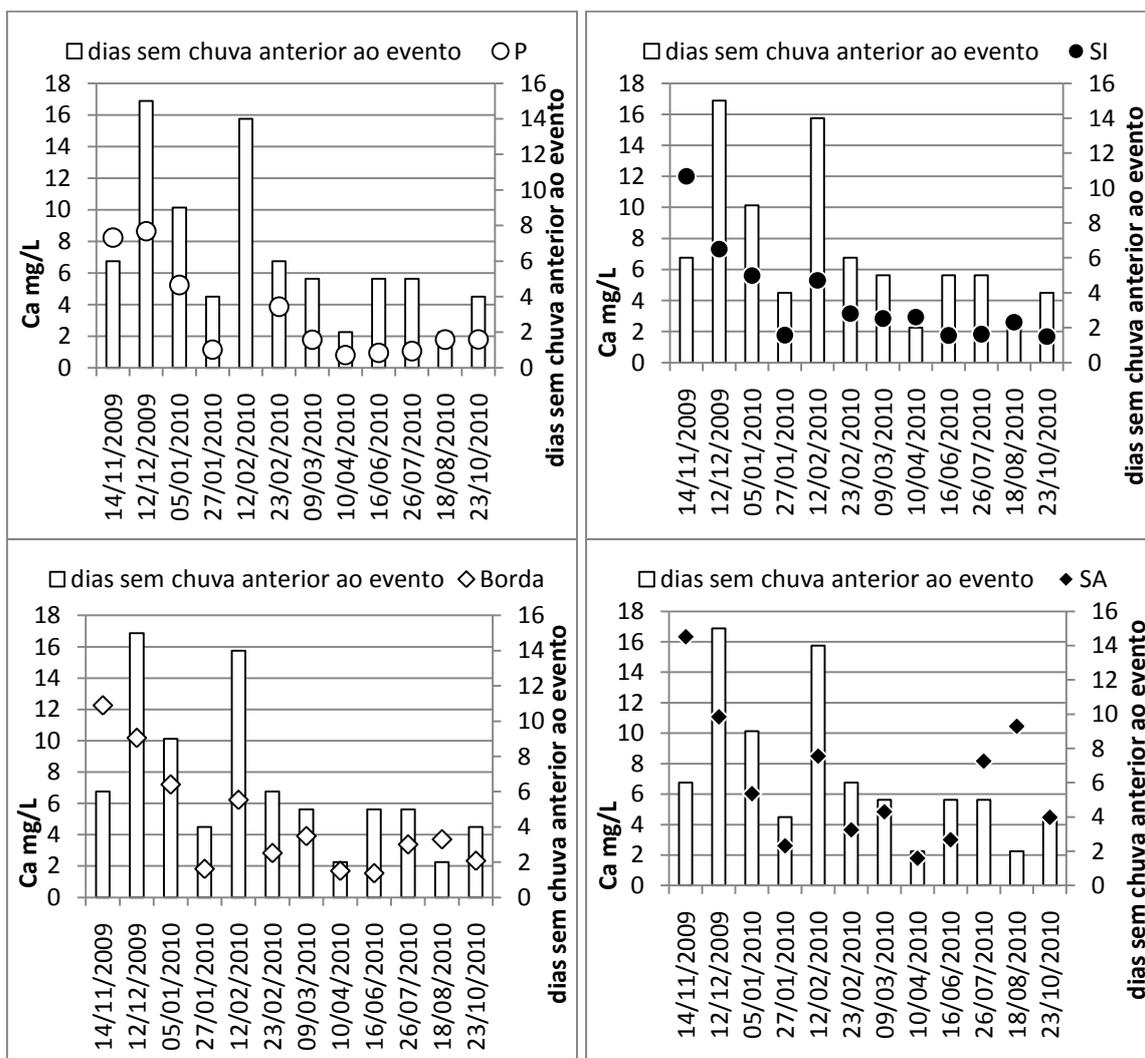


Figura 5.27. Comparação entre dias sem chuva consecutivos anteriores a um evento de chuva com a concentração de Ca^{+2} na chuva e no fluxo de atravessamento de 3 tipologias.

5.3.3

Fluxos de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) na precipitação e no fluxo de atravessamento

A estimativa dos fluxos médios de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) almeja determinar o volume bruto de entrada de cátions presente na precipitação e no fluxo de atravessamento. Os resultados para os fluxos médios de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) e fluxos médios ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{evento}^{-1}$) para os 4 maiores e 4 menores eventos estão descritos na tabela 5.18. Com relação aos registros referentes à Floresta Atlântica, os resultados encontrados não se assemelharam muito. Considerando que o ano amostral foi extremamente chuvoso, com precipitação incidente de 2357,07 mm, não surpreendem os valores superiores dos fluxos encontrados aqui. Além disso, as ordem decrescentes dos fluxos $\text{Ca}^{+2} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ na precipitação, $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ na tipologia secundária inicial, $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ na borda e $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ na tipologia secundária avançada não se repetiram em nenhum dos autores consultados a respeito da Floresta Atlântica.

Tabela 5.18. Estimativa anual de fluxos médios de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) e fluxos médios ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{evento}^{-1}$) para os 4 maiores e 4 menores eventos, na precipitação (P) e no fluxo de atravessamento das tipologias secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

	Anual ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{1}\cdot\text{ano}\cdot\text{1}$)				4 menores ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{1}\cdot\text{evento}\cdot\text{1}$)				4 maiores ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{1}\cdot\text{evento}\cdot\text{1}$)			
	Na+	K+	Mg+2	Ca+2	Na+	K+	Mg+2	Ca+2	Na+	K+	Mg+2	Ca+2
SI	31,39	74,65	14,67	79,39	0,80	0,81	0,63	0,39	1,66	4,17	0,63	9,90
Borda	34,28	142,5	18,48	96,12	0,59	1,45	1,06	0,52	1,37	6,05	1,06	10,34
SA	30,51	246,2	33,09	120,6	0,49	2,21	1,37	0,72	1,73	12,41	1,37	10,37
P	15,32	17,21	8,469	57,49	0,87	0,35	0,23	0,23	0,99	0,00	0,23	5,54

O estudo de Cintra (2004) no maciço da Pedra Branca foi o único com alguns aspectos semelhantes. A autora também havia registrado altos valores em relação a outras áreas de Floresta Atlântica (tabela 2.3, item 2.5), aproximando-se dos valores detalhados na tabela 5.17, apesar do inferior total pluviométrico anual de 1708 mm. O K^{+} também foi enriquecido no fluxo de atravessamento adicionando 2 centenas de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ às poucas dezenas das entradas atmosféricas. Os valores de Mg^{+2} foram apenas ligeiramente superiores aqui. Os fluxos de Na^{+} são apresentados valores tão próximos mas o Ca^{+2} foi a grande exceção. Como era de se esperar, as concentrações acima do esperado, em especial nos eventos de maior magnitude, produziram fluxos bem elevados e

sem registro na literatura consultada. O mais alto fluxo de cálcio foi descrito por Cavalier *et al.* (1997) em uma floresta tropical bem preservada no Panamá, com fluxo de Ca^{+2} na precipitação de $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e no fluxo de atravessamento de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (anexo 4).

Assim como nas concentrações, os fluxos de Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} na precipitação apresentam alguma influência sobre os respectivos fluxos de atravessamento, ainda que não necessariamente os determinem. Pelas análises estatísticas de Spearman, não foi correlata apenas a relação dos fluxos de K^+ na precipitação e nos respectivos fluxos de atravessamento das três tipologias. Foram correlatos todos os fluxos Na^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} de P com At (Na^+ : $p_{\text{SI}}=0,891$; $p_{\text{Borda}}=0,700$; $p_{\text{SA}}=0,791$. Mg^{+2} : $p_{\text{SI}}=0,909$; $p_{\text{Borda}}=0,782$; $p_{\text{SA}}=0,736$. Ca^{+2} : $p_{\text{SI}}=0,973$; $p_{\text{Borda}}=0,991$; $p_{\text{SA}}=0,964$). Aplicando R^2 não houve significância entre os fluxos de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} em P e nos respectivos At, considerando as 3 tipologias ($R^2 < 0,95$). Segundo o teste T, para o cátion Na^+ , é possível a hipótese dos fluxos de precipitação influenciarem as entradas de nutrientes nos fluxos de atravessamento de Borda ($p=0,364$) e de SA ($p=0,101$). O cátion Ca^{+2} foi estatisticamente significativo nos fluxos da precipitação com os At das 3 tipologias ($p_{\text{SI}}=0,647$; $p_{\text{Borda}}=0,777$; $p_{\text{SA}}=0,284$).

O comportamento dos fluxos frente aos diferentes estágios de sucessão reagiu positivamente ao gradiente de estruturas mais densas e antigas com maior enriquecimento de K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} no fracionamento da precipitação. Por outro lado, a conduta de Na^+ foi ligeiramente diferente com ordem crescente de fluxo em SA-SI-Borda.

O volume de chuvas determinou o fluxo de deposição de elementos em uma correlação positiva (PARKER, 1983; LOVETT *et al.*, 2000; SCHEER, 2009). Enquanto a média dos 4 maiores eventos foi sempre superior à estimativa de fluxos anual, a média dos 4 menores eventos foi sempre inferior (tabela 5.18). Em outras palavras, os fluxos produzidos pelo volume alto com concentração baixa superaram o aporte de fluxos de altura pluviométrica baixa com concentração alta. Estas afirmações se confirmam nos valores de Spearman que correlacionaram os fluxos da precipitação de K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} com seus fluxos de atravessamento em todas as tipologias (K^+ : $p_{\text{SI}}=0,718$, $p_{\text{Borda}}=0,718$; $p_{\text{SA}}=0,745$; $p_{\text{P}}=-0,639$. Mg^{+2} : $p_{\text{SI}}=0,764$, $p_{\text{Borda}}=0,773$; $p_{\text{SA}}=0,855$; $p_{\text{P}}=0,627$. Ca^{+2} : $p_{\text{SI}}=0,873$, $p_{\text{Borda}}=0,845$; $p_{\text{SA}}=0,845$; $p_{\text{P}}=0,827$). A única exceção negativa é a correlação entre os fluxos de K^+ na precipitação e volume em mm. Os fluxos de Na^+ não apresentaram correlação estatística com a magnitude dos eventos no período amostral.

Prosseguindo com a avaliação dos fluxos, a taxa de enriquecimento indica o balanço de nutrientes do sistema através da razão entre as entradas do fluxo de atravessamento sobre o fluxo da precipitação. A taxa de enriquecimento do K^+ foi a maior alcançando um valor 14 vezes maior na tipologia secundária avançada (tabela 5.19). Assim como nas concentrações, K^+ frequentemente é o elemento mais enriquecido. O grande volume dos fluxos de Ca^{+2} não significou um enriquecimento nos moldes de K^+ . A taxa de enriquecimento de Ca^{+2} acompanhou Mg^{+2} , indicando que o sistema pode trabalhar com este excesso do nutriente na mesma proporção de ciclagem que ocorreria caso os níveis estivessem dentro do esperado.

Tabela 5.19. Valores de fluxo de atravessamento líquido (AtL) e taxa de enriquecimento, na precipitação (P) e no fluxo de atravessamento das tipologias secundária inicial (SI), Borda e secundária avançada (SA). Período de 04/11/2009 até 04/11/2010 no Caçambe.

	AtL (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)				Taxa de enriquecimento			
	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
SI	16,08	57,44	6,20	21,90	2,05	4,34	1,73	1,38
Borda	18,97	125,26	10,01	38,63	2,24	8,28	2,18	1,67
SA	15,19	228,95	24,62	63,11	1,99	14,30	3,91	2,10

O “fluxo de atravessamento líquido”(AtL) constitui outra forma de descrever o balanço da ciclagem dos nutrientes. Para obtê-lo, aplica-se a equação “lixiviação + lavagem – precipitação” ou “Pi – P” (POTTER *et al.*, 1991; ABOAL *et al.*, 2002). A tabela 5.19 contém os fluxos de atravessamento líquido dos cátions Na⁺, K⁺, Mg⁺² ou Ca⁺² na precipitação e no fluxo de atravessamento das tipologias SI, borda e SA. A partir do cálculo de AtL torna-se possível aplicar o modelo de balanço do dossel ou “canopy budget model” (ULRICH, 1983; DE SCHRIJVE *et al.*, 2004 e PAJUSTE *et al.*, 2006), cujos resultados encontram-se na tabela 5.20.

O fluxo de atravessamento líquido também é igual à deposição seca mais a lixiviação. Até aqui, não havia sido discriminada a deposição de nutrientes úmida em separado da seca, já que os coletores as captam em conjunto. Os dois tipos de deposição constituem a fonte de nutrientes que serão incorporadas no fluxo de atravessamento pela lavagem. O modelo considera como característica de Na⁺, praticamente não ser transportado por lixiviação vegetal ou absorção foliar, sendo um macronutriente para a maioria dos vegetais (PAJUSTE *et al.*, 2006). Portanto, para este cátion, AtL é igual à deposição seca já que não ocorreria a lixiviação nem a absorção. A tabela 5.19 demonstra o

papel da vegetação no enriquecimento do K^+ pela lixiviação. O modelo mostra também que a manutenção da taxa de enriquecimento do Ca^{+2} em níveis menores, ocorre graças à absorção de quantidades significantes deste nutriente.

Tabela 5.20. Valores para as entradas ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) de fluxo de atravessamento (At) e as contribuições dos fluxos iônicos da precipitação (P), da deposição seca e da lixiviação (+) ou da absorção (-) no Caçambe.

		Fluxo P	Deposição seca	lixiviação/Absorção	Fluxo At
SI	K^+	17,21	18,06	39,37	74,65
	Mg^{+2}	8,47	8,89	-2,69	14,67
	Ca^{+2}	57,49	60,33	-38,43	79,39
Borda	K^+	17,21	21,31	103,95	142,47
	Mg^{+2}	8,47	10,49	-0,47	18,48
	Ca^{+2}	57,49	71,18	-32,55	96,12
SA	K^+	17,21	17,07	211,88	246,16
	Mg^{+2}	8,47	8,40	16,22	33,09
	Ca^{+2}	57,49	57,01	6,11	120,61

Algumas ressalvas sobre os limites deste modelo precisam ser consideradas. O fato de Na^+ ser um íon conservativo, não capturado pelo dossel, somado a longos períodos de exposição do coletor na amostragem podem produzir AtL negativo ou At muito próximo de P (PAJUSTE *et al.*, 2006). Como a estimativa dos outros cátions é baseada em Na^+ , a deposição seca pode ser superestimada, modificando conseqüentemente os valores da lixiviação. Alguma superestimação da deposição parece ocorrer neste caso. Este modelo é amplamente utilizado mas sua acurácia aumenta com séries temporais de dois ou três anos. Alguma superestimação da deposição parece ocorrer neste caso. Mesmo que séries temporais mais curtas não garantam a determinação quantitativa de todos os componentes da deposição total, sua aplicação é uma ferramenta de avaliação bastante útil para interpretações gerais a respeito do balanço dos fluxos dos nutrientes.