

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**INTERAÇÕES ÁGUA-BIOMASSA-SOLO ASSOCIADAS À MIGRAÇÃO
E RETENÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO, MACIÇO DA
TIJUCA (RJ).**

FELIPE SOTER DE MARIZ E MIRANDA



ORIENTADOR: Dr. ANDRÉ DE SOUZA AVELAR

TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA E AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM CIÊNCIAS.

RIO DE JANEIRO

AGOSTO/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**INTERAÇÕES ÁGUA-BIOMASSA-SOLO EM DIFERENTES
COMPARTIMENTOS HIDROLÓGICOS DE ENCOSTAS FLORESTAIS
ASSOCIADAS À MIGRAÇÃO E RETENÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO
DISSOLVIDO, MACIÇO DA TIJUCA (RJ).**

Aprovada em ___/___/___ pela banca examinadora:

(André de Souza Avelar - IGEO/UFRJ)

(José Antônio Teixeira Guerra - IGEO/UFRJ)

(Maria Naíse de Oliveira Peixoto - IGEO/UFRJ)

(André Batista de Negreiros - UFSJD)

(Achilles D'Avila Chirol - UERJ)

AGOSTO/2017

MIRANDA, FELIPE SOTER DE MARIZ E.

Interações água-biomassa-solo associadas à migração e retenção de carbono orgânico dissolvido, Maciço da Tijuca (RJ).

Rio de Janeiro, 2017

156p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ.

Tese submetida à banca examinadora e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRJ como requisito para obtenção do título de Doutor em ciências.

- 1- Carbono orgânico dissolvido
- 2- Dinâmica da matéria orgânica
- 3- Geoecologia

“A lua pairou no céu, mas sem seus encantos quebrou-se a magia”

Em memória de Leandro Monteiro,
o eterno Rasta, o guerreiro.
Sempre vivo no Artur e no Dimas.

AGRADECIMENTOS

À minha fonte de inspiração, minha força, meu teto e meu chão, Flora Brasil M. Soter.

Ao meu pai Carlos Miranda, que já cumpriu seu ciclo de vida, e que fez todos os esforços possíveis para eu seguir o caminho que escolhi, e à minha mãe Eunice Miranda, que ainda o faz.

Ao meu companheiro Evaristo de Castro Jr., que seguiu seu caminho de reciclagem, e que é o responsável por eu existir enquanto pesquisador, ou aspirante à.

À Ana Brasil, companheira na missão Flora e na vida.

Ao meu orientador André Avelar, por me indicar sempre o caminho a seguir.

Ao meu irmão Leandro Miranda, pelo apoio e conhecimento dos quais pude usufruir.

Ao meu irmão Gustavo Miranda, e à sua família.

Ao professor Vinícius Farjalla, do Laboratório de Limnologia da UFRJ e a toda a sua equipe, especialmente ao Mário e à Clarisse.

Aos professores, Achilles Chirol, Rita Montezúma e Manoel Fernandes, pela orientações dadas na qualificação.

Ao meu parceiro incansável de campos Gil Gabriel, sem o qual este pesquisa não seria possível.

Ao amigo de longa data e colega de pesquisa Marcelo Vicente.

A toda a equipe do LIEG-UFRJ.

À professora Ana Luiza Coelho Netto, pelo apoio que sempre deu.

Aos amigos André Felix, Fábio Cortez e Bernardo Vargas, sempre dando uma força nos campos e em quaisquer outras circunstâncias.

Aos meus alunos da UFRRJ, que toparam o desavio da estrutura da vegetação.

À Ines Maria e ao seu respectivo Manoel.

À todos do Centro Acadêmico de Geografia e do Diretório Acadêmico de Geologia.

Certo de que esqueci inúmeras pessoa importantes, peço desculpas e

Obrigado!

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a dinâmica do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) na água da chuva, à medida que esta percola diferentes compartimentos do ambiente florestal, indicando a influência de fatores ambientais e características dos eventos de chuva nesta dinâmica. A área escolhida para este estudo foi a Floresta da Tijuca, mais precisamente na encosta sul do Morro do Archer, pertencente ao PARNA-Tijuca. Uma análise ambiental, baseada na estrutura da vegetação, na dinâmica de atravessamento da chuva e no aporte e estocagem de detritos orgânicos sobre o solo, foi realizada para fundamentar a discussão. Foram coletadas amostras de água da precipitação inicial (P_I), dos fluxos de atravessamento (P_A), dos fluxos atravessados pela serrapilheira (P_S), da solução do solo em três profundidades (25, 50 e 100 cm) e na água do canal de drenagem (Rio do Archer) para as análises da concentração de COD. Tais coletas foram realizadas em quatro diferentes posições na encosta: divisor de drenagem (DV); alta encosta (AE); baixa encosta (BE); e fundo de vale (FV). Ao todo, foram coletadas amostras de 06 (seis) eventos de chuva, entre Maio de 2016 e Março de 2017. A concentração média de COD na precipitação inicial foi $5,27 (\pm 5,2) \text{ mg.L}^{-1}$, valor esse que reflete o caráter urbano da matriz na qual o fragmento está inserido. Ao atravessar o dossel florestal, a água da chuva enriquece-se de COD pela lavagem da superfície das folhas, e a concentração média neste compartimento foi de $13,29 (\pm 11,31) \text{ mg.L}^{-1}$, e não houve diferença significativa entre as parcelas. Os resultados sugerem um controle local com grande heterogeneidade intraparcela, tanto do volume de atravessamento (mm) como da concentração de COD. Uma relação inversa entre as concentrações e a intensidade de precipitação indicou algum efeito de diluição. O volume de precipitação acumulado nos 15 (quinze) dias antecedentes foi a variável que apresentou melhor ajuste, como contexto de umidade antecedente, inversamente proporcional às variações de concentração entre os eventos, como efeito da pré-lavagem. A serrapilheira é a principal fonte de COD ao solo. Após percolar este compartimento, a concentração média foi de $44,16 (\pm 16,51) \text{ mg.L}^{-1}$ e sua variação entre os eventos aparentou independência em relação às características dos eventos de precipitação e à umidade antecedente. A heterogeneidade da dinâmica de decomposição da serrapilheira parece influenciar as concentrações de COD em P_S ao longo da encosta, que foi significativamente menor no fundo de vale, onde a decomposição é mais rápida e os estoques mais delgados. As maiores concentrações foram observadas nas

duas parcelas de (meia) encosta como provável reflexo de um equilíbrio, entre mineralização e acúmulo, mais propício à lixiviação de COD, uma vez que os maiores estoques (menor taxa de decomposição) do divisor de drenagem não se refletiram em maiores concentrações. No horizonte mineral do solo, foi observada tendência de redução das concentrações à medida que a profundidade aumenta. Tal redução parece um pouco menos intensa do que observado em outros estudos, provavelmente, em função das baixas concentrações de argila nos solos em foco. Adicionalmente, alguns comportamentos diferenciados também foram observados. Com o aumento da intensidade e/ou do volume total precipitado, foi observado aumento da concentração em 50 cm se comparado ao encontrado na P_s, apenas na parcela DV. Tal resultado foi relacionado ao maior conteúdo de MO incorporada ao solo nesta parcela, em associação ao aumento da capacidade de eluição da água. Isto indica que em eventos de maior intensidade ou volume total precipitado, o subhorizonte mais superficial do solo possa funcionar como fonte de COD, ao invés de como um ambiente de sorção. No fundo de vale, um provável acúmulo de MO soterrada pela formação de depósitos coluviais deve explicar o aumento da concentração de COD na solução do solo em 100 cm de profundidade, em comparação ao encontrado em 50 cm. No canal de drenagem, foram observadas concentrações ($1,89 \pm 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) inferiores às observadas na precipitação inicial, com pouca variação entre os eventos quando o fluxo retorna à condição de base. Isto indica que o solo é capaz de reter com eficiência do carbono orgânico originado pela produção primária, garantindo baixas concentrações e relativa estabilidade temporal destas no ambiente de riacho.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the dissolved organic carbon (DOC) dynamics on the rain precipitation, as it percolates different compartments of the forest environment, showing the influence of environmental factors and its characteristics of the rain events in such dynamics. The chosen area for the present study was the Tijuca forest, more precisely the Archer South hillside, belonging to the Tijuca national park. The discussion was established on the environmental analysis based on the vegetation structure, throughfall dynamics and in the litterfall and above-ground cumulation of the organic debris. Water samples from the initial precipitation (P_I), throughfall (P_A), litter percolates, soil solutions from three different depths (25, 50 e 100 cm) as well as stream water were collected (Archer River) and analyzed for their DOC concentration. This sampling was done in four different hillside positions: Summit (DV), upper slope (AE), lower slope (BE) and valley bottom (FV). Six events were collected between May 2016 and March 2017. The average DOC concentration in the initial precipitate was $5,27 (\pm 5,2) \text{ mg.L}^{-1}$, this high value reflects the matrix urban character in which it is inserted in. As it percolates the forest canopy, the rain water enriches in its DOC concentration due to the leaching of the leaves surface. The DOC concentration in this compartment was $13,29 (\pm 11,31) \text{ mg.L}^{-1}$. No significant differences were observed between the samples from the four different hillside positions analyzed. The results suggest a local control, with high heterogeneity inside each different hillside position, of the throughfall volume (mm) as well as the DOC concentration. An inverse relationship between the concentration and intensity of the precipitation indicates some dilution effect. The prior precipitation volume of 15 days was the variable that presented, as prior humidity context, an inverse relationship, to the variation of the concentration between events, as pre-wash effect. The litter stock is the major source of DOC in the soil. Litter percolated presented an average DOC concentration of $44,16 (\pm 16,51) \text{ mg.L}^{-1}$, and its variation between events was independent of the precipitations and prior humidity. The dynamics of litter decomposition seem to influence the DOC concentrations in P_S along the hillside, which was significantly lower in the hillvalley, where the decomposition is faster and the litter stocks thinner. The biggest DOC concentrations were observed in two hillside positions (AE e BE) as a reflex of a suitable balance, between mineralization and accumulation, to the DOC leaching, once the biggest stocks from the DV position did not reflect in bigger concentration. Within the

mineral horizon, a decrease in the concentrations was observed as depth increases. Such decrease seems less intense than the ones observed in other studies, probably as a function of the low concentrations of clay in the studied soil. Additionally, different behaviour was also observed. With the increase in the intensity and/or precipitation volume, an increase in the concentration at 50m was observed, compared to the ones found at Ps, only at DV position. A probable accumulation of the buried organic matter by the formation of colluvial deposits, may explain the DOC increase at the 100 cm depth soil solution, compared to the 50 cm, at FV. At the stream, lower concentrations ($1,89 \pm 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) were observed than the ones from the initial precipitation, with low variation between events, when the flow returns to the base condition. It may indicate that the soil is able to efficiently retain organic carbon from the primary production, which guarantees low concentrations and relative temporal stability of these stream environment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	6
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 O CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (COD)	8
2.2 MIGRAÇÃO DO COD	10
2.3 ADSORÇÃO DO COD AO SOLO	17
2.4 EXPORTAÇÃO VIA CANAL	20
3 ÁREA DE ESTUDOS	25
3.1 O MACIÇO DA TIJUCA	25
3.2 A FLORESTA DA TIJUCA	28
3.3 ÁREA LABORATÓRIO	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 DESENHO AMOSTRAL	38
4.1.1 <i>Espacialidade das coletas</i>	38
4.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO	43
4.3 ANÁLISES PLUVIOMÉTRICAS	46
4.3.1 <i>Precipitação Inicial (P_i)</i>	47
4.3.2 <i>Fluxo de Atravessamento (P_A)</i>	48
4.4 DINÂMICA DE SERRAPILHEIRA	48
4.4.1 <i>Produção de serrapilheira</i>	49
4.4.2 <i>Estoque de serrapilheira</i>	51
4.4.3 <i>Constante de decomposição</i>	52
4.5 ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES DE DOC	53
4.5.1 <i>Precipitação inicial (P_i)</i>	53
4.5.2 <i>Fluxo de Atravessamento (P_A e L_C)</i>	53
4.5.3 <i>Fluxo atravessado pela serrapilheira (P_S e L_S)</i>	54
4.5.5 <i>Horizonte mineral</i>	57
4.5.6 <i>Análise química - concentração de COD nas amostras de água</i>	58
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 ANÁLISE AMBIENTAL	61
5.1.1 <i>Estrutura da vegetação</i>	61

5.1.2 Fluxo de atravessamento.....	67
5.1.3 Produção de serrapilheira.....	74
5.1.4 Estoque de serrapilheira	86
5.2 CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO	95
5.2.1 COD na precipitação.....	95
5.2.2 COD no fluxo de atravessamento (P_A) e lavagem das copas (L_C).....	100
5.2.3 COD no fluxo atravessado pela serrapilheira (P_S) e na lavagem da serrapilheira (L_S).....	110
5.2.4 COD na solução do solo (SS)	125
5.2.5 Concentração de COD no canal de drenagem	134
6 CONCLUSÕES	140
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização do maciço da Tijuca, inserido no Município do Rio de Janeiro, RJ.	26
Figura 2: Perfil Geológico do Maciço da Tijuca. Retirado de Fernades (2005), modificado de PIRES et al, 1989	27
Figura 3: Subsistemas hidrográficos do Maciço da Tijuca.	27
Figura 4: Área protegida pelo PARNA-Tijuca e seus setores.....	29
Figura 5: Localização da Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira.	32
Figura 6: Modelo Digital do Terreno do Alto Curso da Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira e localização da encosta sul do Morro do Archer.	33
Figura 7: Frequência das chuvas em classes de precipitação entre janeiro de 2010 a abril de 2011 na Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira. Retirado de Negreiros (2011).	33
Figura 8: Perfil pedogenético (a) e diagrama de fluxo hidrológico (b) na Bacia do Archer.	35
Figura 9: Massa e contribuição percentual dos diferentes tecidos no estoque de serapilheira em função da posição topográfica e declividade (MIRANDA, 2013).	36
Figura 10: Encosta sul do Morro do Archer e a localização das parcelas: Divisor de Drenagem (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV).	39
Figura 11: Esquema da distribuição espacial dos cinco setores para instalação dos instrumentos dentro de cada parcela.....	40
Figura 12: Exemplo da distribuição dos coletores na Baixa Encosta (BE).....	41
Figura 13: Pluviômetro em área aberta no Barracão PARNA-Tijuca.....	42
Figura 14: Trabalho de levantamento da estrutura da vegetação.	45
Figura 15: Pluviômetro artesanal de PVC e sua manufatura.	46
Figura 16: Pluviômetro posicionado na parcela com o uso de estaca de madeira.	49
Figura 17: Exemplo do coletor de produção de serapilheira.....	50
Figura 18: Quadrado de madeira para a coleta do estoque de serapilheira sobre o solo.	52

Figura 19: Coletor de precipitação atravessada pela serrapilheira (PS).....	55
Figura 20: Pequena trincheira cavada para a instalação dos coletores de Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (PS).....	55
Figura 21: Coletores de precipitação atravessada pela serrapilheira (Ps) instalado em campo, conectados aos recipientes de armazenamento.....	56
Figura 22: Contribuição percentual e distribuição do número de indivíduos de cada classe de DAP nas parcelas.	63
Figura 23: Distribuição do número de indivíduos em cada parcela em função das classes de DAP.	63
Figura 24: Distribuição do número de indivíduos de cada classe de altura nas parcelas.....	65
Figura 25: Dispersão dos dados da altura dos indivíduos em relação aos seus respectivos DAP's, em cada parcela: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Coeficiente de determinação (R ²) para curva de regressão logarítmica.....	67
Figura 26: Precipitação diária de Abril (01) de 2016 até Março (31). Destaque em vermelho para os 06 (seis) eventos coletados.....	69
Figura 27: Percentuais de atravessamento da chuva em cada evento da coleção. Eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn a posteriori (p<0,05).....	69
Figura 28: Análise de dependência (regressão) do percentual atravessado em relação: à precipitação acumulada nos 15 (quinze) dias precedentes (a); ao número de dias de estiagem antecedente (b); e ao total precipitado no evento.....	70
Figura 29: Volume de precipitação atravessada e da precipitação inicial em cada parcela, para cada evento, e valor p para o teste Kruskal-Wallis de variância.....	71
Figura 30: Análise de dependência do volume de precipitação interceptado em relação ao volume da precipitação inicial e ao número de dias de estiagem antecedente. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R ²).....	72
Figura 31: Análise de dependência do volume interceptado em cada parcela, em relação ao volume da precipitação inicial. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R ²).....	73
Figura 32: Análise de dependência do volume interceptado em cada parcela, em relação ao número de dias de estiagem. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R ²).....	73
Figura 33: Médias e desvios padrão de cada parcela para a precipitação atravessada: em milímetros de chuva (mm); e em valores percentuais em relação ao total precipitado (%).	74

Figura 34: Acumulado mensal de aporte de serrapilheira ao longo de 01 (um) ano (Fevereiro de 2016 – Janeiro de 2017). Grupos estatisticamente variante pelo teste Dunn (a posteriori) a partir de $p < 0,05$.	75
Figura 35: Acumulado mensal no aporte de serrapilheira e de precipitação, em cada parcela, ao longo de um ano (Fev. 2016 até Jan. 2017). Média entre as parcelas.	76
Figura 36: Acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido.	77
Figura 37: Médias e desvios padrão do acumulado mensal de aporte de serrapilheira ao longo do ano, para cada parcela. Grupos estatisticamente variantes entre os diferentes meses, pelo teste Dunn (posteriori – significancia para $p < 0,05$).	78
Figura 38: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm) no Divisor de drenagem (DV). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.	80
Figura 39: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm) na Alta Encosta (AE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.	81
Figura 40: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm) na Baixa Encosta (BE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.	82
Figura 41: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm) na Alta Encosta (AE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.	83
Figura 42: Média e desvios padrão do aporte de detritos orgânicos para o solo nas diferentes parcelas. Valor p para o teste Kruskal-Wallis de variância.	85
Figura 43: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo ($< 4,0$ mm). valores p para o teste de variância Kruskal-Wallis e tecidos variantes entre as parcelas pelo teste Dunn (a posteriori $p < 0,05$).	86
Figura 44: Variação sazonal no estoque de serrapilheira. Valor p do efeito do tratamento replicado.	87

Figura 45: Variação sazonal no acúmulo das diferentes camadas estruturais: folhas íntegras (L); fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Valores médios para a encosta laboratório e análise de variância (teste de efeito do tratamento) para cada camada.....	87
Figura 46: Variação sazonal no estoque de serrapilheira em cada parcela.	88
Figura 47: Variação sazonal em cada camada da serrapilheira: folhas íntegras (L); fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Teste de variância Kruskal-Wallis em cada parcela.....	89
Figura 48: Estoque de serrapilheira nas diferentes parcelas, com indicação das camadas: folhas íntegras (L) ; fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Valor p Blocos – e grupos variantes ao teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).....	91
Figura 49: Localização dos sítios amostrais: DV (presente estudo) e Área Controle de Montezuma (2005). Adaptado da obra citada.....	91
Figura 50: Estoques dos diferentes componentes da serrapilheira em cada parcela. Valores p para o teste Kruskal-Wallis, e parcelas variantes para cada componente pelo teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).....	94
Figura 51: Regressões lineares entre o COD na precipitação inicial (P_I) e possíveis variáveis controle: total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Coeficiente de determinação (R^2).	98
Figura 52: Média e desvio padrão das concentrações de COD em P_A na encosta laboratório nos diferentes eventos (EVs). Valor p para o teste Kruskal-Wallis e eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).....	102
Figura 53: Regressões lineares entre o COD na precipitação atravessada (P_A) e possíveis variáveis controle: COD na precipitação inicial (P_I); total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Coeficiente de determinação R^2	104
Figura 54: Médias e desvios padrão da concentração de COD em L_C na encosta laboratório nos diferentes eventos (EVn). Valor de hipótese nula p para o teste Kruskal-Wallis e eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).....	106
Figura 55: Dispersão dos valores de concentração de COD da Lavagem das Copas (L_C) em relação às possíveis variáveis controle: COD na precipitação inicial (P_I); total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Retas de tendência e Coeficiente de determinação lineares (R^2).	107

Figura 56: Médias e desvios padrão da concentração de COD na Precipitação Atravessada (P_A) e na Lavagem das Copas (L_C) dos diferentes eventos (cores) nas parcelas. Valores de hipótese nula (p) para o teste Kruskal-Wallis e parcelas variantes em cada evento pelo teste Dunn ($p= 0,05$).....	108
Figura 57: médias e desvios padrão das concentrações de COD no Fluxo de Atravessamento (P_A) e na Lavagem das Copas (L_C), em cada parcela. Valores p para a análise de variância pelo efeito dos blocos onde os tratamento (eventos) eram replicados.....	109
Figura 58: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na precipitação atravessada pela serrapilheira (P_S), em cada evento (EV's), para a escosta estudada. Valor de p para os testes de análise de variância: Kruskal-Wallis (K-W) e tratamentos replicados nos blocos (Trat.). Grupos de dados variâtes pelo teste Dunn a posteriori ($p< 0,05$).	112
Figura 59: Dispersão dos valores de concetração de COD do Atravessado pela Serrapilheira (P_S) em relação às possíveis variáveis controle: COD na Fluxo de Atravessamento (P_A); volume total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; precipiação acumulada nos 30 dias antecedentes; e intensidade de precipitação. Retas de tendênica e coeficiente de determinação lineares (R^2).	114
Figura 60: Médias e desvios padrão das concentrações médias de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_S), em cada evento (EV's), para a escosta estudada. Valores de probabilidade de hipótese nula (p) para os testes de análise de variância: Kruskal-Wallis (K-W) e tratamentos replicados nos blocos (Trat.). Grupos de dados variâtes pelo teste Dunn a posteriori ($p< 0,05$).	115
Figura 61: Dispersão dos valores de concetração de COD da Lavagem da Serrapilheira (L_S) em relação às possíveis variáveis controle: COD na Fluxo de Atravessamento (P_A); volume total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; precipiação acumulada nos 30 dias antecedentes; e intensidade de precipitação. Retas de tendênica e coeficiente de determinação lineares (R^2).	117
Figura 62: Médias e devios padrão das concetrações de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S), para cada eventos (EVs), nas diferentes parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Valores de probabilidade de hipótese nula pelo teste Kruskal-Wallis. Parcelas variantes pelo teste Dunn a posteriori ($p< 0,05$).	118
Figura 63: Dispersão dos valores de concentração média de COD na L_S em relação aos diferentes componentes dos estoques de serrapilheira: Material Lenhoso; Material reprodutivo; Folhas Novas (L); e Fragmentos de folhas (F). Tendência linear e coeficiente de determinação (R^2).....	121

Figura 64: Dispersão dos valores da concentração de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_S) em função do acúmulo de fragmentos de folha (F). Polinômio de grau dois e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).	122
Figura 65: Médias (todos os eventos) e desvios padrão das concentrações de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S), em cada parcela: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Valores de probabilidade de hipótese nula (p) pelo teste Kruskal-Wallis (K-W) e para o efeito dos Blocos (Bloc). Parcelas variantes pelo teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).	122
Figura 66: Dispersão dos valores da concentração de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_S) em função do estoque total de serrapilheira sobre o solo. Tendências linear (esquerda) e polinomial de grau dois (direita), e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).	123
Figura 67: Dispersão dos valores da concentração de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S) em função dos coeficientes de decomposição de cada parcela. Tendência linear e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).	124
Figura 68: Concentração de COD em diferentes profundidades (25, 50 e 100 cm) e na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S), para cada evento, no Divisor (DV) e o Fundo de Vale (FV).	128
Figura 69: Dispersão dos valores de concentração de COD em 50cm de profundidade em relação à intensidade da precipitação e ao total precipitado, no Divisor (DV) e Fundo de Vale (FV). Tendências lineares e respectivos coeficientes de determinação (R^2).	130
Figura 70: Solo de coloração mais escura encontrado em cerca de 70 cm de profundidade durante o procedimento de instalação do lisímetro de sucção, em FV.	133
Figura 71: Média e desvios padrão da concentração de COD no canal de drenagem (Rio Archer) em cada evento. Probabilidade de hipótese nula pelo teste Kruskal-Wallis.	136
Figura 72: Dispersão dos valores de concentração de COD no Rio do Archer (fluxo de base) em relação ao volume de precipitação acumulado nos 15 (quinze) dias antecedente e intensidade de precipitação dos eventos. Tendência linear e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).	137
Figura 73: Concentração de COD na precipitação inicial e o canal de drenagem (médias e desvios padrão) em cada evento e da média entre estes.	139
Figura 74: Esquema síntese da distribuição das diferentes concentrações de COD ao longo da encosta sul do Morro do Archer, PARNA-Tijuca. Ilustração sem escala.	145

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores referentes à estrutura da vegetação em cada parcela.....	62
Tabela 2: COD na precipitação inicial nos diferentes eventos e algumas características destes. Unidades: mg.L ⁻¹ (COD); mm (Total precipitado de cada evento e acumulados antecedentes).....	97
Tabela 3: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na precipitação atravessada (P _A) e lavagem das copas (L _C), em cada parcela, ao longo dos diferentes eventos (EVs), e médias gerais. Parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Amostras compostas (AC).....	102
Tabela 4: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na atravessado pela serrapilheira (P _S) e lavagem da serrapilheira (L _S), em cada parcela, ao longo dos diferentes eventos (EVs), e médias gerais. Parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Amostras compostas (AC).	112

1 INTRODUÇÃO

Alterações na paisagem como a substituição da cobertura vegetal nativa por outras formas de cobertura do solo refletem-se em transformações nos processos naturais, o que, por muitas vezes, provoca prejuízos financeiros e à qualidade de vida da sociedade. Ao conjunto de funções exercidas em ambientes naturais, que são fundamentais ao equilíbrio ambiental e à manutenção da qualidade de vida das sociedades, dá-se o nome de serviços ambientais. Neste contexto, a ciência contemporânea volta parte de sua atenção para temas que auxiliem a manutenção destes serviços e que possam contribuir para a recuperação de áreas degradadas.

A partir da década de 70 ocorre o resgate da ecologia amparada pela emergência da abordagem sistêmica, que traz a ideia de conectividade entre elementos e processos. Suertegaray e Nunes (2001) ressaltam que esta época é marcada pela emergência de análises de processos atuantes em escalas espaciais e temporais reduzidas, como forma da ciência colaborar para a resolução das questões ambientais e sua influência na dinâmica social. Frente à questão das mudanças ambientais, o ciclo do carbono (C) recebe algum destaque especial em razão de sua relevância para a termodinâmica atmosférica, e de um conjunto de funções exercidas nos solos que auxiliam a manutenção da água e da biota.

A questão climática tem origem na emissão de dióxido de carbono (CO_2) à atmosfera e a possibilidade de aumento do efeito estufa conseqüente, uma vez que as atividades da sociedade contemporânea utilizam a queima de combustíveis fósseis como fonte de energia. Não se sabe ao certo o quanto as atividades industriais realmente aumentam esta concentração, considerando-se a contrapartida da atuação dos agentes fixadores de CO_2 (principalmente biosfera e oceanos), e nem quais valores seriam críticos (ODUM, 2004). Sabe-se que a concentração de CO_2 encontrada atualmente na atmosfera é consideravelmente baixa em relação à sua variação ao longo da história geológica da Terra, todavia, significativas mudanças nesta concentração, historicamente, desencadearam alterações ecológicas e, algumas vezes, ciclos de extinção em massa (CÂMARA, 2007). Parece não haver consenso sobre os possíveis cenários com a intensificação do efeito estufa e sua implicância do ponto de vista da biodiversidade. Podemos citar, por exemplo, que o CO_2 contido na atmosfera é recurso para a fotossíntese, podendo a maior abundância

deste composto ser favorável ao aumento da produtividade primária (desde que cumprida também as exigências por outros recursos fundamentais). Nesta discussão, é interessante perceber que a problemática ambiental é antropocentrista, de forma que se tenta resguardar a sobrevivência e o bem-estar do ser humano e da sociedade que este compõe, e não o ambiente natural por um valor intrínseco a este (FERRY, 2009). Indica-se a possibilidade do aumento do efeito estufa, mesmo em proporções moderadas, modificar as dinâmicas atmosféricas alterando climas e biomas, podendo afetar a disponibilidade de água e outros diversos impactos negativos para a dinâmica social da população humana (JAYAKODY, 2014). Aparentemente, as consequências de grandes emissões de CO₂ à atmosfera podem apresentar consequências sobre o clima em escala regional ou até mesmo global (BANCO MUNDIAL, 2010). Fragmentos florestais podem exercer considerável influência na temperatura em escala local, sendo possível se destacar o exemplo da Floresta da Tijuca, nossa área laboratório, e sua influência para os bairros adjacentes. Mesmo não havendo uma sistematização de dados suficientes para afirmações, acredita-se que este fragmento atua significativamente amenizando os picos de temperatura nos bairros adjacentes, principalmente no verão, com possível influência para grande parte da cidade (ICMBio-PARNATijuca, sem data).

A fixação de grandes quantidades de C na biomassa viva e no solo é um dos serviços ambientais prestados por ecossistemas naturais com alta produtividade primária, como pode ser observado nas florestas tropicais. Estima-se que, em termos globais, cerca de 2100Gt de C encontrem-se atualmente em ambiente terrestre, fixados na biomassa viva e nos solos na forma de C orgânico (GIBBS et al., 2007), dos quais 20 a 25% estariam em ecossistemas tropicais (CERRI et al., 2001 apud GATTO et al., 2010).

Cerca de 50% do C assimilado pela fotossíntese é consumido pela respiração dos vegetais, e o restante em algum momento se deposita sobre o topo do solo na forma de serrapilheira (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002 apud CHIROL, 2003), disponível à decomposição, quando atuam os processos abióticos (fragmentação e lixiviação) e bióticos (mineralização). A biodegradação da matéria orgânica no solo retorna o C fixado pela fotossíntese para atmosfera na forma de CO₂ pela respiração dos microorganismos decompositores, à medida que os compostos orgânicos vão sendo mineralizados pela atuação destes (SWIFT et al., 1979). Ecossistemas onde as taxas de mineralização são muito baixas costumam acumular grandes quantidades de C orgânico no solo, como é o

caso das florestas Boreais, juntando-se às florestas tropicais como os ecossistemas terrestres de maior relevância em relação à estocagem de C na forma orgânica. O conjunto formado pelos processos de assimilação fotossintética do carbono, transferências via cadeias tróficas, e sua posterior liberação pela respiração dos microorganismos decompositores, é chamado de ciclo biológico ou ciclo curto do C.

O Carbono orgânico (C_{org}) contido no solo possui relevante significado ecológico ao favorecer a infiltração da água e a fertilidade dos solos. A matéria orgânica contida no solo costuma atuar como agente agregadora das partículas minerais, favorecendo a formação de agregados e poros grandes, principalmente em solos com altos teores de silte e areia. À matéria orgânica (MO) também se associa a maior estabilidade dos agregados, onde se destaca o papel dos complexos argilo-húmicos, diminuindo a erosão por salpico e o selamento do topo do solo, o que reduz processos erosivos superficiais e mantém as condições para a infiltração da água. Tal resultado favorece a circulação e transferência de água, oxigênio e cátions entre as camadas do solo e, conseqüentemente, entre os sistemas solo/biota. A melhoria da estrutura física e química do solo, e da estabilidade de seus agregados, associada à presença de matéria orgânica é bem debatida e aceita na bibliografia atual (GUERRA, 1990; PICCOLO et al., 1997; KUSHWAHA et al., 2001; SEYBOLD e HERRICK, 2001; GUERRA, 2007; WANG et al., 2013; ABDOLLAHI et al., 2014). A infiltração da água da chuva é fundamental para a recarga de aquíferos, sendo assim a boa estrutura de agregados do topo do solo fator importante para a manutenção do recurso hídrico (COELHO NETTO, 2007). Além, à medida que a MO é decomposta são liberados nutrientes que se tornam disponíveis em sua forma mineral para a assimilação vegetal, de forma que a maior parte dos nutrientes disponíveis nos solos distróficos, como os observados na Floresta da Tijuca, têm origem neste processo. Soma-se a isso o fato das frações semidecompostas possuem cargas elétricas que auxiliam a retenção de íons disponíveis, diminuindo a perda por lixiviação dos nutrientes reciclados (CANELLAS e SANTOS, 2005).

Assim, a conservação do solo e do recurso hídrico está ligada ao ciclo da matéria orgânica, e decisões sobre o manejo adequado do solo necessitam de informações sobre este ciclo. A importância do ciclo biológico do carbono para a “saúde” dos solos e manutenção dos recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade é o foco principal da justificativa deste trabalho.

A partir da lixiviação da serrapilheira pela precipitação, a infiltração da água transporta parte do carbono orgânico disponível no topo do solo para o horizonte mineral (FIGUEIREDO et al., 2014; PERALTA-TAPIA et al., 2014). À medida que o carbono orgânico é transportado para perfis mais profundos, parte de seu conteúdo incorpora-se ao solo, ampliando assim a área de atuação da matéria orgânica de superfície sobre a estrutura do solo (TURGEON e COURCHESNE, 2008; PERALTA-TAPIA et al., 2014). A fração que é transportada pela água que não adsorve ao solo (ou não é mineralizado) é conduzido até o canal, e desta parcela, a maior parte é exportada da bacia (TURGEON e COURCHESNE, 2008; PERALTA-TAPIA et al., 2014).

Cabe destacar que estes fluxos são responsáveis pela entrada de recursos minerais e energéticos para os ambientes aquáticos, e alterações nas taxas de transferência podem resultar em alterações na estrutura desses ecossistemas, apresentando possíveis reflexos na qualidade/potabilidade do recurso hídrico. (TURGEON e COURCHESNE, 2008; FIGUEIREDO et al., 2014). Observa-se, por exemplo, que mudanças de uso e cobertura do solo por vezes incrementa estes fluxos ao diminuir a infiltração e, conseqüentemente, as taxas de incorporação da MO ao solo, acarretando em aumento do processo de eutrofização em reservatório de abastecimento de água (PANHOTA, 2007).

Ao conteúdo de carbono orgânico contido na água em partículas capazes de passar por um filtro de 0,45 µm de abertura dá-se o nome de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) (TRUMBORE et al., 1992; HOPE et al., 1994). Ao conteúdo retido nesta filtragem dá-se o nome carbono orgânico particulado (COP). O COD é a fração mais significativa nos fluxos de carbono entre perfis do solo e dos ambientes terrestres para os aquáticos (FIGUEIREDO et al., 2014). A maior biodegradabilidade que costuma ser encontrada nesta fração também ressalta sua importância para a ciclagem de nutrientes.

A fração particulada é a mais relevante do ponto de vista da estocagem de carbono no solo, em razão de uma maior tendência à estabilização, enquanto a fração dissolvida é a mais relevante para a qualidade química da água, ciclagem de nutrientes, e estocagem de carbono nos oceanos (TURGEON e COURCHESNE, 2008; CHIWA et al., 2014). A fração particulada vai se tornando mais ativa à medida que se converte em dissolvida, pelo contínuo de degradação orgânica.

Frente a sua importância ecológica e para o abastecimento urbano de água, atualmente, diversos trabalhos científicos têm focado o balanço de COD em bacias hidrográficas, comparando mudanças em função de alterações no uso e cobertura na área da bacia (JIANG et al., 2014; SINGH et al., 2014; PERALTA-TAPIA et al., 2014) e as variações sazonais (NOSRATI et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2014; SINGH, et al., 2014; ONI et al., 2014). O conhecimento acumulado sobre o balanço de COD nas bacias e dos principais fatores controles, baseiam modelos matemáticos (NEFF e ASNER, 2001; HEIJDEN et al., 2013). Destaca-se em tais trabalhos, a importância das vias de fluxo do COD para o balanço de carbono em bacias, ao regularem as taxas de adsorção/incorporação do COD ao solo. Segundo Schmidt e colaboradores (2010), são necessários mais estudos focados nos processos de dissolução e adsorção do COD em seu caminho até os canais, nos mais variados ambientes, avançando para além do balanço de entrada e saída em bacias, pois o controle das vias de fluxo é espacialmente singular e complexo, sendo um dos principais fatores limitantes ao sucesso dos modelos.

Visando incrementar o conhecimento científico sobre a circulação de COD em ambiente terrestre, e assim, também contribuir às ações para manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos e recuperação de solos degradados, o presente projeto prevê uma pesquisa sobre os fatores que condicionam alterações na concentração de COD na água ao longo de uma encosta (estudo na escala de encosta) florestada de Mata Atlântica. Foi escolhida a Floresta da Tijuca como área de estudos, mais especificamente a bacia do alto curso do Rio Cachoeira. Esta bacia foi escolhida principalmente em função de sua representatividade para o contexto da Floresta da Tijuca, e por um grande arcabouço científico acumulado por mais de três décadas de estudos no âmbito da geohidroecologia.

Ao observar as interações água-vegetação-solo, obtendo assim um panorama dos principais fatores que condicionam as alterações na concentração de COD ao longo das vias hidrológicas em uma encosta, pretendeu-se versar sobre a influência da distribuição espacial dos fatores sobre a dinâmica espacial do COD, o que insere o presente trabalho no contexto da abordagem geográfica para a análise de processos ecológicos.

Partiu-se das seguintes hipóteses principais: (1) o regime pluviométrico, dado pela ocorrência de eventos com diferentes intensidades e totais de precipitados, e também pelo contexto de umidade antecedente, pode controlar a taxa de enriquecimento de COD na

lixiviação ao atravessar a copa das árvores e a serrapilheira; (2) as variações na massa total e estrutura dos estoques de serrapilheira, assim como suas respectivas taxas de decomposição, podem refletir em taxas diferenciadas na produção de COD no piso florestal, em relação à heterogeneidade espacial natural dos estoques; (3) As concentrações de COD na solução do solo tendem a decair com o aumento da profundidade em diferentes taxas.

O teste destas hipóteses objetivou responder às seguintes questões principais: (1) com qual concentração de COD a água chega ao horizonte mineral na Floresta da Tijuca, e o quanto e sob quais condições isto pode variar espacial e temporalmente? (2) qual a importância do solo para a qualidade da água em relação à presença de COD, e o quanto e sob quais condições a concentração de COD na solução do solo e no canal drenagem pode variar?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Compreender as variações na concentração de COD na água da chuva ao percorrer os compartimentos do domínio de encosta florestada, avaliando os principais fatores controladores destas variações em relação à heterogeneidade ambiental na escala de encosta, e às características dos eventos de chuva.

1.1.2 Objetivos específicos

Para tal, pretende-se:

- Avaliar a relação entre a precipitação de cada evento coletado e suas taxas de atravessamento pela biomassa viva, analisando possíveis variações na concentração de COD entre as precipitações inicial e atravessada. Associar tais resultados aos dados de estrutura da vegetação, característica do evento pluviométrico e condição de umidade antecedente.

- Analisar a relação entre os estoques de serrapilheira, em termos de massa e estrutura, e a concentração de COD no lixiviado deste compartimento, sob a ótica do efeito das taxas de decomposição sobre a produção de COD.
- Analisar as concentrações de COD na solução aquosa do solo em diferentes profundidades e posições da encosta, discutindo o papel deste compartimento como via de fluxo da água para mudanças nas concentrações, considerando a concentração no canal de drenagem como ambiente reflexo desta ação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado um panorama geral sobre o conhecimento acumulado sobre os fluxos de COD em ambiente terrestre. São apresentados estudos e experimentos que formam parte da base teórica norteadora das hipóteses e/ou que serão relevantes para a análise dos resultados. Optou-se pela prévia abordagem, já neste capítulo, de algumas características da área de estudo, acreditando que isto possa facilitar a contextualização de tais características frente aos processos tangentes ao fluxo de COD.

2.1 O CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (COD)

Uma grande quantidade de carbono orgânico desloca-se através do ambiente terrestre pela ação transportadora da água. Menores partículas tendem a possuir maior mobilidade espacial e maior relevância físico-química (SINGH et al. 2014). Costuma-se diferenciar duas frações de matéria orgânica nos estudos de quantificação de carbono orgânico em água: Matéria Orgânica Dissolvida (MOD); e Matéria Orgânica Particulada (MOP). O termo dissolvido é comumente utilizado para menores partículas e não representa a condição química de dissolução, pois a diferenciação é operacional por realizada por filtração, onde além do material verdadeiramente dissolvido encontram-se colóides de tamanho menor que a abertura utilizada na filtração. Não há uma definição exata sobre o tamanho da partícula para esta diferenciação, sendo comumente utilizadas, para tanto, filtrações com aberturas entre 0.2 e 0.7 μm . Neste trabalho será adotada a filtração com abertura de 0.45 μm . Mayorga e Aufdenkampe (2002) argumentam sobre o uso desta abertura de filtração baseados em mudanças no comportamento bioquímico da partícula.

Segundo estes autores, a principal característica da matéria orgânica menor que 0,45 μm é a possibilidade de biodisponibilidade direta. Microrganismos, raízes das plantas, e muitos tecidos animais podem transportar moléculas dissolvidas através das membranas celulares, tanto passiva e ativamente. Do mesmo modo, os contaminantes exibem a sua maior toxicidade nesta condição. Há uma maior mobilidade desta fração em ser

transportada, uma vez que a fração particulada tende a apresentar maior força de adsorção às partículas minerais do solo. Dessa forma, sua disponibilidade para biodegradação é maior do que a encontrada na fração particulada, já que a associação desta segunda a partículas minerais pode oferecer certa resistência à atividade microbiana (resistência à dessorção para a biodegradação). Esta abertura de filtragem parece mais utilizadas em trabalhos recentes (KAISER et al., 1996; SMOLANDER e KITUNEN, 2001; CREED et al., 2003; PARK e MATZNER, 2003; ZAMBROSI et al., 2008; NOSRATI et al., 2012; CHAPLOT E RIBOLZI, 2014; FIGUEIREDO et al., 2014; JIANG, 2014; MENJISTU et al., 2014; SINGH et al., 2014; entre outros).

A matéria orgânica na água, particulada ou dissolvida, é comumente quantificada pelo teor de carbono, tanto por razões operacionais (métodos de quantificação pela oxidação da matéria orgânica), quanto pelo significado ecológico do carbono, surgindo os termos Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Carbono Orgânico Particulado (GANTER, 2007). O COD é formado por moléculas de diferentes pesos moleculares (alto e baixo), assim como por frações mais lábeis (proteínas, carboidratos e lipídeos) ou mais refratárias (ligninas e ácidos húmicos).

Sobre o COD nos ecossistemas, em termos gerais, a análise da bibliografia indica três momentos distintos em relação à interação da água da precipitação e o ambiente, resultando em variações espaço-temporais nas concentrações de COD na água. Inicialmente, há a tendência da água precipitada percolar a vegetação e a serrapilheira onde parte da abundante matéria orgânica disponível, principalmente no topo do solo, pode ser transportada pela água. Posteriormente, quando a água infiltra no solo, há a tendência de parte dessa matéria orgânica adsorver às partículas minerais. Em um terceiro momento, após percolar o solo a água chega até o canal de drenagem, onde uma pequena parte do COD é utilizado como fonte de energia no ecossistema aquático e a maior parte é exportada da bacia/sistema de drenagem. Por sua maior mobilidade, a fração dissolvida (COD) representa a maior contribuição de transferência de carbono orgânico dos ambientes terrestres para os ambientes aquáticos (MAYORGA e AUFDENKAMPE, 2002).

Os dois primeiros momentos citados são quando ocorrem as principais mudanças na concentração de COD na água, quase sempre com tendência de aumento na

primeira etapa (lavagem/dissolução) e diminuição na segunda (sorção ao solo). Os primeiros centímetros do horizonte mineral parecem interessantes de serem investigados em maior detalhe, pois é o provável *locus* da inversão de uma tendência à outra.

No canal, a concentração de COD costuma permanecer próxima à concentração encontrada no lençol freático, enquanto sua vazão se encontra em condição de fluxo base. As mudanças de concentração na água do canal geralmente ocorrem em associação às alterações da vazão frente aos eventos de precipitação, respondendo às condições geoquímicas das vias fluxo predominantes nas encostas. Assim, este capítulo está organizado em função destes três momentos distintos, os quais serão abordados como: migração do COD; sorção de COD ao solo; e exportação via canal.

2.2 MIGRAÇÃO DO COD

Alguma quantidade de COD pode ser encontrada na precipitação inicial em virtude da dissolução de compostos orgânicos voláteis que se encontram na atmosfera (MULHOLLAND et al., 1990; HINTON et al., 1998). Há uma grande variedade de moléculas orgânicas na atmosfera tais como hidrocarbonetos leves, aldeídos e cetonas, uma vez que essas moléculas podem vaporizar em condições ambientais normais. Além disso, uma grande quantidade de compostos orgânicos é lançada à atmosfera pelas atividades industriais e queima de combustíveis fósseis. Dessa forma, fragmentos florestais que se localizem próximo a grandes centros urbanos ou parques industriais podem apresentar uma entrada de carbono orgânico via precipitação maior do que fragmentos mais isolados. Siudek e colaboradores (2015) compararam as concentrações de COD na precipitação inicial, obtidos em área urbana na Polônia, com o valor encontrado em outros estudos, confirmando uma média acima do geralmente reportado.

Neste contexto, PAN e colaboradores (2010) comparam as entradas de COD via chuva, encontrando enorme variação espacial entre áreas urbanas, rurais e florestais, assim como variações sazonais ainda mais pretuberantes. A análise espacial indicou maior entrada nos ambientes urbanos, que também apresentaram maior variação sazonal associada à queima de combustíveis fósseis no inverno para o aquecimento doméstico, incrementando às concentrações de COD.

Resultado similar sobre a influência aquecimento doméstico também foi reportado por Siudek e colaboradores (2015), enquanto tendência oposta (aumento da concentração no verão) foi encontrada para a sudeste brasileiro, na Bahia, por Costa e colaboradores (2017). Na Bahia, o citado resultado foi encontrado para sistemas agroflorestais com plantio de cacau, enquanto a Mata Atlântica preservada apresentou a tendência mais comum de redução da concentração no verão, efeito da maior diluição do COD e do efeito pré-lavagem. A avaliação sobre ambiente urbano (ou de matriz urbanizada) parece ainda pouco estudada em ambiente tropical.

Cabe ressaltar que a Floresta da Tijuca está totalmente inserida em uma matriz altamente urbanizada. Oliveira e Lacerda (1987) encontraram maior deposição atmosférica de chumbo na Floresta da Tijuca do que geralmente é encontrado em florestas mais afastadas de áreas urbanizadas. Assim, é provável que a deposição atmosférica de COD via precipitação também seja maior na Floresta da Tijuca do que em outras florestas.

A concentração de carbono orgânico na atmosfera também pode influenciar no enriquecimento de COD na precipitação após o atravessamento pelas copas, uma vez que pode haver acúmulo de compostos orgânicos de origem atmosférica sobre estas. Ao atravessar as copas, a precipitação lava-as, muitas vezes, resultando em aumento considerável na concentração de COD (MCDOWELL e LIKENS, 1988). Neste processo, o regime de precipitação pode exercer grande influência, principalmente, pela condição de umidade antecedente.

Em condição de estiagem é esperada uma maior acumulação de compostos orgânicos nas copas, enquanto para uma chuva que ocorra pouco tempo após outra, as copas já podem ter sido significativamente lavadas, de forma a esperar-se pouco enriquecimento na concentração de COD. Este foi um dos resultados encontrados por Turgeon e Courchesne (2008) ao compararem os fluxos de COD em eventos pluviométricos similares, porém, sob condições de umidade antecedentes distintos, em bacia hidrográfica florestada no Canadá.

Eventos com maiores volumes de água precipitada aumentam a diluição do COD, apresentando, segundo Hafner e colaboradores (2004), correlação inversa entre a concentração de COD na precipitação atravessada e o volume precipitado no evento. Estes autores encontraram correlação positiva entre essa concentração e a temperatura do ar,

indicando sua influência para a dissolução de compostos sobre as folhas, o que pode ajudar a explicar algumas variações sazonais.

O conteúdo de COD na precipitação atravessada representa a entrada atmosférica de COD, sendo considerada o *in put* no sistema em alguns estudos recentes sobre o balanço de COD em bacia hidrográficas (GOUVEIA NETO, 2006; FIGUEIREDO et al., 2014; SINGH, et al., 2014). Grande parte dos estudos recentes ocupam-se apenas da exportação de COD da bacia, controlada por fatores como aspecto topográfico (CREED et al., 2002; MENGISTU et al., 2014), uso e cobertura (JIANG et al., 2014), vias de fluxo hidrológico predominante (CHAPLOT E RIBOLZI, 2014; ONI et al., 2014), propriedades do solo (NOSRATI et al., 2012) sem contabilizar entradas atmosféricas ou mecanismos de produção de COD dentro da bacia.

Tais estudos costumam fazer inferências sobre a influência da serrapilheira (muitas vezes relacionando a sazonalidade com outros estudos sobre produção e decomposição de serrapilheira) nas variações de exportação observadas, considerando como bem estabelecido o fato da serrapilheira ser a principal fonte de COD que chega aos canais. Neste contexto, também é comum que estudos sobre exportação de COD ressaltem a importância da ampliação de estudos focados nos fluxos hídricos terrestres (onde se inclui as dinâmicas de encosta) e nos fatores que condicionam o enriquecimento de COD ao atravessar a serrapilheira, como chave para o entendimento destas exportações.

Enquanto a concentração de COD na precipitação atravessada representa a entrada de moléculas orgânicas alóctones, o enriquecimento de COD via lavagem da serrapilheira apresenta como fonte de C moléculas orgânicas formadas a partir da fotossíntese local. A quantificação do incremento de COD na água precipitada após atravessar a serrapilheira, assim como a avaliação das condições em que as taxas se alteram, não são observações muito comuns na bibliografia. Sobre este tema, destaca-se a significativa produção científica nos países nórdicos (HONGVE, 1999; FRÖBERG et al., 2006; FRÖBERG et al., 2011), onde o frio constante e o sazonal congelamento da serrapilheira dificultam a mineralização, acarretando em grandes estoques de matéria orgânica sobre o solo, com grande presença de turfeiras e a formação de organossolos (histossolos).

Ao grande acúmulo de matéria orgânica sobre o solo associa-se, por exemplo, a coloração escura nos lagos noruegueses, fruto da alta taxa de migração de matéria orgânica, principalmente, de sua fração dissolvida (HONGVE, 1999). De forma geral, as concentrações de COD encontradas no lixiviado da serrapilheira das florestas boreais é consideravelmente maior do que os valores encontrados na zona tropical (SMOLANDER e KITUNEN, 2001; GOUVEIA NETO, 2006; FRÖBERG et al., 2006; FRÖBERG et al., 2011; KILKKILÄ *et al*, 2012; FIGUEIREDO, 2014).

Ainda no âmbito das florestas boreais, a produção de COD via serrapilheira têm sido investigada em função da qualidade do material, observando-se diferentes taxas entre as folhas de três espécies *Picea abies*, *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* (SMOLANDER e KITUNEN, 2001; FRÖBERG et al., 2011; KILKKILÄ *et al*, 2012). Estas três espécies juntas representam cerca de 90% dos indivíduos arbóreos nas florestas do Norte da Europa (ANONYMOUS, 2010 apud FRÖBERG et al., 2011). Foram detectadas maiores produções no lixiviado e no conteúdo no solo sobre a serrapilheira da *Picea abies*, argumentadas em função da menor biodegradabilidade dos compostos oriundos deste material, ocasionando maior acúmulo sobre o solo.

Entretanto, Guggenberger e Zech (1993) também observaram o fluxo de COD a partir da lavagem das folhas frescas de Abeto Vermelho da Noruega (*Picea abies*) em solos com diferentes concentrações de nitrogênio, na Alemanha. O resultado obtido indicou o favorecimento da presença de nitrogênio no solo à liberação de COD pela serrapilheira, fato associado pelos autores à maior atividade decompositora. Tal fato ocorre uma vez que a degradação da MO libera subprodutos de maior solubilidade. Todavia, experimento similar foi realizado por Magill e Aber (2000) para serrapilheira mixta (composta por material de diferentes espécies). Estes autores não encontraram efeito associado à adição de N para a comunidade decompositora. Porém, estes também não avaliaram as taxas de decomposição (como fizeram Guggenberger e Zech -2003) para determinar a efetividade do N sobre o incremento desta, onde pode residir o motivo do resultado observado, considerando-se a possibilidade de que o N não era limitante.

Segundo Aitkenhead e McDowell (2000) e Jhonson (2006), alguns estudos tem ressaltado a dualidade da influência do nitrogênio na produção de COD, uma vez que maiores taxas de produção primária podem criar condições de limitação de nitrogênio no

solo por acúmulo na biomassa, o que por sua vez pode reduzir as taxas de decomposição da serrapilheira. Parece difícil estabelecer uma forte associação entre taxa de decomposição e lixiviação de COD. Surge então uma questão em relação à biodegradação e liberação de COD: se por um lado baixas taxas de mineralização mantém a abundância de matéria orgânica disponível a ser carreada, por outro, a maior atividade decompositora pode originar maiores fluxos de COD pela disponibilização de solúveis. Alguns estudos sobre a sazonalidade da produção de COD em bacias ajudam a responder esta questão, trazendo à luz o fato de que a atividade decompositora, ao mineralizar parte do carbono com mais intensidade em determinada época, favorece a circulação de COD no sistema (SCHMIDT et al., 2010; JIANG et al., 2014).

Segundo Hongve (1999) a diversidade de espécies contribuintes para a formação da serrapilheira pode acarretar em uma maior variedade de compostos e nutrientes disponíveis à comunidade decompositora, e dessa forma, favorecer a liberação de COD para o horizonte mineral. O pH da água também influencia sua solubilidade, entretanto, em dependência às características do soluto. Ou seja, diferentes compostos têm afinidades distintas de solubilização em função do pH, não sendo possível afirmar que uma determinada variação de pH favoreça ou desfavoreça a produção de COD (KAISER et al., 2001; AITKENHEAD, 2003; CHAPLOT E RIBOLZI, 2014).

O efeito da fragmentação do material também tem sido avaliado, apontando para uma maior solubilização de compostos oriunda das camadas mais fragmentadas, em função de sua maior superfície de contato, como foi observado Hongve (1999) na Noruega, e também no Brasil por Dickow e colaboradores (2008) em floresta de Mata Atlântica no Paraná. Todavia, podem haver diferenças químicas entre os lixiviados de folhas íntegras e fragmentadas, associada à “idade” do material, uma vez que a composição química da matéria orgânica vai se alterando ao longo do processo de decomposição pela lixiviação e biodegradação seletivas (SWIFT et al., 1979, CANELLAS e SANTOS, 2005). Dessa forma, a fragmentação do material tem potencial de incrementar as concentrações de COD no lixiviado por expor maior superfície de contato, contudo, o fragmentado acumulado na serrapilheira pode já ter sido consideravelmente lavado, sendo necessária alguma dinâmica bioquímica para disponibilizar novos solúveis.

D'Arrochella (op. cit.) observou que a camada fragmentada contribuiu menos que a camada de folhas íntegras para o enriquecimento da água percolada em relação ao K (potássio) e Mg (magnésio). Este resultado deve estar associado à rápida dissolução de compostos mais solúveis como os carboidratos, caracterizando consideráveis perdas pelas folhas recém-caídas, alterando a disponibilidade de potenciais solutos na serrapilheira (CANELLAS e SANTOS, 2005).

Em relação ao COD, observa-se a tendência de materiais mais jovens liberarem matéria orgânica mais lábil, enquanto as frações mais refratárias são liberadas de tecidos em estágio de decomposição mais avançado (KAISER et al., 2001; AITKENHEAD, 2003). Há uma tendência forte de maior lixiviação de COD em serrapilheira fresca, principalmente carboidratos e proteínas, de forma que a continuidade da lixiviação começa a depender mais das transformações químicas por parte da microbiota (MAGILL e ABER, 2000; DUAN et al., 2014; SINGH et al., 2014).

A biodegradabilidade da serrapilheira é reflexo de sua composição química (presença de ligninas e celulose, por exemplo), tendo maior importância a responder os fluxos de COD à medida que aumenta a dominância de espécies fontes de folhas nos ecossistemas (GUGGENBERGER e ZECH, 1993; HONGVE, 1999; JIANG et al., 2014).

Cabe ressaltar que na Floresta da Tijuca a serrapilheira é composta por materiais oriundos de um grande número de espécies. Seu histórico de ocupação e a ocorrência de clareiras de deslizamentos típica da área resultam em um mosaico de diferentes estágios de sucessão florestal, com a ocorrência desde espécies clímax a espécies pioneiras (COELHO NETTO, 1985).

Como é comum às florestas tropicais, cerca de 70% da massa de detritos produzidos na Floresta da Tijuca é composto por folhas (GOLLEY, 1978; OLIVEIRA e LACERDA, 1988; MONTEZUMA, 2005; MIRANDA, 2013). A maior presença garante sua importância em relação à produção de COD nestes ecossistemas. Hafner e colaboradores (2004) compararam a liberação de COD oriunda de troncos caídos com a liberação do pacote de serrapilheira sobre o solo, nos Estados Unidos, encontrando maior produção para os troncos. Todavia, apesar da maior contribuição pontual dos troncos, os autores ressaltaram que estes representam menos de 2% da serrapilheira, corroborando a ideia da maior importância do tecido foliar para os fluxos de COD. Como Golley (1978)

ressalta, os materiais lenhosos representam o maior estoque de nutrientes e carbono dos ecossistemas florestais tropicais, todavia, são os nutrientes e carbono contidos nas folhas que circulam rapidamente pelo sistema, e possuem maior significado ecológico a curto e médio prazo.

A produção de serrapilheira na Floresta da Tijuca não costuma apresentar grandes variações sazonais (OLIVEIRA 1987), o que não é válido para seu estoque sobre o solo, que pode apresentar maior acúmulo nos meses de estiagem, na maioria das vezes, no inverno (CHIROL, 2003; MONTEZUMA, 2005). Tal variação sazonal na estocagem de serrapilheira indica a possibilidade de variações sazonais significativas na produção de COD na Floresta da Tijuca. O confronto das influências dos maiores estoques de inverno com a as maiores taxas de decomposição do verão (considerando mais comum uma maior pluviosidade nesta estação) para produção de COD parece não ter sido observada empiricamente nas florestas tropicais. Essa sazonalidade na entrada de COD aos canais já é bem conhecida na zona temperada, com tendência de maiores concentrações no outono em razão da queda de folhas em florestas decíduas, e também na primavera, associada ao derretimento da neve e o conseqüente transporte de grandes quantidades de MO (MEYER et al., 1998; HONGVE, 1999; JIANG et al., 2014; PERALTA-TAPIA et al., 2014).

Experimento realizado por Park e Matzner (2003) testou o efeito da retirada da serrapilheira e também da duplicação de seu estoque, para os fluxos de COD no solo. Os resultados obtidos apontaram para alterações nos fluxos, principalmente, na camada mais superficial do solo, onde foram observadas a significativa diminuição da concentração com a retirada da serrapilheira, e seu aumento com a duplicação do estoque, frente a uma área controle onde o estoque não foi manipulado. Tais variações tenderam a diminuir em profundidade no solo, de forma que já não eram significativas as diferenças encontradas no horizonte B (± 20 cm de profundidade). Com estes resultados os autores puderam destacar a influência da adsorção de COD ao solo para explicar, junto à produção via serrapilheira, a chegada de COD ao canal. Em suma, a manipulação do estoque de serrapilheira condicionou mais a quantidade de carbono orgânico no solo do que a quantidade que chega ao canal, com considerável reflexo na atividade biológica do solo (medida através de respirometria), que foi maior onde a serrapilheira foi duplicada.

Em contrapartida, Meyer e colaboradores (2000) encontraram redução nas exportações de COD via canal de drenagem quando foi retirado o aporte de serrapilheira, inferindo que este compartimento é responsável por cerca de 30% do COD exportado pelo canal, em floresta mista na costa leste dos EUA.

2.3 ADSORÇÃO DO COD AO SOLO

Com a infiltração da água no solo as concentrações de COD tendem a decair. Esse é o resultado encontrado por diversos trabalhos, tanto na zona temperada (MCDOWELL e LIKENS, 1988; HONGVE, 1999; PARK e MATZNER, 2003; FRÖBERG et al., 2006; FRÖBERG et al., 2011; CHAPLOT e ROBOLZI, 2014; PERALTA-TAPIA et al., 2014), como também em florestas tropicais (MCCLAIN et al., 1997; MCDOWELL, 1998; GOUVEIA NETO, 2006; ZAMBROSI et al., 2008; FIGUEIREDO, 2014). Tal resultado é fruto do potencial comportamento como adsorbato da matéria orgânica em solução aquosa, quando em contato com as partículas minerais do solo.

É grande a complexidade nas interações físico-químicas entre a MOD e as partículas minerais do solo, de forma que são encontradas peculiaridades na tendência de sorção à medida que se refina características da matéria orgânica, tanto em relação ao peso molecular (alto ou baixo), quanto em relação à hidrofília (compostos hidrófilos ou hidrofóbicos) (KAISER, et al., 1996).

A fração de alto peso molecular tem grande capacidade em associar-se às argilas por quimissorção (adsorção química), sendo este o principal fator a explicar a maior dificuldade de dessorção desta fração, enquanto as de menor peso molecular tem maior tendência de associações de fisissorção (adsorção física através das forças de Van der Waals). A fisissorção é mais fraca que a quimissorção, facilitando a dessorção (MAYORGA e AUFDENKAMPE, 2002). Tietjen e colaboradores confirmaram taxas maiores do que as esperadas na fotoxidação da MO de baixo peso molecular adsorvida às argilas, assim como a correlação positiva entre a presença de compostos de baixo peso molecular e a atividade bacteriana, em ambiente aquático, onde também foi observada fotodessorção. Dessa forma, os compostos de alto peso molecular tendem a ser adsorvidos

preferencialmente e a de serem melhor estabilizados no solo em razão de uma maior proteção à respiração microbiana (TIETJEN et al., 2005; GANTER, 2007). Kaiser e Guggenberger (2007) confirmaram esta tendência observando a correlação inversa entre a presença de compostos de alto peso molecular na serrapilheira e a presença de compostos de baixo peso molecular adsorvidos ao solo.

Fröberg e colaboradores (2006) utilizaram o isótopo C_{14} para analisar a fonte do carbono no solo, e concluíram que grande parte do COD na solução do solo era produzido no próprio solo a partir da decomposição de frações maiores de MO incorporado. Os autores destacaram a influência da resistência dos compostos da folha da *Picea Abes* associada ao ambiente desfavorável à mineralização do carbono, resultando em grandes acúmulos de MO disponível ao lento consumo no horizonte mineral dos espodossolos (*podzols*) da Suécia. Esta observação, segundo os autores, ressalta a importância dos processos de dessorção e transformação da MO no solo.

A capacidade de sorção do solo é consequência de sua composição química e mineralógica. Segundo estudo realizado por Kaiser e colaboradores (1996), em um universo de complexas interações químicas para adsorção da MOD, destacam-se como principais características químicas do solo os conteúdos de óxidos de Fe e Al, de hidróxido de Fe e de carbono orgânico. A presença dos óxidos e hidróxidos incrementam as taxas de adsorção uma vez que se apresentam como “sítios” de forte quimiossorção, onde a força de sorção pode variar em função do pH da solução onde está contido o adsorbato (GANTER, 2007). Por outro lado, o conteúdo de C_{org} no solo interfere negativamente nas taxas de sorção pela ocupação dos “sítios”. Hongve (1999) também encontrou menores taxas de adsorção de MOD a solos com maiores teores de MO já incorporado. Ambos os autores ressaltaram que o conteúdo de MO já incorporada no solo tende a diminuir em profundidade, sendo este o principal motivo de se encontrar maiores taxas de adsorção em profundidade, principalmente no horizonte B. Kaiser e colaboradores (1996) complementam que o conteúdo de MO incorporado ao solo se apresenta como o fator isolado mais significativo em relação às características químicas do solo para as taxas de adsorção de MOD.

Em relação às características químicas da solução aquosa onde se encontra a MO, o aumento do pH da solução costuma reduzir as taxas de adsorção da MO ao solo,

uma vez que afeta a carga de superfície dos minerais de carga variável, que tendem a tornar-se cada vez mais negativas à medida que aumenta o pH (GANTER, 2007). Tanto a força iônica, quanto a presença de cátions livres na solução, podem incrementar as taxas de adsorção da MO através de pontes catiônicas entre a MO e os minerais (no caso dos cátions livres), caso haja afinidade das cargas (SCHLAUTMAN e MORGAN, 1994 apud GANTER, *op. cit.*).

A área superficial específica (ASE) do solo é a sua principal característica física em relação à taxa de adsorção da MO, tendo-se que quanto maior a ASE maior é a capacidade de adsorção de MO (GANTER, 2007). Quanto menores as partículas minerais do solo maior é a ASE, sendo esta a razão para as correlações positivas encontradas entre a adsorção da MO e os teores de argila do solo (KAISER, et al., 1996; GANTER, 2007; KAISER e GUGGENBERGER, 2007), embora a associação MO-argila também possa depender das características físico-químicas de ambas. Por exemplo, Tietjen e colaboradores (2005) observaram maior adsorção de MO em argila do tipo 2:1 (montemorilonita) do que em argilas do tipo 1:1 (caulinita), sendo tal resultado esperado em função da maior atividade das argilas 2:1. Entretanto, ao comparar as taxas de adsorção em função de diferentes fontes de origem de MO, no caso, serrapilheira originada de espécies diferentes de árvores, surpreendeu os autores a ausência de adsorção de uma espécie específica (*Pinus taeda*) à caulinita, ressaltando a especificidade das interações químicas argila-MO.

Embora os estudos supracitados apontem a adsorção abiótica como o principal processo responsável pela redução de COD na solução do solo em maiores profundidades, cabe ressaltar que uma fração deste carbono orgânico pode ser imobilizado ou mineralizado. Ambos os processos se referem ao consumo de carbono orgânico pela microfauna e microflora, de forma que a imobilização biótica (em detrimento ao uso do termo imobilização abiótica para adsorção do COD aos óxidos e hidróxidos) refere-se ao carbono que, após consumido, passa a compor o tecido orgânico do consumidor, enquanto a mineralização refere-se ao carbono que é liberado na forma de CO₂ pela respiração destes. Estes processos alteram a composição do COD uma vez que é consumida preferencialmente a fração mais lábil da MO, restando a fração mais refratária, muitas vezes, representada pelos compostos de maior peso molecular (MAGILL e ABER, 2000). Utilizando testes de incubação, Qualls e Haines (1992) testaram a labilidade do COD em diferentes compartimentos hidrológicos: precipitação atravessada, camada orgânica,

horizontes A e B, interseção dos horizontes A/B e na água do canal. O resultado encontrado por estes autores foi, na ordem da maior para a menor labilidade: precipitação atravessada; camada orgânica, horizonte B, água do canal, interseção A/B e horizonte A.

Embora a labilidade seja uma característica da MO (presença ou não de compostos mais resistentes), o *locus* da adsorção em relação à estrutura de agregação das partículas do solo também influencia sua biodegradação ao afetar a possibilidade de acesso à MO pelos decompositores. A MO adsorvida dentro dos microporos do solo dificultam esse acesso, melhor estabilizando-a em comparação à MO adsorvida nos macroporos, onde parte pode ser dessorvida quando há o aumento da poropressão por saturação (MAYORGA e AUFDENKAMPE, 2002; GANTER, 2007; CHAPLOT e ROBOLZI, 2014).

A mineralização, imobilização e, principalmente, a adsorção às partículas minerais são responsáveis por consideráveis reduções na concentração de COD na água do solo, de forma que o lençol freático pode apresentar concentrações de COD menores do que as encontradas na precipitação inicial (QUALLS e HAINES, 1992; MCDOWELL, 1998; GOUVEIA NETTO, 2006).

No contexto dos estudos que costumam apontar o decréscimo da concentração no COD na solução do solo com o aumento da profundidade, pequenos acúmulos de MO em subsuperfície podem representar uma exceção, encontrando-se algum aumento nesta concentração à medida que a água percola esta zona de acúmulo, como foi observado por Gouveia Netto (2006). Segundo o autor, tal fato pode estar associado ao soterramento de matéria orgânica por movimentos de massa. Ressalta-se que movimentos de massa são relativamente comuns na Floresta da Tijuca.

2.4 EXPORTAÇÃO VIA CANAL

Após percolar a vegetação, o piso florestal e o solo, a água chega ao canal com concentração de COD que reflete as interações de produção e sorção ao longo de sua via de fluxo. Como já foi ressaltado, alguns trabalhos recentes ocuparam-se em mensurar a exportação de COD de bacias hidrográficas com diferentes usos e coberturas (JIANG et al., 2014), distintas condições topográficas (CREED et al., 2002; MENJITSU et al., 2014)

e propriedades do solo (NOSRATI et al., 2012). Sintetizando os resultados encontrados por estes autores objetivando o interesse do presente projeto, podemos reconhecer a importância das vias de fluxo da água até o canal como um fator controle para as oportunidades de enriquecimento em contato com a vegetação e seus detritos e, principalmente, de adsorção às partículas minerais. Em outras palavras, se a água não infiltra no solo, não haverá adsorção às partículas minerais, ou se ela não alcança o horizonte B, é provável que a concentração de COD decresça menos.

A regulação exercida pela via de fluxo da água ao canal foi investigada por Oni e colaboradores, os quais encontraram correlação direta entre a ocorrência de fluxos superficiais e a exportação de COD via canal. O aumento da exportação em razão do incremento de fluxo superficial é o principal fator inferido por Jiang e colaboradores (2014) para diferença encontrada na exportação entre uma bacia florestada e outra de cobertura agrícola, no Japão. Estes autores encontraram maior exportação na bacia agrícola mesmo esta apresentando menor produção primária e praticamente nenhum estoque de serrapilheira, uma vez que a maior ocorrência de fluxos superficiais resulta em pouquíssima adsorção de COD ao solo. Resultado similar foi encontrado na Amazônia por Gouveia Netto (2006), ao comparar uma bacia com cobertura florestal com outra onde havia o predomínio de pastagens, encontrando maior exportação nesta segunda em função do incremento no escoamento superficial. Chaplot e Ribolzi, ao monitorarem os fluxos de água em diferentes compartimentos hidrológicos na encosta e suas respectivas concentrações de COD, em uma pequena bacia na África do Sul, concluíram que 25% do volume de água e 66% do COD encontrado no canal era de contribuição de fluxos superficiais, enquanto a solução do solo contribuiu com 68% do fluxo de água e 30% do COD, e o lençol freático contribuiu com 7% da água e 3% do COD.

Considerando que a água que esco superficialmente chega ao canal com maior concentração de COD do que a água em subsolo, a concentração de COD no canal pode ser um indicador interessante sobre as vias de fluxo da água ao canal. Figueiredo e colaboradores (2014) identificaram a covariância da concentração de COD e pH na água do canal (entre outros indicadores como sólidos em suspensão, por exemplo) com a variação da vazão em resposta a diferentes eventos de chuva, em uma pequena bacia de drenagem na Espanha, onde eventos pluviométricos de maior intensidade costumam gerar escoamento superficial. À medida que os eventos ocorriam com maior intensidade de

precipitação a resposta da vazão era mais rápida, apresentando aumento da concentração de COD e diminuição do pH. Para estes autores, é grande a capacidade de um canal de drenagem refletir as características físicoquímicas das vias de fluxo da água, ao ponto que características da água no canal podem ser utilizada como indicadores da contribuição destas vias (assinatura hidrogeoquímica), tanto do ponto de vista dos escoamentos superficial ou subsuperficial, quanto do ponto de vista de diferentes usos e coberturas do solo. Chaplot e Ribolzi também associaram a concentração de COD no canal às variações da hidrógrafa, destacando a forte correlação encontrada. Os resultados obtidos nestes dois estudos (CHAPLOT e RIBOLZI, 2014; FIGUEREIDO et al. 2014), indicaram que a concentração de COD no canal em condição de fluxo de base era bem próxima a concentração encontrada no lençol freático (pequenos aumentos foram encontrados e foram associados às dinâmicas ribeirinhas), aumentando à medida que aumentava a contribuição dos fluxos superficiais, aproximando-se, mas não alcançando, a mesma concentração encontrada na entrada ao horizonte mineral, em razão do fator diluição.

Assim, podemos considerar que os fatores que influenciam as taxas de infiltração da água ao solo influenciam também as taxas de chegada de COD ao canal de drenagem. Características do solo como textura e estrutura de agregação, assim como da cobertura vegetal e a presença de raízes consequente, condicionam a capacidade de infiltração da água no solo (COELHO NETTO, 2007; GUERRA, 2007). Quando a intensidade da precipitação é maior que a capacidade de infiltração ocorre a formação do escoamento superficial do tipo hortoniano.

Neste contexto, a característica do evento pluviométrico atua junto à capacidade de infiltração do solo condicionando as vias preferenciais do escoamento (JIANG et al., 2014; ONI et al., 2014). Outro fator importante é a umidade antecedente, uma vez que pode controlar a capacidade de retenção de água pela vegetação, serrapilheira e solo (COELHO NETTO, 2007). Corroboram a esta ideia os resultados encontrados Turgeon e Courchesne (2008) ao compararem os fluxos de COD em eventos de precipitação similares sob condições distintas de precipitação antecedente. Tais autores encontraram maiores valores de COD no canal quando em pré-condição de solo úmido, associando o resultado à maior formação de fluxos superficiais.

O controle exercido pela intensidade do evento de precipitação para a formação de escoamento superficial pode acarretar em considerável sazonalidade na exportação de COD, considerando que eventos de maior intensidade costumam ocorrer em estações específicas do ano (SCHMIDT et al., 2010; JIANG et al., 2014). Sobre esta questão, Singh e colaboradores (2014) indicaram que a quantidade de COD exportada em bacias é controlada pelas vias de fluxo apenas nas estações tempestuosas, diminuindo sua relevância à medida que os eventos pluviométricos perdem intensidade.

As florestas tropicais apresentam baixas taxas de escoamento superficial quando comparadas a outros ambientes. No exemplo específico da Floresta da Tijuca, Coelho Netto (1985) considera quase desprezível a existência de fluxos superficiais do tipo hortoniano. Isto ocorre em função da proteção da vegetação e serrapilheira à erosão do topo do solo, da capacidade de retenção de água pela vegetação e serrapilheira, além da atuação da fauna endopendônica (cria dutos que favorecem o deslocamento da água em subsolo) e das raízes, que podem favorecer a infiltração da água no solo antes mesmo da saturação hídrica da camada de serrapilheira.

A boa capacidade de infiltração do topo do solo florestal pode criar uma zona de saturação no horizonte superficial, uma vez que a mesma condição não se mantém alguns centímetros a baixo. Quando este topo do solo satura, inicia-se um fluxo lateral nestes primeiros centímetros, através deste subhorizonte de maior condutividade (10-20cm: HARR, 1977, e até 40cm na Floresta da Tijuca: OVALLE, 1985), denominado por Coelho Netto (2007) de fluxo subsuperficial de chuva. Assim, as encostas cobertas por florestas tropicais apresentam duas possibilidades de vias de fluxo subsuperficial: vertical em direção ao lençol freático; ou lateral (subsuperficial de chuva), através dos primeiros centímetros do solo, sentido encosta-abaxo.

Harr (1977), um dos primeiros autores a identificar e quantificar os fluxos subsuperficiais de chuva, sugeriu que este ocorre em condições tempestuosas, tendendo a aumentar sua contribuição proporcional quando a intensidade de precipitação é maior. Ideia posteriormente corroborada por Hall (1982, apud OVALLE, 1985), sugerindo que tal fluxo ocorre após a saturação dessa zona de maior condutividade hidráulica do topo do solo, o que muitas vezes não ocorre em chuvas de menor intensidade. Coelho Netto (1987) também identificou este fluxo na Floresta da Tijuca destacando a influência das raízes

neste processo. Esta autora destaca (2007) que parte da água do fluxo subsuperficial de chuva pode converter-se em fluxo vertical, quando há diminuição da intensidade ou término do evento de precipitação.

O substrato por onde ocorre o fluxo subsuperficial de chuva é caracterizado pela maior presença de matéria orgânica incorporada, o que pode reduzir as taxas de adsorção e diferenciar a concentração de COD na água nesta via de fluxo em relação à água que infiltra verticalmente (HONGVE, 1999; TURGEON e COURCHESNE, 2008). Dessa forma, a concentração de COD no canal pode refletir a proporcional contribuição destes dois fluxos através da ideia de assinatura hidrogeológica.

Na Floresta da Tijuca, Ovalle (1985) encontrou variações temporais em características químicas da água no canal correlatas as variações na vazão do canal frente a um evento de precipitação (80mm), associando esta correlação à contribuição de diferentes compartimentos do solo. Na primeira hora observou-se uma subida inicial da vazão, quando a característica química da água indicou o aumento da contribuição da água previamente contida no solo, empurrada por um “efeito pistão”. Após esta primeira hora, a vazão voltou a subir indicando a contribuição dos fluxos subsuperficiais de chuva, aproximando a composição química da água à composição do topo (± 40 cm) do solo. Após o pico de vazão, esta vai decrescendo lentamente e a composição química da água vai retornando gradativamente à composição do fluxo de base. Assim, é provável que a concentração de COD no canal após eventos de precipitação reflita a concentração de COD do compartimento de passagem da água. Considerando a hipótese de maiores concentrações de COD no topo do solo, acredita-se que a concentração no canal tenderia a aumentar em resposta a uma maior contribuição dos fluxos subsuperficiais de chuva.

3 ÁREA DE ESTUDOS

O Estudo foi conduzido em uma área florestada conhecida como Floresta da Tijuca, município do Rio de Janeiro, RJ. Este fragmento é um representante das formações florestais do Bioma Mata Atlântica, e está localizado no Maciço da Tijuca, uma das três unidades fisiográficas montanhosas do município, complementadas pelos maciços da Pedra Branca e Mendanha.

A Mata Atlântica é um dos biomas mais impactados do Brasil, concentrando grande parte da população e atividades industriais nacionais, de forma que seus remanescentes encontram-se basicamente restritos a áreas montanhosas ou de relevo acentuado, formando ilhas de vegetação inseridas em uma matriz, muitas vezes, altamente urbanizada. Os maciços costeiros e as Serras do Mar e da Mantiqueira representam os principais refúgios de formações florestais e da vida silvestre da Mata Atlântica (Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2007). Dessa forma, o maciço da Tijuca apresenta-se como uma área representativa do atual contexto dos remanescentes ou formações secundárias de Mata Atlântica, onde as atividades biológicas nos ecossistemas encontram-se indissociáveis às singularidades típicas de relevos montanhosos.

3.1 O MACIÇO DA TIJUCA

Ocupa cerca de 11.870 ha de área planimétrica, considerando-se a partir da cota de 40m, localizado entre os entre os paralelos 22°55' e 23°00'S e os meridianos 43°20' e 43°10'W, município do Rio de Janeiro, RJ (figura 1). Caracteriza um ambiente de relevo acidentado, marcado pela presença de afloramentos rochosos e encostas abruptas, com a presença de vários picos e pontões (FERNANDES, 2005), alcançando altitude máxima 1021m (Pico da Tijuca) e atuando como importante armazenador e dispensor da água das chuvas no município do Rio de Janeiro.

Geologicamente, as rochas são de formação antiga, originadas há mais de 570 milhões de anos (Proterozóico Superior). Segundo Pires e Heilbron (1989, apud FERNANDES, 2005), a base litológica é formada basicamente por gnaisses diversos

(Gnaiss Facoidal; Biotita Gnaiss; Kinzigitos; Gnaiss Archer) e com algumas intrusões de granito (Granito Favela) (Figura 2). O contexto montanhoso tem origem em falhamentos paralelos à costa, associados por Asmus e Ferrari (1978, apud NEGREIROS, 2011) à abertura do oceano Atlântico, há cerca de 65 milhões de anos atrás. Os trabalhos de erosão e deposição típicos da evolução de encostas resultam em uma geomorfologia marcada por pontões arredondados e a formação de pequenas planícies sedimentares, com grande presença de blocos nos fundos de vale. Três reservatórios principais recebem a maior parte dos fluxos hidrológico e sedimentar distribuídos pelo maciço da Tijuca (Baía de Guanabara, Lagoa de Jacarépagua e Lagoa Rodrigo de Freitas), definindo, segundo Fernandes (2005), três grandes subsistemas hidrográficos: Baía de Guanabara (SSHBG); Jacarépagua (SSHJ); e Zona Sul (SSHZS) (Figura 3).

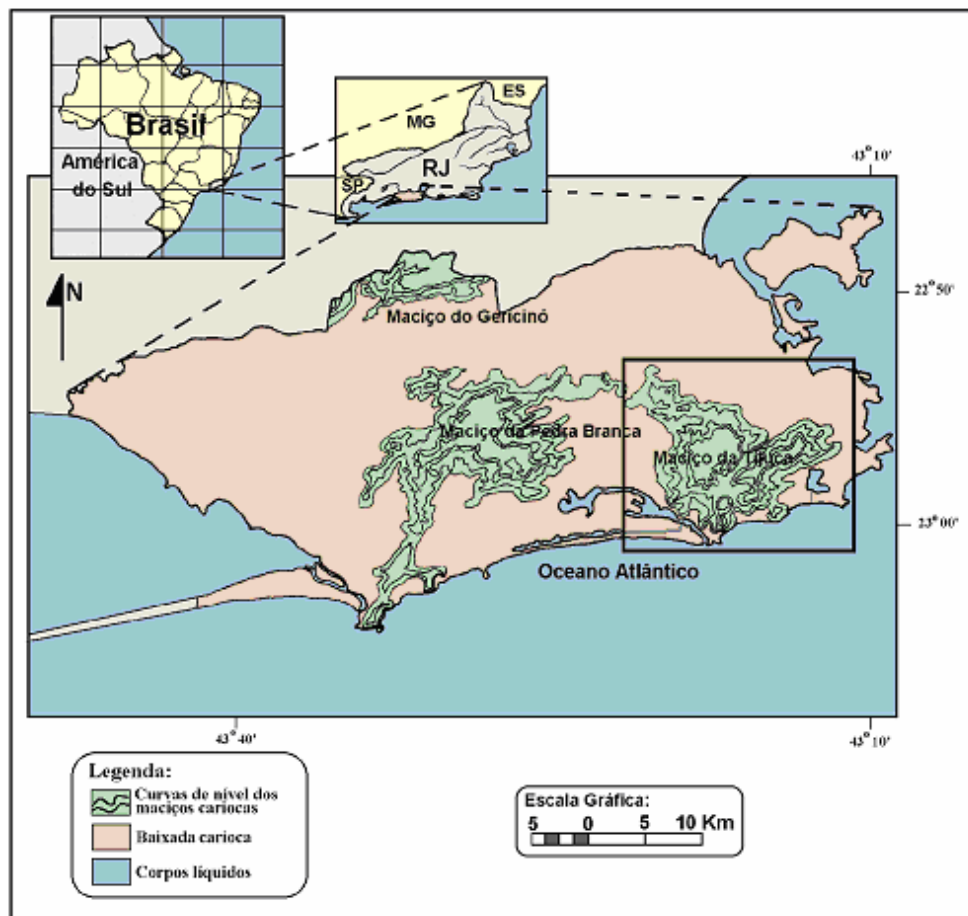


Figura 1: Localização do maciço da Tijuca, inserido no Município do Rio de Janeiro, RJ.

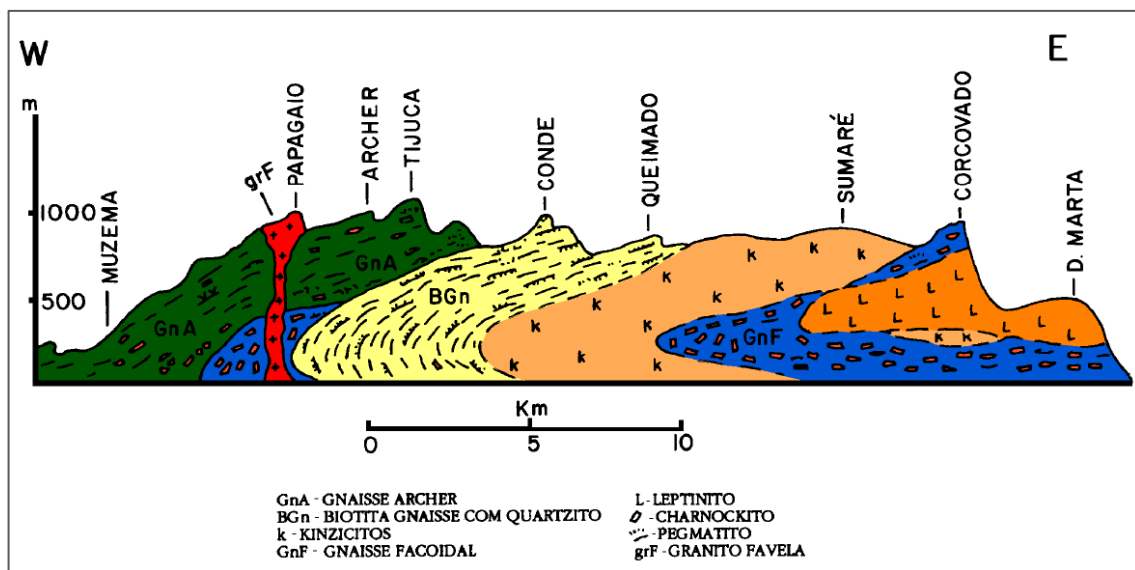


Figura 2: Perfil Geológico do Maciço da Tijuca. Retirado de Fernandes (2005), modificado de PIRES (1989).

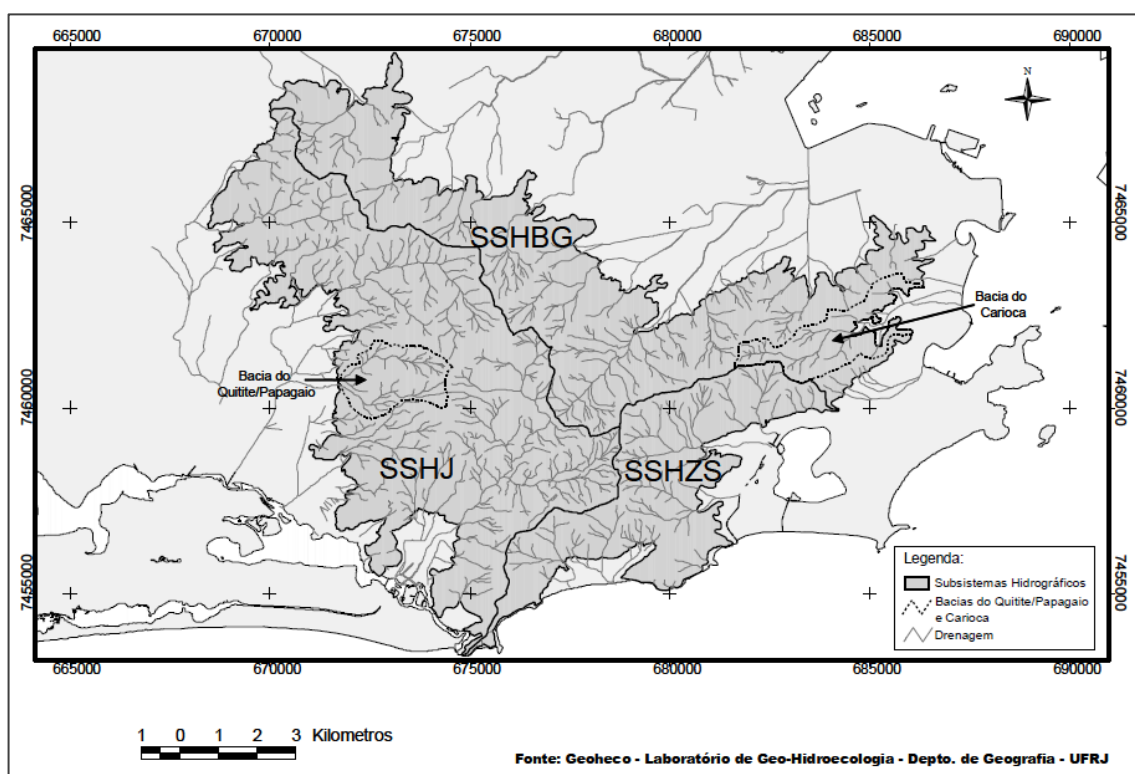


Figura 3: Subsistemas hidrográficos do Maciço da Tijuca.

Predominam no Maciço da Tijuca os latossolos, principalmente vermelho-amarelo, nas áreas de encosta, e também cambissolos em áreas mais íngremes (COELHO NETTO, 1987). O clima é definido como tropical de altitude (cf), segundo a classificação de Koppen. A temperatura média anual é de 22°C, com as médias mensais oscilando entre 25 e 19°C em fevereiro e junho, respectivamente. A máxima pode chegar a 35°C no verão e a mínima a 10°C no inverno (NEGREIROS, 2011). A pluviosidade média anual oscila entre 2000 e 2500mm, podendo registrar até 3.300mm em anos mais chuvosos, e 1600mm nos menos chuvosos. A pluviosidade apresenta alguma variação sazonal, com tendência de maiores médias mensais no verão e menores no inverno (FERNANDES, 2004).

A localização e forma do maciço, associada à entrada de ventos úmidos vindos do oceano, acarretam em maior pluviosidade em sua vertente sul/sudeste. A diferença de pluviosidade somada a uma maior insolação e maior ocupação e pressão urbana na vertente norte/noroeste, resulta em um ambiente mais seco nesta, com diferenças florísticas significativas entre as duas vertentes, de forma que parte da vertente norte/noroeste é coberta por gramíneas e floresta em degradação (OLIVEIRA et al., 1995). A maior parte da área coberta por floresta está inserida no PARNA-Tijuca. Esta Unidade de Conservação possui 3.972ha, e é dividida em 4 setores: Serra da Carioca; Pedras Bonita e da Gávea; Floresta da Tijuca; e Covanca/Pretos Forros (figura 4).

3.2 A FLORESTA DA TIJUCA

Um das características marcantes da Floresta da Tijuca é o fato desta estar inserida em uma matriz altamente urbanizada, o município do Rio de Janeiro. Esta condição impõe à floresta o contato com substâncias poluentes oriundas das atividades industriais e meios de transportes, através de entradas atmosféricas pela chuva e acumulação na copa das árvores, que é transportada para o solo pela chuva quando a copa é lavada (OLIVEIRA e LACERDA, 1988), além de uma grande pressão por efeito de borda. A ocorrência de queimadas é mais comum na vertente norte/noroeste, por conta da menor umidade contida na vegetação e no sistema serrapilheira/topo do solo (OLIVEIRA et al., 1995) e uma maior pressão exercida pela ocupação desordenada (COELHO NETTO, 2005).

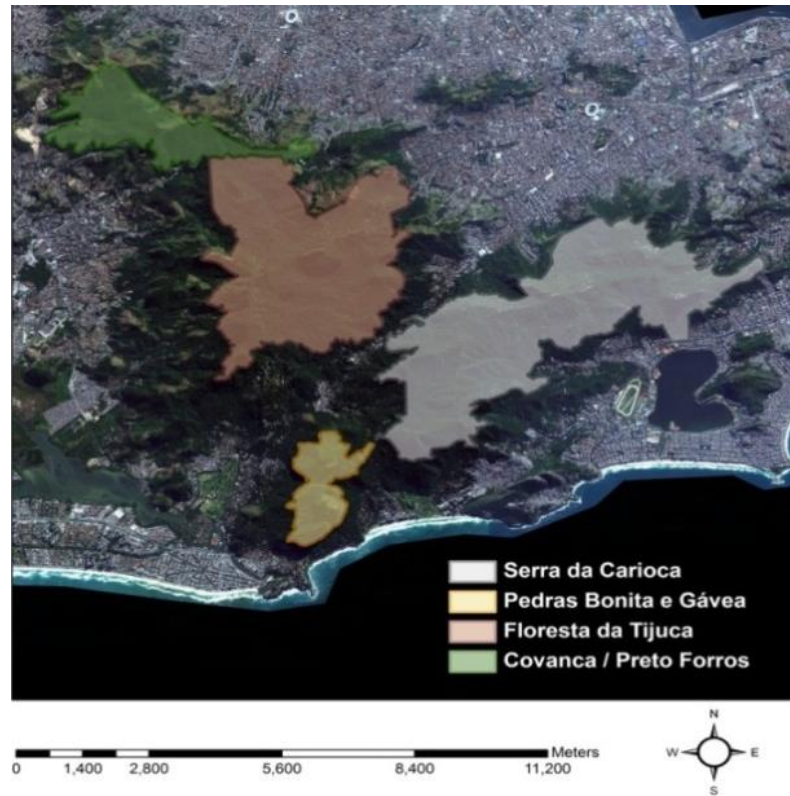


Figura 4: Área protegida pelo PARNATIJUCA e seus setores.

Embora haja pressões negativas exercidas pela matriz urbana, a Floresta da Tijuca exibe hoje uma vegetação exuberante, que facilmente faz o visitante esquecer que está em uma metrópole, tendo grande relevância turística e para o bem-estar dos cariocas, exercendo assim, papel sócio-cultural importante à cidade. Porém a importância histórica desta área para a cidade do Rio de Janeiro vai além do lazer, turismo ou de sua beleza cênica.

Segundo Drumond (1988), os primeiros usos da floresta de altitude do litoral carioca foram extrativistas. Primeiro pelos Tupinambás, que apesar de não ocuparem fixamente as encostas, realizavam incursões para caça e coleta de plantas. Posteriormente, já pelo século XVII, portugueses e franceses iniciaram a extração de pau-brasil, e a floresta também passou a servir de fonte de lenha para a crescente cidade do Rio de Janeiro e para as atividades econômicas que ali se instalavam, principalmente, o plantio de cana-de-açúcar.

Entre 1790 e 1830, mais ou menos, uma curiosa coalizão de fazendeiros locais, nobres portugueses, nobres franceses exilados, militares ingleses e diplomatas estrangeiros, fazem fortunas com o plantio de café. O café se expandiu rapidamente chegando às encostas que rodeavam a cidade. Ao tempo que o café se expandia e tomava espaço da vegetação nativa, a cidade arcava com problemas de abastecimento de água potável, uma vez que os principais rios e riachos que abasteciam a cidade foram secando, ao ponto que, em anos menos chuvosos só eram capazes de fornecer cerca de 15% da demanda de água da cidade.

Coube a Dom João VI, rei de Portugal, mas vivendo ainda no Brasil mesmo com Napoleão já derrotado, ordenar a interrupção da devastação florestal e o plantio de árvores junto às nascentes de rios. Após alguns contratempos relacionados a desapropriações na área e a criação da Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, o processo de reflorestamento se iniciou sob a administração do Major Manuel Gomes Archer. Foram plantadas neste momento 61.852 mudas.

Posteriormente, com o plantio de mais 30.000 mudas, foi possível observar o sucesso do processo de sucessão natural que se espalhou rapidamente, e a vegetação nativa retornou aos domínios do Maciço da Tijuca, configurando hoje em uma floresta secundária tardia que recobre quase todo o Maciço (COELHO NETTO, 2005; DRUMOND, 1988). Duas principais áreas resistiram à derrubada da vegetação (Vale dos Ciganos e Mata do Pai Ricardo), representando duas pequenas áreas de vegetação primária, praticamente isoladas por grandes áreas estágio sucessional menos avançado.

Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio (www.icmbio.gov.br), que atualmente administra o Parque, o Diploma Legal de Criação deste se dá por sucessivos decretos de lei: Decreto nº 50.923 de 06 de julho de 1961, Decreto nº 60.183 de 28 de fevereiro de 1967 e Decreto nº 70.186 de 23 de fevereiro de 1972.

Segundo Coelho Netto (1987) a Floresta da Tijuca pode ser classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana. As variações nas condições abióticas ocasionadas pela topografia e orientação de encostas se somam ao histórico de ocupação e às dinâmicas de evolução de encosta, resultando em uma cobertura vegetal espacialmente heterogênea, formando um mosaico de diferentes estágios de sucessão. Predominam espécies nativas da

Mata Atlântica, porém a área também é marcada pela presença significativa de espécies exóticas. Um exemplo é a grande presença de jaqueiras, sendo constante tema de debate entre pesquisadores e a administração sobre a necessidade de manejo desta espécie.

O estrato arbóreo principal se encontra entre 20 e 25 metros, podendo chegar entre 30 e 35 nas áreas mais altas. Um resumo das principais espécies com ocorrência nos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo da Floresta da Tijuca pode ser encontrado em Montezúma (2005). Destaca-se também o epifitismo e a presença de Briófitas, como é comum às florestas tropicais. Costa e Yano (1988), por exemplo, encontraram uma variedade maior de espécies de hepáticas talosas do que era esperada pelos autores para a Floresta da Tijuca. O gradiente de umidade pode condicionar alguma variação na estrutura da vegetação em escala de encosta, com maior presença de estrato arbustivo e menor altura e largura médias no estrato arbóreo, nas áreas de divisores drenagem (MIRANDA et al., 2014).

3.3 ÁREA LABORATÓRIO

O presente trabalho focou área com cobertura florestal na bacia do Rio Cachoeira, mais precisamente em seu alto curso, o qual se encontra totalmente inserido no setor Floresta da Tijuca, do PARNA-Tijuca. A escolha do alto curso do Rio Cachoeira se deve pelas seguintes razões: provável menor alteração microclimática por efeito de borda por estar localizado relativamente distante das bordas do PARNA-Tijuca (Figura 5); amplo arcabouço científico, sendo área laboratório para estudos em hidrologia e ecologia por mais de duas décadas pelo laboratório GEOHECO-UFRJ; e facilidade de acesso aliada à boa estrutura para pesquisa (como a casa do pesquisador, por exemplo).

Os principais grupos litológicos presentes na Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira são o Gnaisse Archer e a Biotita Gnaisse, onde se observa também pequenas intrusões do Granito Favela na sua porção sudoeste.

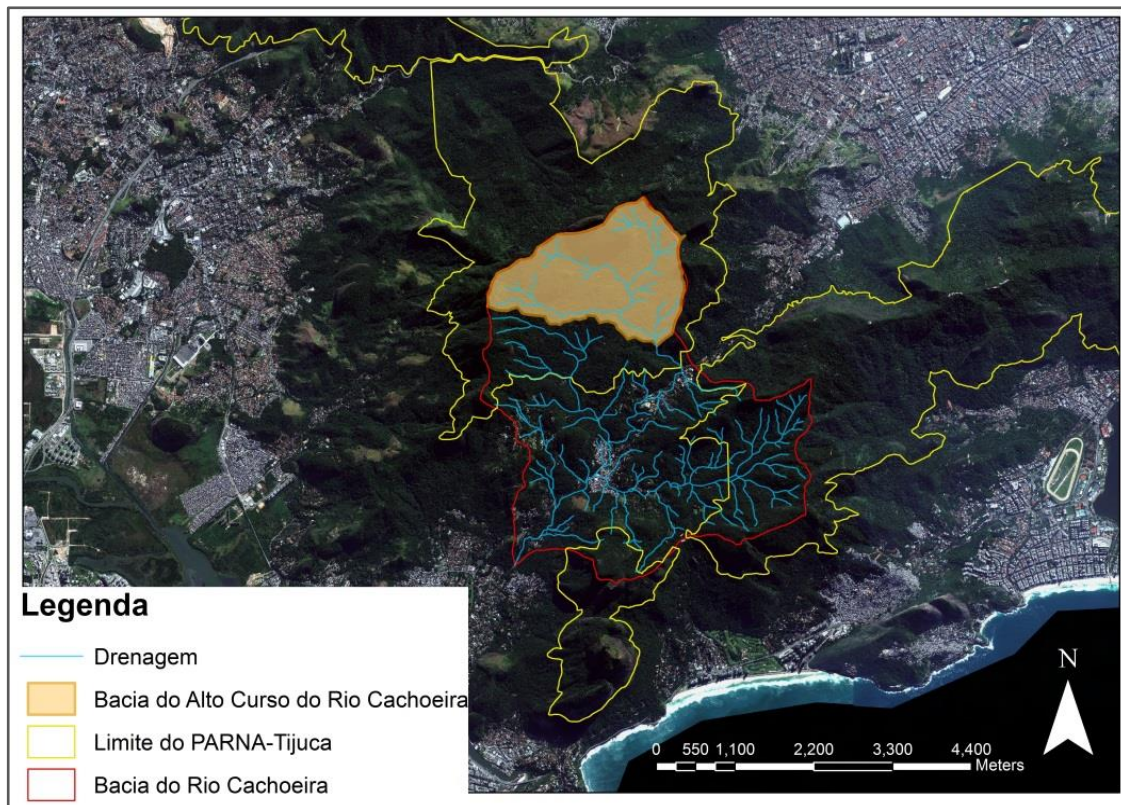


Figura 5: Localização da Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira.

Negreiros (2011) monitorou os eventos de precipitação dentro do alto curso do Rio Cachoeira, entre janeiro de 2010 e abril de 2011, indicando o número de ocorrências para determinadas classes de precipitação (figura 6). Coelho Netto (1985) ressalta que, apesar da maior frequência de eventos de baixo volume, os eventos com precipitação maior de 70 mm representam mais de 30% do volume anual de entrada pluviométrica na bacia.

A Bacia do Rio Cachoeira foi uma das áreas que sediaram a indução de sucessão via plantio de mudas, sendo das primeiras a serem consideradas como recuperadas. Suas nascentes (no Alto Curso), desde 1874, passaram a ser protegidas como reserva florestal, administrada pela Repartição de Águas (SCHEINER, 1976).

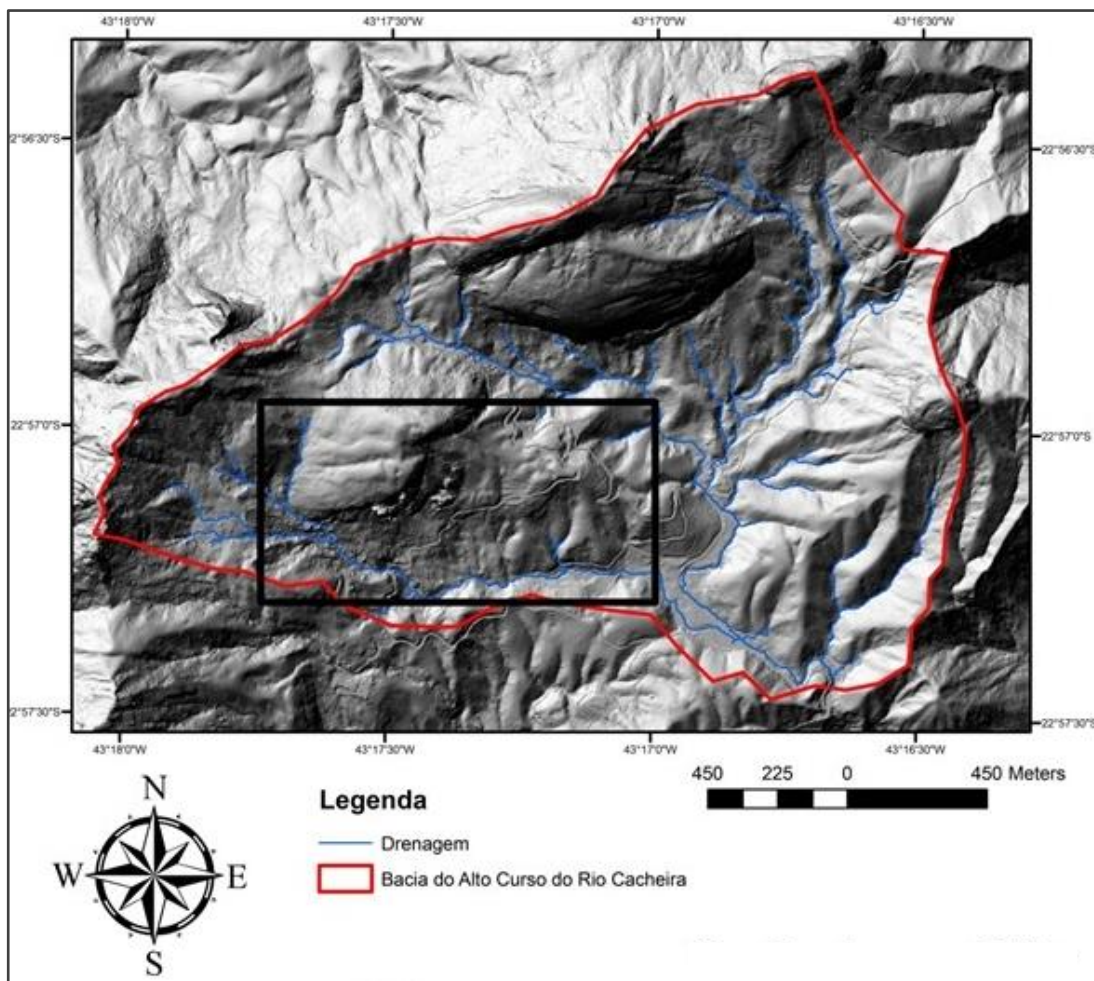


Figura 6: Modelo Digital do Terreno do Alto Curso da Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira e localização da encosta sul do Morro do Archer.

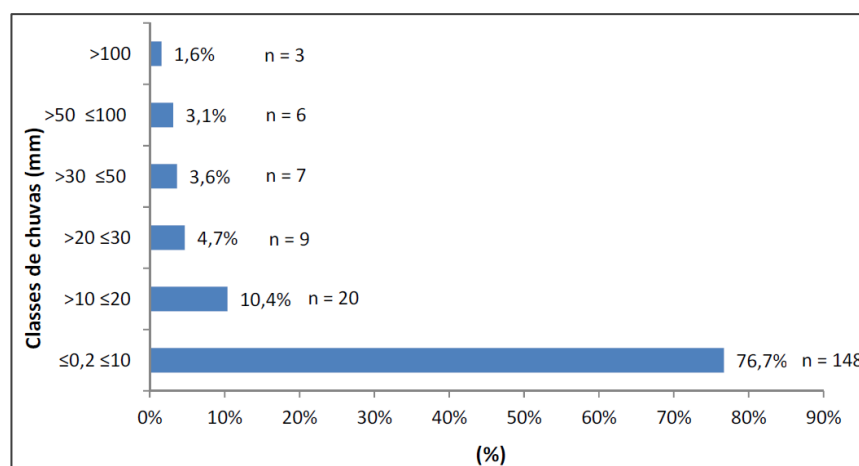


Figura 7: Frequência das chuvas em classes de precipitação entre janeiro de 2010 a abril de 2011 na Bacia do Alto Curso do Rio Cachoeira. Retirado de Negreiros (2011).

O Alto curso do Rio Cachoeira é uma bacia de terceira ordem com aproximadamente 3.32 km², e cerca de 3.8 Km de extensão de drenagem. Segundo Coelho Netto (1985), esta bacia é marcada pela influência de recarga hidrológica de paredões rochosos, caracterizando três domínios distintos: Bom Retiro; Archer; e Cobras. No domínio Bom Retiro, os solos rasos condicionam rápidas respostas na vazão do canal às entradas pluviométricas em função desta recarga, podendo ocorrer fluxos superficiais de saturação. No domínio do Archer, os solos são um pouco mais espessos o que retarda essa resposta na vazão do canal, de forma que, geralmente, observa-se um segundo pico de vazão na saída da bacia em função da influência desta recarga. Já o domínio Cobras é marcado pela não influência de recarga via paredão rochoso, sendo dominada por divisores.

Os aspectos hidrológicos em relação à recarga via paredões é fundamental para a escolha da encosta laboratório, tendo-se em vista a importância dos fluxos hidrológicos de encosta para o estudo e a representatividade da área escolhida para a Floresta da Tijuca como um todo. As áreas sob influência de recargas são interessantes do ponto de vista da representatividade, uma vez que os paredões rochosos são comuns na Floresta da Tijuca. Tais recargas podem influenciar a saturação do solo, acelerando a formação de fluxos laterais subsuperficiais, apresentando possíveis reflexos nas concentrações de COD no subsolo e na água do canal. Entretanto, a formação de fluxo superficial, mais comum no domínio Bom Retiro, pode dificultar as mensurações sobre a lixiviação da serrapilheira. Assim, o domínio do Archer se destaca como o mais interessante como área laboratório, mais precisamente sua encosta Sul (figura 7). Corrobora a escolha o fato desta encosta já ter sido área laboratório para estudo sobre a heterogeneidade espacial dos estoques de serrapilheira condicionada pela topografia, na escala de encosta, pesquisa essa realizada para a dissertação de mestrado do autor do presente projeto (MIRANDA, 2013).

O domínio do Archer já foi sede para outros estudos no âmbito da geo-hidroecologia, apresentando bom arcabouço científico sobre características da vegetação e do solo (ROSAS, 1991 apud MONTEZUMA, 2005), assim como do comportamento hidrológico (COELHO NETTO, 1985; CASTRO Jr, 1991) e caracterização da produção e estoque de serrapilheira (CHIROL, 2003; MONTEZUMA, 2005; MIRANDA, 2013) o que pode ajudar na discussão dos resultados encontrados em relação aos fluxos de COD.

A influência do paredão rochoso reflete no aumento da umidade em profundidade, o que pode “acelerar” a saturação, favorecendo fluxos subsuperficiais laterais. Tal influência tende a diminuir à medida que aumenta a distância em relação ao paredão, todavia, tais fluxos laterais mantêm maiores condições de umidade através das concavidades (zona de convergência). A vegetação promove a infiltração da água, e a umidade no solo tende a diminuir ao longo da zona de influência das raízes. Destaca-se a grande presença de blocos em subsuperfície imersos a um solo areno-quartzoso. A colúviação constante condiciona uma zona de menor energia nas zonas de deposição (figura 8).

Segundo Montezuma (2005), a vertente em foco é marcada por um deslizamento ocorrido em 1988, formando uma grande cicatriz que foi reativada em 1996. Em 2005, após 12 anos de regeneração, esta autora apontou que a área afetada ainda não apresentava uma reestruturação ecológica ao ponto de demonstrar a reabilitação funcional do topo do solo, mesmo possuindo forma alongada o que favorece tal reestruturação. Destaca-se neste estudo a maior produção de serrapilheira nas bordas da cicatriz, e a variação temporal associado à sazonalidade (dentro e fora da cicatriz), e espacial associada à topografia (dentro da cicatriz) dos estoques. A sazonalidade acarretou maiores estoques no inverno, pela provável redução das taxas de decomposição.

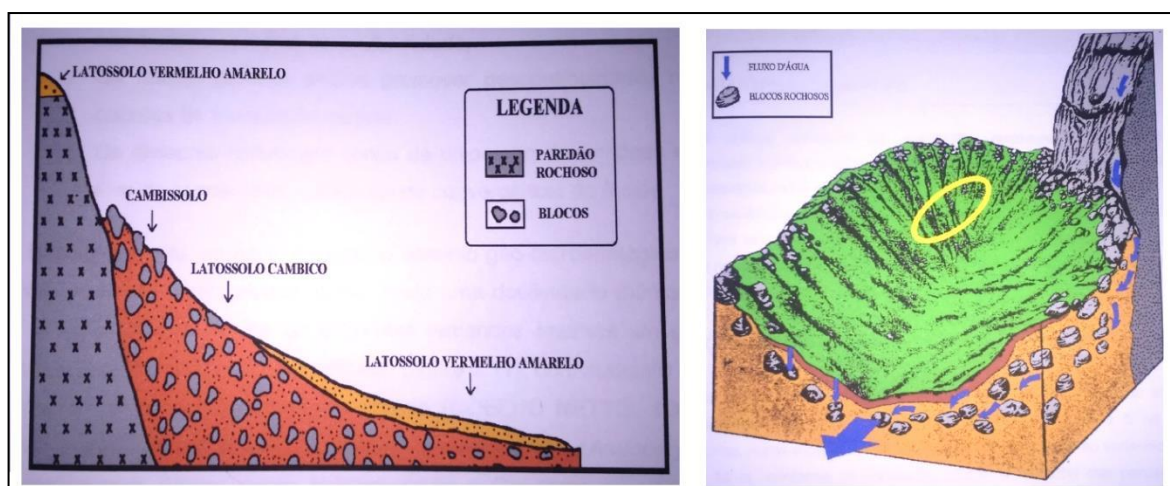


Figura 8: Perfil pedogenético (a) e diagrama de fluxo hidrológico (b) na Bacia do Archer; Fonte: acervo do Geoheco.

Chirol (2003) já havia relatado o comportamento sazonal da serrapilheira, com maior acúmulo da camada F no inverno, comportamento oposto ao encontrado para a camada L. Contudo, este autor inferiu que o subsistema de decomposição foi mais afetado no verão, uma vez que este foi o período mais seco no período que ocorreu o estudo, o que não parece o comportamento mais comum da distribuição sazonal das chuvas na bacia (COELHO NETTO, 1985; FERNANDES, 1998 apud FERNANDES, 2004; CHIROL, 2003; NEGREIROS, 2011).

Miranda (2013) analisou a heterogeneidade do estoque de serrapilheira nesta encosta na Floresta da Tijuca, avaliando as variações em função da posição na encosta e declividade. Maiores estoques foram encontrados no divisor e na alta encosta, mesmo estas áreas apresentando menor produção de detritos, indicando uma decomposição mais lenta, condicionada, provavelmente, pela limitação de água/umidade (figura 9). Esta condição impunha ao divisor maior acumulação de detritos fragmentados, caracterizando heterogeneidade estrutural dos estoques ao longo da encosta. Maiores estoques nos divisores já haviam sido anteriormente reportados para a Floresta da Tijuca por Clevelario Júnior (1988).

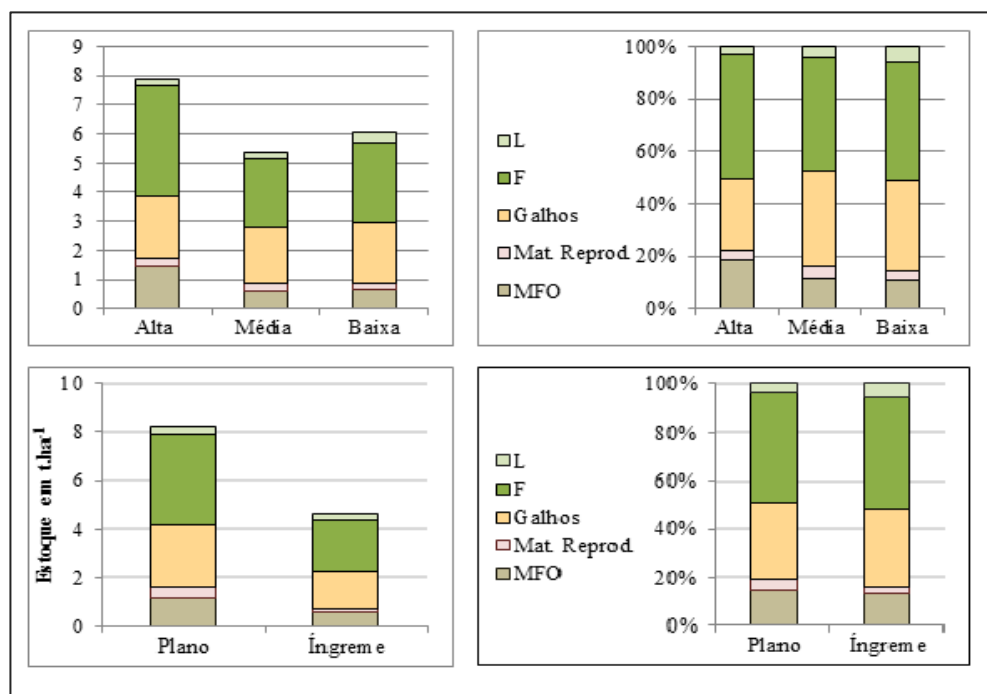


Figura 9: Massa e contribuição percentual dos diferentes tecidos no estoque de serrapilheira em função da posição topográfica e declividade (MIRANDA, 2013).

Uma variação significativa foi evidenciada por Miranda (2013) em função da declividade, ao comparar áreas com declividade $> 30^\circ$ e áreas com $< 10^\circ$. Os estoques apresentaram, em média, 45% menos massa acumulada nas áreas íngremes, porém, a estrutura apresentou-se proporcionalmente similar, com alguma redução no tecido reprodutivo nas áreas íngremes em razão da maior tendência de movimento encosta abaixo das sementes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de procedimentos, amostragens e análises realizados buscaram elucidar os fatores que condicionam as alterações COD na água fluxos hidrológicos em encosta florestada. Para tanto, propôs-se uma caracterização da encosta com dados sobre a estrutura da vegetação e a dinâmica da serrapilheira. Tais variáveis foram analisadas sobre suas influências na distribuição espacial da concentração de COD em diferentes condições de pluviosidade.

4.1 DESENHO AMOSTRAL

4.1.1 Espacialidade das coletas

Foram delimitadas 4 parcelas de formato retangular de 10 x 15 metros (150 m²), na área laboratório, distribuídas em diferentes posições topográficas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Buscou-se alguma equidistância entre as parcelas, o quanto foi possível. Estas foram posicionadas sempre com a maior medida (15m) transversal ao declive principal (figura 10).

A área das parcelas foi utilizada integralmente para a escolha do local de instalação de:

- 05 (cinco) coletores de aporte de serrapilheira;
- 05 (cinco) coletores de pluviosidade (pluviômetros artesanais);
- 05 (cinco) coletores para o lixiviado da serrapilheira;
- 04 (quatro) lisímetros de sucção (10, 25, 50 e 100cm de profundidade);
- 06 (seis) coletas de estoque de serrapilheira sobre o solo.

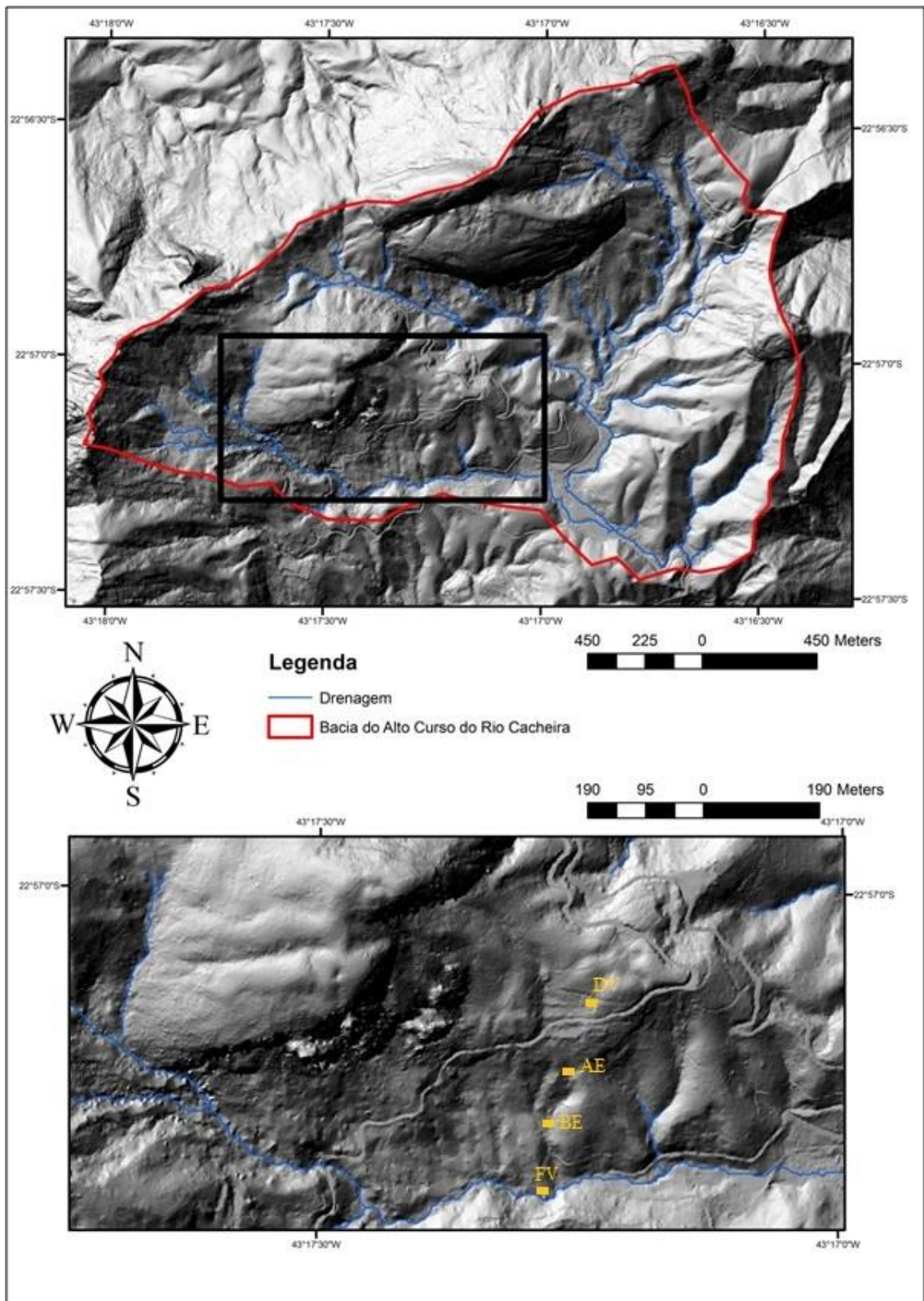


Figura 10: Encosta sul do Morro do Archer e a localização das parcelas: Divisor de Drenagem (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV).

Considerando a pequena área das parcelas, para evitar coletores muito próximos, optou-se pela divisão das parcelas em 5 “setores” de aproximadamente 30m² para a distribuição espacial dos pluviômetros e coletores de serrapilheira produzida, posicionados 01 (um) de cada tipo em cada setor. Tal medida objetivou apenas uma “mais controlada” distribuição espacial para estas coletas, em detrimento ao método aleatório geralmente empregado, embora não tenha ocorrido nenhuma análise espacial dos dados intra-parcela. Nesta divisão, os setores representaram 04 (quatro) quinas e 01 (um) na sua área central da parcela, de forma similar ao representado na figura 11.

Os lisímetros de sucção foram posicionados sob observação da topografia. Buscou-se áreas de pequenas concavidades, acreditando que tal medida poderia facilitar a retirada de solução do solo.

As coletas de estoque de serrapilheira sobre o solo foram realizadas com 6 réplicas espaciais em cada parcela (3 em cada período), em áreas dentro da parcela onde evitou-se o pisoteio. Como medidas para evitar o pisoteio, foram utilizadas vias preferenciais de circulação dentro das parcelas ao longo de todo o período de pesquisa, e foram realizados os levantamentos de estrutura da vegetação somente após as coletas, uma vez que tal procedimento poderia danificar muito os estoques.

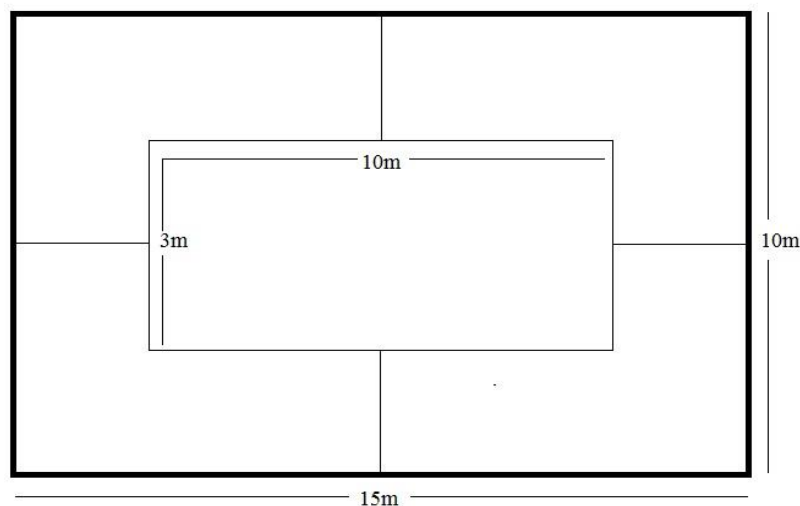


Figura 11: Esquema da distribuição espacial dos cinco setores para instalação dos instrumentos dentro de cada parcela.



Figura 12: Exemplo da distribuição dos coletores na Baixa Encosta (BE).

A coleta da precipitação inicial e da água do canal foram as únicas que ocorreram fora das parcelas. A precipitação inicial foi coletada em condição aberta na sede administrativa do PARNA-Tijuca, conhecida como Barracão. Foi utilizado um pluviômetro artesanal similar ao das parcelas, posicionado sobre a estrutura de um pluviômetro do GEOHECO-UFRJ abandonado (figura 13).

A água do canal foi coletada no Rio do Archer, o qual a encosta laboratório representa a área norte de sua captação. A área de coleta foi sempre a mesma, cerca de 30m “rio abaixo” da parcela FV, posicionada à beira do referido rio. Eram coletadas, a cada evento colecionado, 03 (três) amostras da água do canal, em pontos diferentes, evitando-se águas paradas, assim como pontos de grande velocidade de fluxo.



Figura 13: Pluviômetro em área aberta no Barracão PARNA-Tijuca.

4.1.2 Temporalidade das coletas

A quantificação da produção de serrapilheira ocorreu a partir de coletas mensais ao longo de 12 meses consecutivos, desde o início do mês de fevereiro de 2016 até o fim de janeiro de 2017. Os estoques de serrapilheira sobre o solo foram caracterizados separadamente no verão e inverno, em razão da potencial influência da sazonalidade na taxa de decomposição e, conseqüentemente, na massa e estrutura dos estoques (MONTEZUMA, 2005). Avaliou-se tal variação sazonal na produção e nos estoques.

As coletas de água para mensuração da interceptação, assim como para as análises químicas sobre a concentração de COD, ocorreram em 06 (seis) oportunidades, todas após eventos de chuva, com os coletores previamente preparados (esvaziados e limpos) para realizar as coletas. O monitoramento da ocorrência ou não da precipitação na

área de estudo para decisão de coleta foi realizado pelo sistema Alerta de Cheias do INEA (alertadecheias.inea.rj.gov.br), estação Capela Mayrink. As coletas ocorreram nas seguintes datas: 22/05/2016; 24/07/2016; 04/09/2016; 13/10/2016; 12/02/2017; e 17/03/2017. A comparação dos fluxos de COD entre os diferentes eventos foi um dos objetivos do estudo, avaliando-se a influência da umidade antecedente (representada pelo tempo de estiagem pré-evento e acumulado de chuva antecedente) como efeito de pré-lavagem, assim como dos volumes totais precipitados e a intensidade da precipitação e como efeito da diluição do lixiviado.

4.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Os dados sobre a estrutura da vegetação foram levantados em área um pouco maior do que as parcelas, a fim de considerar possíveis indivíduos que estivessem fora das parcelas, porém com grande participação na dinâmica de interceptação e da serrapilheira (com grande cobertura da copa sobre a parcela). Para tanto, as parcelas originais foram acrescentadas de 2,5m para todos os lados, conformando uma área de 300m² cada parcela (15 x 20m). Assim, foram levantados dados em um total de 1200m² na encosta estuda.

Dentro destas áreas foram contabilizados: o diâmetro à altura do peito (DAP); a área basal (G); o número de indivíduos (n); a densidade de indivíduos (n/área); a altura do dossel (h); a abertura do dossel; além da presença de palmeiras e indivíduos com troncos bifurcados. Verificou-se a possibilidade de haver alguma correspondência entre a estrutura da vegetação e a concentração de COD na precipitação atravessada (P_A), uma vez que a lavagem da copa é potencial enriquecedor de COD à água precipitada (MCDOWELL e LIKENS, 1988).

Os dados de DAP derivaram da medição em campo do perímetro à altura do peito (PAP) (figura14). Foram contabilizadas as árvores que apresentarem $PAP \geq 5\text{cm}$ (CUNHA, 2004). A transformação de PAP em DAP utilizou a generalização da forma da área de secção de um tronco para um círculo perfeito (SILVA e NETO, 1979). Assim, é

possível transformar perímetro em diâmetro pela relação geométrica de um círculo, através da equação:

$$DAP = \frac{PAP}{\pi}$$

Unidades:

DAP (cm) e PAP (cm).

Através dos dados de DAP é possível calcular a área basal (G). A área basal consiste no somatório das áreas transversais individuais (g) de todas as árvores, extrapolado para hectare (ha), e serão utilizadas as fórmulas simplificadas (SILVA e NETO, 1979):

$$g = 0,78539 * DAP^2$$

$$G = (\sum gi) * 50$$

Unidades:

g (m²), DAP (m) e G (m².ha⁻¹).

O número de indivíduos foi contabilizado para que fosse calculada a densidade de indivíduos por hectare (ind.ha⁻¹), multiplicando-se o número de indivíduos contabilizados em 100m² por 100 (10000/100). Também foi estimada a altura das árvores, a partir do seu ponto visível mais alto, considerando o consenso de ao menos 03 (três) pesquisadores e/ou estagiários envolvidos com o levantamento.

A presença de palmeiras, árvores mortas e troncos bifurcados servem como indicadores para a avaliação do estágio sucessional e/ou ocorrência de clareiras. A ideia de estágio sucessional deve estar associada à questão da escala, já que as clareiras podem reiniciar o processo de sucessão em manchas isoladas, inseridas em uma matriz de estágio mais avançado (ODUM, 2004). Assim, a diferenciação entre os dois se dá pela escala/forma da distribuição destes indicadores.



Figura 14: Trabalho de levantamento da estrutura da vegetação.

4.3 ANÁLISES PLUVIOMÉTRICAS

Ao todo, foram utilizados 21 pluviômetros artesanais para as mensurações sobre pluviosidade fora e dentro da floresta. Tais instrumentos foram confeccionados com tubos de PVC com 100mm de diâmetro de abertura, cortados em cerca de 40cm de altura cada, utilizando-se as dependências do CCMN-UFRJ (figura 15). Uma das extremidades foi fechada com *cap* de PVC e borracha isolante. Ficando esta extremidade para baixo, conformou-se o fundo de um recipiente. Formado o recipiente, na abertura superior foi encaixado um funil de exata abertura superior (100 mm), superfície essa que, de fato, captava a precipitação drenando-a para dentro do recipiente. Pluviômetros similares foram utilizados por Sato e colaboradores (2011).



Figura 15: Pluviômetro artesanal de PVC e parte do processo de sua manufatura.

Para diminuir perdas por evaporação foi colocada uma bola de ping-pong dentro de cada funil, de forma a permitir a entrada de água (pois a bola bóia), ao tempo que dificultava a saída de ar quando não chovia. As bolas de ping-pong foram pintadas com tinta acrílica na cor roxo para evitar-se possíveis perturbações causadas pela fauna local, que costuma retirar as bolas confundindo-as, provavelmente, com ovos ou sementes. Tal procedimento apresentou bons resultados quando contrastado com experiências anteriores na área (MIRANDA, 2013).

Foram mensurados os conteúdos acumulados dentro dos pluviômetros para a análise do comportamento de atravessamento em cada parcela. Entre os 06 (seis) eventos colecionados para a pesquisa como um todo, no primeiro não pôde ser mensurado o volume de precipitação atravessada. Assim, a análise da interceptação foi realizada a partir do segundo evento, contando com 05 (cinco) eventos analisados.

4.3.1 Precipitação Inicial (P_i)

Foi instalado um pluviômetro em área aberta, no Barracão, sendo tal bem próximo (cerca de 500m em linha reta) da encosta laboratório, para contabilizar-se o volume de precipitação antes da interceptação pelas copas. Em cada evento colecionado, o conteúdo retido no pluviômetro foi mensurado com o uso de proveta graduada. Para transformação do valor mensurado (ml) para altura de chuva (mm), foi utilizada a seguinte equação simplificada, considerando-se a área de abertura dos coletores:

$$At = Co/7,85$$

Onde:

At= atravessado (mm)

Co= coletado (ml)

4.3.2 Fluxo de Atravessamento (P_A)

Foram instalados 05 (cinco) pluviômetros dentro de cada parcela para a mensuração do volume de chuva que atravessa dossel florestal. Os pluviômetros foram instalados utilizando-se estacas de madeira de aproximadamente 1,5m, sendo estas fixadas ao piso a marretadas com marreta emborrachada. Para a fixação do pluviômetro à estaca, utilizou-se arame para forjar uma base e dois “braços” (figura 16). O atravessamento das parcelas foi dado pelo atravessamento médio entre os pluviômetros, para cada evento. Os procedimentos de mensuração e coleta foram realizados de forma idêntica ao citado para o pluviômetro de precipitação inicial.

A contribuição da lavagem das copas foi dada pela subtração da concentração obtida em P_I do encontrado em P_A , segundo a fórmula:

$$LC = PA - PI$$

Onde:

LC corresponde à Lavagem das Copas, em mg.L^{-1} .

P_A e P_I em mg.L^{-1} .

4.4 DINÂMICA DE SERRAPILHEIRA

Como dinâmica da serrapilheira podemos considerar seus dois processos fundamentais: produção (deposição de detritos) e acúmulo sobre o solo, o qual reflete o balanço da produção com a decomposição (mineralização do carbono orgânico). Deste balanço também deriva a estrutura do estoque, analisado basicamente pela proporção entre folhas “frescas” (camada L) e fragmentos de folhas (camada F). Assim, a dinâmica de serrapilheira foi avaliada pelas taxas de produção e seu acúmulo sobre o solo, de onde estima-se índices de decomposição (OLSON, 1963)



Figura 16: Pluviômetro posicionado na parcela com o uso de estaca de madeira.

4.4.1 Produção de serrapilheira

Em cada parcela foram instalados 05 (cinco) coletores circulares distribuídos como explicitado no subcapítulo 4.1.1, para o armazenamento da biomassa morta que cai sobre o piso florestal. A área de cada coletor é de $0,265\text{m}^2$, totalizando $1,325\text{m}^2$ amostrados por parcela, e $5,3\text{m}^2$ amostrados na encosta como um todo. A forma circular foi escolhida por distribuir melhor a área do coletor evitando-se cantos (OLIVEIRA, 1987). Todos os coletores foram confeccionados com o uso de tubos de plástico

(bambolês) e tela de nylon, devendo ficar posicionados entre 1 e 1,5 metros do solo (figura 17).

O tratamento em laboratório consistiu na secagem do material a 60°C até que peso constante, na triagem em diferentes tecidos: folhas; material lenhoso (galhos); e componentes reprodutivos (frutos, flores e sementes), e, por fim, o material foi pesado separadamente em balança de precisão de três casas decimais (0,001g). Os valores obtidos na pesagem foram extrapolados para Mg.ha^{-1} com o uso da fórmula simplificada em função da área do coletor:

$$Pt = Pg * 0,0378$$

Onde:

Pt = Peso em Mg.ha^{-1} .

Pg = Peso (g) retirado de cada coletor.



Figura 17: Exemplo do coletor de produção de serrapilheira.

4.4.2 Estoque de serrapilheira

A análise do horizonte orgânico do solo foi realizada através da coleta e pesagem das massas estocadas e observação de sua estrutura. Esta etapa teve como objetivo principal caracterizar os estoques de forma comparativa entre as parcelas, de forma a subsidiar a discussão sobre as diferenças observadas na concentração de DOC no lixiviado.

Foram coletadas 6 amostras do estoque de serrapilheira em cada parcela, 03 (três) em cada período, inverno e verão. Para tal, foi utilizado um quadrado de madeira de 0,25 x 0,25m (0,0625m²). Todo o material perceptivelmente orgânico foi retirado desta área e colocado em sacos plásticos para serem transportados ao laboratório (figura 18). O material coletado foi triado em laboratório como o proposto em Garay & Silva (1995):

- Camada L - Folhas recém caídas, não fragmentadas e sem sinais aparentes ou com pouca alteração e/ou descoloração.
- Camada F – Folhas com diferentes graus de fragmentação
- Galhos – Material lenhoso com menos de 2 cm de diâmetro.
- Material Fino Bruto (MFB)– todo material menor que 2mm, sendo composto tanto de material orgânico, quanto de partículas minerais.

Cada fração triada foi pesada separadamente em balança de precisão após a secagem em estufa a 60°C até atingir peso constante. A intenção inicial era queimar o Material Fino Bruto (MFB) em mufla para quantificação do Material Fino Orgânico (MFO). Todavia, o equipamento que seria utilizado apresentou defeito, e tal quantificação não pôde ser realizada. Assim, não foi possível contabilizar a fração orgânica < 2mm nos estoques. Com o conhecimento da área amostrada, os valores pesados em gramas foram extrapolados para Mg.ha⁻¹. Como estoque total de serrapilheira foi considerado a soma das frações foliares (camadas L e F), galhos e material reprodutivo.



Figura 18: Quadrado de madeira para a coleta do estoque de serrapilheira sobre o solo.

4.4.3 Constante de decomposição

Foi avaliado se possíveis diferenças na constante K , sugerida por Olson (1963), entre as parcelas influenciaram as concentrações de COD lixiviado da serrapilheira. Como foi ressaltado por Sato (2008), a constante de decomposição, K , é amplamente utilizada até os dias de hoje, principalmente para fins comparativos, resguardando-se suas limitações. Obtém-se essa constante pela razão entre a produção anual de serrapilheira (L) e seu estoque médio (X), dada a fórmula:

$$K = \frac{L}{X}$$

4.5 ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES DE DOC

A análise da concentração de DOC foi separada em três compartimentos de coleta de acordo com o comportamento de sorção esperado: entrada/lixiviação; horizonte mineral/adsorção; e canal/exportação.

No primeiro compartimento, entrada/lixiviação, foi analisada a concentração de COD na água da precipitação inicial, na precipitação atravessada e na água percolada pela serrapilheira. Verificou-se o quanto as lavagens da copa e da serrapilheira se apresentaram como fontes de COD para o horizonte mineral.

No segundo compartimento, horizonte mineral/adsorção, foi analisada a concentração de COD na solução do solo em diferentes profundidades e em diferentes posições de uma encosta. Considera-se o horizonte mineral como o compartimento de adsorção do COD ao solo.

No terceiro compartimento, canal/exportação, foi analisada a concentração de água no canal, o Rio do Archer. Foram avaliadas as variações nas concentrações entre e os eventos e, principalmente, em relação ao encontrado no horizonte mineral e no lixiviado da serrapilheira, destacando o papel do solo na dinâmica de COD.

4.5.1 Precipitação inicial (P_I)

Consiste na concentração de COD na água da chuva antes de atravessar as copas das árvores, sem o efeito da lavagem das mesmas. Foi utilizada a água coletada para a mensuração da precipitação inicial, do pluviômetro instalado no Barracão.

4.5.2 Fluxo de Atravessamento (P_A e L_C)

Mesmo procedimento utilizado na precipitação inicial, porém com a utilização do material coletado nos 05 (cinco) pluviômetros instalados em cada parcela. Cada pluviômetro gerou uma amostra que foi analisada separadamente. Foi considerada como

concentração média de COD na chuva atravessada de cada parcela (P_A) a média aritmética entre as 05 amostras. A contribuição da lavagem da copa (L_C) foi dada pela subtração da concentração do COD em P_I da concentração em P_A , todas as unidades em mg.L^{-1} .

4.5.3 Fluxo atravessado pela serrapilheira (P_S e L_S)

Para esta coleta, em cada parcela, foram utilizados 05 (cinco) coletores artesanais com o objetivo de captar a água que drena entre o horizonte orgânico (serrapilheira) e o predominantemente mineral. Concatenar uma forma eficiente de coletar a água neste compartimento foi um dos desafios mais envolventes em relação ao processo de pesquisa. Neste trabalho, tomou-se como desafio fazer esta coleta *in situ*, mantendo as condições de campo para a lixiviação. Os coletores foram confeccionados utilizando-se uma pequena pá de lixo plástica (Polipropileno-PP), e um tubo plástico com 10 mm de diâmetro conectado a área central do fundo da pá por um orifício, e fixado com arames e massa Durepox (figura 19).

Para a instalação em campo, cavou-se pequenas trincheiras ($\pm 15\text{cm}$ de altura) onde cada coletor foi inserido cuidadosamente logo abaixo o estoque de serrapilheira, com a ajuda de uma faca de 6" para sustentar o estoque levemente erguido (figuras 20 e 21). Também era cavado um pequeno buraco pouco abaixo, onde foram posicionadas garrafas para onde o tubo plástico drenava o fluxo captado pela pá. O cabo e a mangueira dos coletores foram pintados com tinta laranja e rosa para facilitar sua identificação em campo.

A concentração do COD no conteúdo coletado neste compartimento foi considerado como Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S). Do valor obtido em cada amostra, foi subtraído o valor médio da concentração do fluxo de atravessamento de cada parcela (P_A), resultando em valor que foi considerado como Lavagem da Serrapilheira (L_S).



Figura 19: Coletor de precipitação atravessada pela serrapilheira (P_S).



Figura 20: Pequena trincheira cavada para a instalação dos coletores de Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S).



Figura 21: Coletores do fluxo atravessado pela serrapilheira (P_s) instalado em campo, conectados ao recipientes de armazenamento.

4.5.5 Horizonte mineral

Para esta análise, foi programada a coleta de amostras da água referentes à solução do solo em quatro profundidades: 25; 50; e 100cm. Foram instalados 03 (quatro) lisímetros de sucção artesanais em cada parcela, 01 (um) em cada profundidade: , para cada parcela. As coletas ocorreram ao término de cada evento de precipitação coletado.

Os lisímetros foram confeccionados com o uso de tubos de PVC de 1/4”, pontas porosas de cerâmica, rolhas de borracha e tubos de borracha (6mm de diâmetro). Os tubos foram cortados com cerca de 35cm a mais do que a profundidade indicada para cada lisímetro. Em uma das extremidades a ponta porosa foi colada com cola para PVC. A rolha, que foi utilizada para fechar a outra extremidade, foi perfurada para a passagem do tubo – que alcança o fundo onde está a ponta porosa – e a zona de contato rolha-tubo plástico foi vedada com cola de silicone. Foi descontada a altura da ponta porosa (6 cm), de forma que a profundidade indicada se referisse à ponta do instrumento. Assim, a área de troca com o solo se deu da profundidade indicada até 6cm acima.

Para a instalação em campo, foi aberto um buraco com trado de 1/4” até a profundidade de cada pluviômetro. Fez-se necessário evitar quaisquer superfícies mais duras (como pequenas pedras intemperizadas) ao longo do perfil escavado, pois a ponta porosa é muito sensível e “forçar a passagem” na hora de inserir o instrumento acarretou em quebra da ponta em algumas ocasiões. Após a inserção do tubo, eram necessárias algumas semanas de acomodação (selamento natural do vão entre o lisímetro e solo) para que os instrumentos comesçassem a “segurar” o vácuo.

A extração do material era feita aplicando-se vácuo com uma bomba de vácuo manual para a aplicação de cerca de -65BAR (o ponto de borbulhamento da ponta porosa era de -70 BAR), e o instrumento era vedado e deixado com vácuo de um dia para o outro (cerca de 20h). Depois utilizava-se a mesma bomba para retirar o conteúdo que entrou no lisímetro, com o auxílio de um recipiente próprio da bomba.

Entre os maiores desafios estava a já citada acomodação do lisímetro. De fato, todos os 04 (quatro) lisímetros programados para 10cm de profundidade não seguraram o vácuo em momento algum do período de pesquisa. Os demais lisímetros posicionados nas parcelas médias (AE e BE) não coletaram água também, seja por não segurar o vácuo (25 e

50 cm em ambas as parcelas, e 100cm em BE) ou por simplesmente não ocorrer a entrada de solução do solo (100 cm em AE). Neste segundo caso, provavelmente o solo apresentava maior força de sucção, acima do vácuo empregado. Em suma, apenas os lisímetros em 50 e 100 cm em DV e FV coletaram material com alguma constância, mas não coletaram sempre. O lisímetro de 25cm em FV coletou em duas ocasiões, sendo o único a coletar nesta profundidade.

4.5.6 Análise química - concentração de COD nas amostras de água

As amostras foram acondicionadas segundo as normas da *Environment Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos. O acondicionamento começa com a escolha do material para os frascos onde as amostras serão transportadas e armazenadas, além de um conjunto de procedimentos e condições específicas para este armazenamento. Em campo, foram utilizados frascos PP (polipropileno), escuros para evitar foto-oxidação. Em laboratório as amostras eram filtradas com filtro de 0,45 μ m, diferenciando operacionalmente as frações particuladas (MOP > 0,45 μ m) e dissolvidas (MOD < 0,45 μ m).

A escolha do material do filtro é importante em função do risco de contaminação. A EPA indica a utilização de filtros compostos por polietersulfone (PES) com base no estudo de Karanfil e colaboradores (2003), que comparou diversos materiais em relação à possibilidade de contaminação (liberação de C filtro) e também pela adsorção de MO ao filtro. Como o sugerido por estes autores, foram descartados os primeiros 5ml filtrados em cada filtro. Como não se utilizou pré-filtros de fibra de vidro (aconselhado pela EPA), algumas amostras necessitaram de 4 a 5 filtros para ser filtrar-se cerca de 30ml (quantidade solicitada para a análise), uma vez que amostras muito carregadas de MO (P_S, por exemplo) entupiam os filtros rapidamente. Após a filtragem, os 30ml de material eram armazenados em frascos de vidro numerados, de cor âmbar, e mantidos refrigerados em 4°C. Segundo a EPA, nestas condições, as amostras podem persistir por até 28 dias para serem analisadas. No presente estudo, em nenhuma ocasião estas ficaram armazenadas por mais de 15 dias.

As análises químicas foram realizadas em parceria com o Laboratório de Limnologia da UFRJ, no Departamento de Ciências Biológicas, em suas dependências. Foi utilizado o equipamento TOC-L da marca Shimadzu, o qual utiliza o método de oxidação ácida em dois níveis, onde é verificado o carbono inorgânico (IC) e o total (TC). O carbono orgânico é calculado pelo próprio equipamento pela subtração de IC do valor TC. O gás de arraste utilizado foi o monóxido de carbono (CO). O equipamento contava com uma bandeja para a automatização do aporte de amostras.

Assim como o indicado pelo fabricante, para evitar possível contaminação com origem na amostra anteriormente analisada, o material era posicionado na bandeja em ordem específica, começando com as amostras com prováveis menores concentrações, progressivamente até as amostras de prováveis maiores concentrações. Com isso, a ordem de análise foi sempre a mesma: Amostras do canal, P_I, P_C, SS e, por fim P_S. Além, era utilizada uma amostra em branco (água destilada e deionizada) entre cada conjunto de amostras de uma parcela (só não eram separadas por amostra em branco as amostras que iriam compor uma mesma média para uma parcela).

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Serão calculadas médias para cada parcela através de réplicas para fins estatísticos, a saber:

- Produção de serrapilheira – 05 (cinco) coletores por parcela;
- Estoque de serrapilheira – 03 (três) amostras por parcela em cada período (verão e inverno);
- Atravessamento pela copa e concentração de COD na água atravessada – 05 (cinco) amostras por parcela, para cada evento coletado;
- Concentração de COD no canal – 03 (três) amostras para cada evento coletado.

Através de tais réplicas serão calculados as médias e os respectivos desvios padrão. Além da comparação entre as parcelas será realizada a caracterização da encosta laboratório como um todo utilizando-se a média entre as parcelas.

A comparação entre as médias das parcelas será realizada através de análise de variância – teste Kruskal Wallis. Utilizou-se o teste Dunn *a posteriori* quando necessário. Os testes de análise de variância consideraram as variações significativas quando a probabilidade da hipótese nula foi menor que 5% ($p < 0,05$).

A dependência da concentração de COD em relação a variáveis (independentes) ambientais, para avaliar a variação entre eventos foi realizada com regressões lineares. As principais variáveis utilizadas foram: precipitação total dos eventos (mm); número de dias de estiagem; precipitação acumulada nos 10 (dez) dias antecedentes (mm); precipitação acumulada nos 15 (quinze) dias antecedentes (mm); precipitação acumulada nos 30 (trinta) dias antecedentes (mm) e intensidade de precipitação (mm.h^{-1}). A análise com diferentes intervalos de tempo para a precipitação acumulada antecedente objetivou a percepção do intervalo temporal onde a precipitação é mais relevante, considerando que, quanto mais anteriores estas forem devem perder capacidade de influência, ao tempo que, não necessariamente, apenas as chuvas “logo anteriores” possam influenciar. Buscou-se refinar esta percepção através do da observação do melhor ajuste em os intervalos de tempo citados.

As análises sobre a sazonalidade dos estoques de serrapilheira sobre o solo e de sua variação entre as parcelas, foram realizadas conjuntamente com uso de uma ANOVA de dois fatores – esquema de blocos e tratamentos. Os diferentes eventos constituiram os tratamentos replicados nos blocos (parcelas). Este tipo de delineamento utiliza o resíduo de uma variância no aferimento da outra (GOTELLI e ELLISON, 2011). Para a verificação das populações de dados distintas no caso de possível efeito significativo dos blocos, foi utilizado o teste Dunn (0,05%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE AMBIENTAL

5.1.1 Estrutura da vegetação

Ao todo, foram contabilizados 241 indivíduos (DAP >5cm), em uma área total amostrada de 1200m², equivalente a uma densidade de 2008,25 (\pm 494,69) ind.ha⁻¹. O DAP médio (incluindo apenas DAP's >5cm) para a encosta estudada foi 14,01 (\pm 12,0) cm, e a altura média foi de 8,72 (\pm 5,17) m. No tangente a estudos sobre estrutura da vegetação, a separação em classes, tanto de altura como de DAP, dificultam comparações entre trabalhos, pois não há na literatura uma definição concreta sobre os intervalos de separação entre as classes. A tabela 1 apresenta os valores obtidos em relação à estrutura em cada parcela. Em DV, foram contabilizados 78 indivíduos com DAP>5cm nos 300m² amostrados. No sentido encosta abaixo, em AE, com a mesma área amostrada, observou-se a redução do número de indivíduos, sendo contabilizados 63. Em BE, se manteve a redução, e foram contabilizados 58 indivíduos. Por fim, em FV, contabilizou-se 42 indivíduos. Dessa forma, é possível afirmar que foi encontrada uma tendência de redução da densidade de indivíduos (DAP > 5 cm) no sentido encosta abaixo. Lacerda (2001) verificou a tendência de aumento da densidade de árvores com o aumento da altimetria, associando tal resultado ao efeito da maior recorrência de neblina, assim como de quaisquer outros fatores que influenciem negativamente no crescimento vegetal. Dentre os efeitos da neblina está o aumento da umidade relativa do ar que dificulta a transpiração, afetando a captação de água e nutrientes do solo.

O resultado mais comum em relação à análise da distribuição dos indivíduos em classes de DAP é a diminuição do número de indivíduos na medida que avança-se para as classes de maior diâmetro. Esta distribuição é comum nas florestas tropicais, conhecida “J” invertido, observado também na Amazônia (JARDIM, SENA e MIRANDA, 2008), por exemplo, e por Jansen (2001), Montezuma (2005) e Negreiros (2011), estes em áreas bem próximas à encosta estudada. Foi possível corroborar tais observações com exceção na parcela DV, que apresentou maior número de indivíduos na classe 10-20 cm em relação à classe 5-10 cm (figura 22).

Tabela 1: Valores referentes à estrutura da vegetação em cada parcela.

Local	Núm . ind.	DAP médio (cm)	Densidade (ind.ha ⁻¹)	Área basal (m ² .ha ⁻¹)	Maior DAP (cm)	Altura média (m)	Maior altura (m)	Palmeiras (n°. ind.)	Árv. mortas
DV	78	14,54 ± 12,0	2599,97	70,94	70,7	8,42 ± 4,8	25	45	7
AE	63	12,63 ± 10,1	2099,98	42,83	57,32	8,67 ± 9,3	23	14	0
BE	58	13,23 ± 11,9	1933,31	48,66	57,96	9,54 ± 6,0	25	27	3
FV	42	16,51 ± 14,5	1399,99	52,68	59,84	8,61 ± 5,6	25	03	2

Comparando-se os resultados entre as parcelas, percebe-se que tal fato ocorre devido a maior presença na classe 10-20cm, onde esta parcela se destaca com mais indivíduos, e não por uma baixa presença em 5-10cm, classe essa na qual DV apresenta número de indivíduos próximo às demais parcelas. A maior ocorrência de palmeiras pode ser uma explicação para o maior número de indivíduos na classe 10-20 (19 indivíduos nesta classe), assim como uma das principais responsáveis pela maior densidade encontrada nesta parcela. Com 45 indivíduos em DV, as palmeiras representaram cerca de 38,84% do total de árvores nesta parcela, proporção acima do encontrado para Floresta Primária na mesma cota altimétrica, cerca de 20% (LACERDA, 2001). No geral, as classes de maior DAP, em todas as parcelas, foram condizentes com uma floresta secundária tardia (BORÉM e OLIVEIRA-FILHO, 2002), apresentando ausência de DAP >60cm, típicos de florestas primárias (LACERDA, op cit.).

A área basal foi consideravelmente superior em DV, decaindo em AE, e aumentando gradativamente encosta abaixo até FV, onde se observou o segundo maior valor. A área basal maior em AE deve ser fruto da maior densidade de árvores, sendo esta, muitas vezes, a razão (ocasionada pela maior presença de palmeiras no sub-bosque) para maiores áreas basais encontradas em florestas primárias quando comparadas com correlatas secundárias tardias (LACERDA, 2001).

A parcela FV apresenta menor número de indivíduos entre 5 e 20cm, propiciando um decréscimo menos acentuado no número de indivíduos a medida que avança-se para as classes de maior DAP. Isto demonstra maior contribuição proporcional dos indivíduos de maior DAP em relação ao universo de classes (figura 23). Dessa forma, destaca-se a importância proporcional das classes 20-40 e >40 cm nesta parcela. O aumento da área basal conjunto à redução da densidade de árvores corrobora essa ideia.

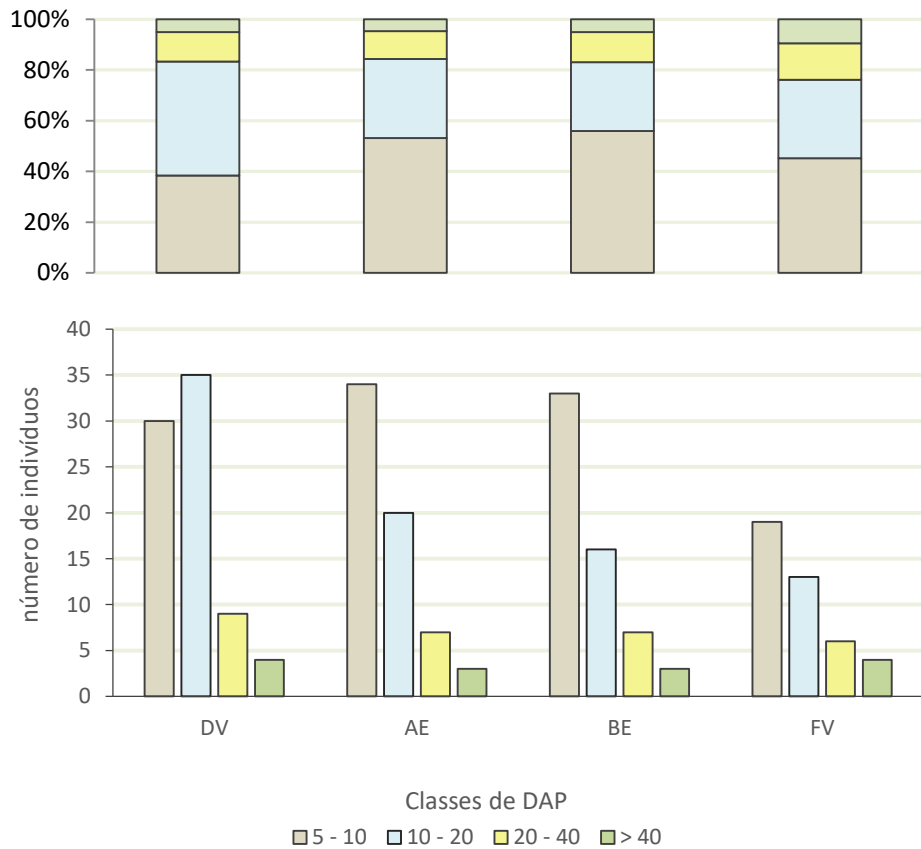


Figura 22: Contribuição percentual e distribuição do número de indivíduos de cada classe de DAP nas parcelas.

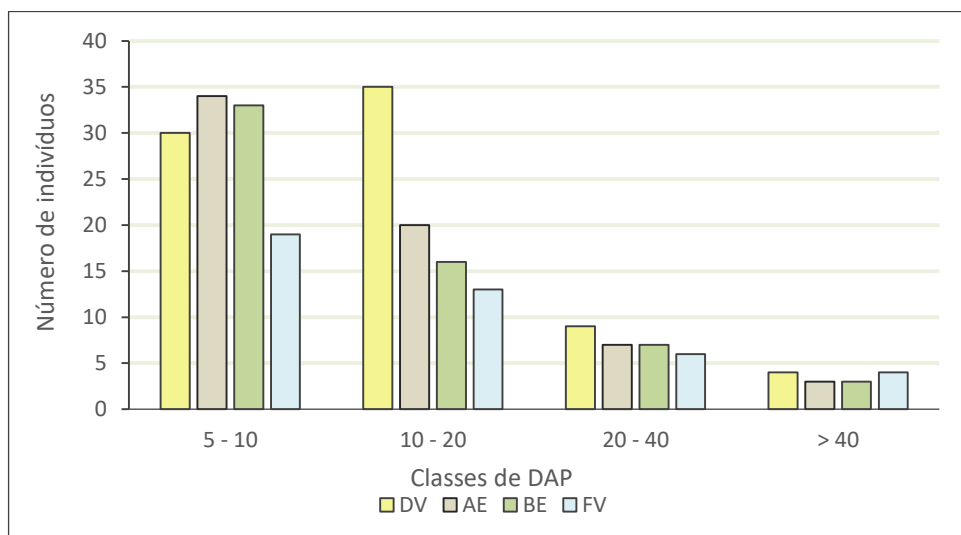


Figura 23: Distribuição do número de indivíduos em cada parcela em função das classes de DAP.

FV e DV apresentaram maior número de indivíduos com DAP >40cm (n=3 cada), além das maiores altura estimadas (25m), dados típicos de áreas com sucessão mais avançada. Porém ocorre altura reduzida frente à florestas primárias similares na mesma cota altimétrica, de acordo com estudo feito por Lacerda (2001) ao longo de um gradinete altitudinal em Picinguaba, SP. Na área de estudo, o maior DAP foi encontrado em DV. Contudo, a maiores quantidade de palmeiras (que não foram identificadas) e densidade de indivíduos, assim comom do número de árvores mortas, para esta parcela (DV), parecem típicas de uma fase menos avançada. Em DV, parece haver indivíduos clímax típicos, de idade avançada, mas a composição (analisada aqui de forma incipiente pela presença de palmeiras) e a densidade são, comparativamente, mais típicas de sucessão “menos maduras”. O maior número de árvores mortas pode representar que está área ainda está em fase de “substituição das espécies”. Pode ajudar a explicar isto é o fato desta encosta (Archer) ter sido *locus* da intervenção que promoveu o reflorestamento da área da Floresta da Tijuca (Drumond,1988).

Contempla-se que os indicadores: maior DAP (i) e maior altura (ii) estão, em grande parte, associados entre si (mesmos indivíduos nos dois maiores), e são de caráter individual das árvores, e que os outros indicadores: número de palmeiras (i), de árvores mortas (ii) e densidade (iii), são de âmbito mais ecossistêmico ou a nível de comunidade. Assim, é possível propor a hipótese de que os indivíduos com maiores DAP's encontrados em DV possam ser resultado direto da ação de manejo. Seria possível, ao considerar isto, que a comunidade vegetal não tivesse evoluído sucessionalmente na mesma velocidade que as áreas adjacentes à jusante, uma vez que divisores apresentam peculiaridades microclimáticas típicas, principalmente em relação a incidência de luz, vento e menor permanência de água disponível no solo, conformando um gradiente ecológico natural na escala de encosta. Não propõe-se aqui uma afirmação concreta neste sentido, pois para a verificação da hipótese citada necessitaria de um estudo mais profundo, incluindo dados sobre a taxonomia e idade dos indivíduos, além de detalhes a cerca dos procedimentos realizados no replantio. Cabe aqui, apenas, interpretar o observado com o objetivo de caracterizar de forma geral as diferenças estruturais entre as parcelas.

Em relação à arquitetura vertical da comunidade vegetal, todas as parcelas parecerem possuir, ao menos, dois estratos arbóreos bem definidos, apresentando dossel fechado em cerca de 10m e um extrato contínuo superior entre 15 e 20m (figura 24). Em

DV, este contínuo superior parece encontrar-se um pouco abaixo, entre 12 e 18m. Já em BE, esse dossel superior parece ser o mais alto entre as parcelas, onde se observa o maior número de indivíduos com altura superior à 21 metros (n= 01; 01; 06; e 01 para as parcelas DV, AE, BE e FV, respectivamente). Nas parcelas DV, AE e FV, as árvores com altura superior à 21 metros parecem ocorrer como emergentes em relação a um dossel contínuo um pouco abaixo (aproximadamente entre 15 e 20 m). Já em BE, a maior presença de árvores mais altas (e copas mais largas) aproxima consideravelmente suas copas, conformando um contínuo de cobertura a cerca de 20 metros de altura do solo. Como provável consequência, nesta parcela, observa-se a redução do número de indivíduos com altura entre 12 e 21 metros. Há, em BE, a impressão de um segundo estrato de cobertura com numerosa presença de palmeiras entre 9 e 15 metros de altura. Já em DV, onde se observou o maior número de palmeiras, muitas destas alcançavam o dossel superior, o que não ocorre em BE.

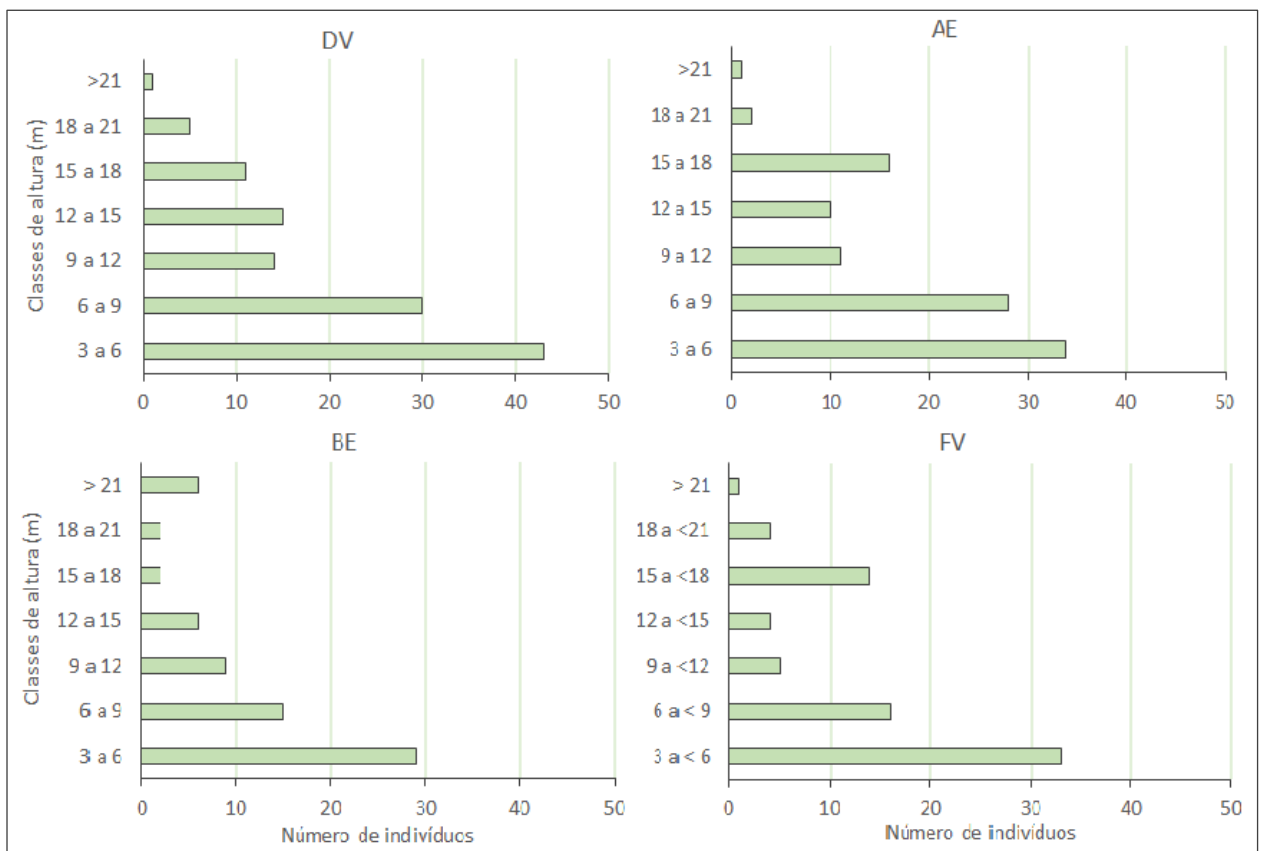


Figura 24: Distribuição do número de indivíduos de cada classe de altura nas parcelas.

Como o esperado, a altura das árvores demonstrou similaridade e tendência de aumento associado ao aumento do DAP (figura 25). Destaca-se novamente a influência da grande presença de palmeiras em DV, as quais algumas delas, as mais altas, não apresentam a mesma proporção alométrica em relação ao DAP/Altura, do que com os outros indivíduos arbóreos. São palmeiras os indivíduos que se apresentam com altura de 20m, porém com DAP abaixo de 25cm (n=02). Nas demais parcelas, só há árvores de 20m de altura com DAP acima de 35cm. Cabe ressaltar que em FV, apesar de não haver árvore de 20m com DAP <35cm, há a aparência de um menor DAP geral em relação a altura. Isto pode estar relacionado à característica aproximadamente plana dessa parcela.

Miranda e colaboradores (2014) comparou os DAPs e as alturas das árvores entre parcelas planas e declivosas (declive <10 e >30°, respectivamente), na mesma encosta, e observou que nas áreas íngremes as árvores tendiam a um menor razão altura/DAP. Tal fato foi argumentado em função da maior disputa por luz em áreas planas, exigindo um grande crescimento vertical antes do incremento volumétrico, como se observa também na Amazônia (JARDIM, SENA e MIRANDA, 2008), por exemplo. Lacerda 2001 encontrou esta tendência ao longo de um gradiente altimétrico recoberto de floresta primária de Mata Atlântica, observando um aumento na altura com o incremento do DAP na planície, em detrimento aos ambientes de encosta. Soma-se a isto o fato dos fundos de vale apresentarem menor incidência de luz, o que poderia potencializar essa disputa. Montezuma (2005) encontrou resultados similares quanto à relação altura/DAP em área próxima à encosta laboratório.

Em suma, as parcelas não indicaram diferenças significativas entre elas do ponto de vista da estrutura da vegetação. O principal destaque ocorre na parcela DV em função da maior presença de palmeiras e da maior densidade de indivíduos, os quais podem oferecer reflexos um pouco mais profundos em relação a interceptação da chuva e sobre a dinâmica da serrapilheira. As árvores jovens e plantas arbustivas, não mensuradas (DAP < 5,0 cm), aparentaram ser mais numerosas em DV, dando um aspecto mais fechado para o deslocamento pessoal na área da parcela.

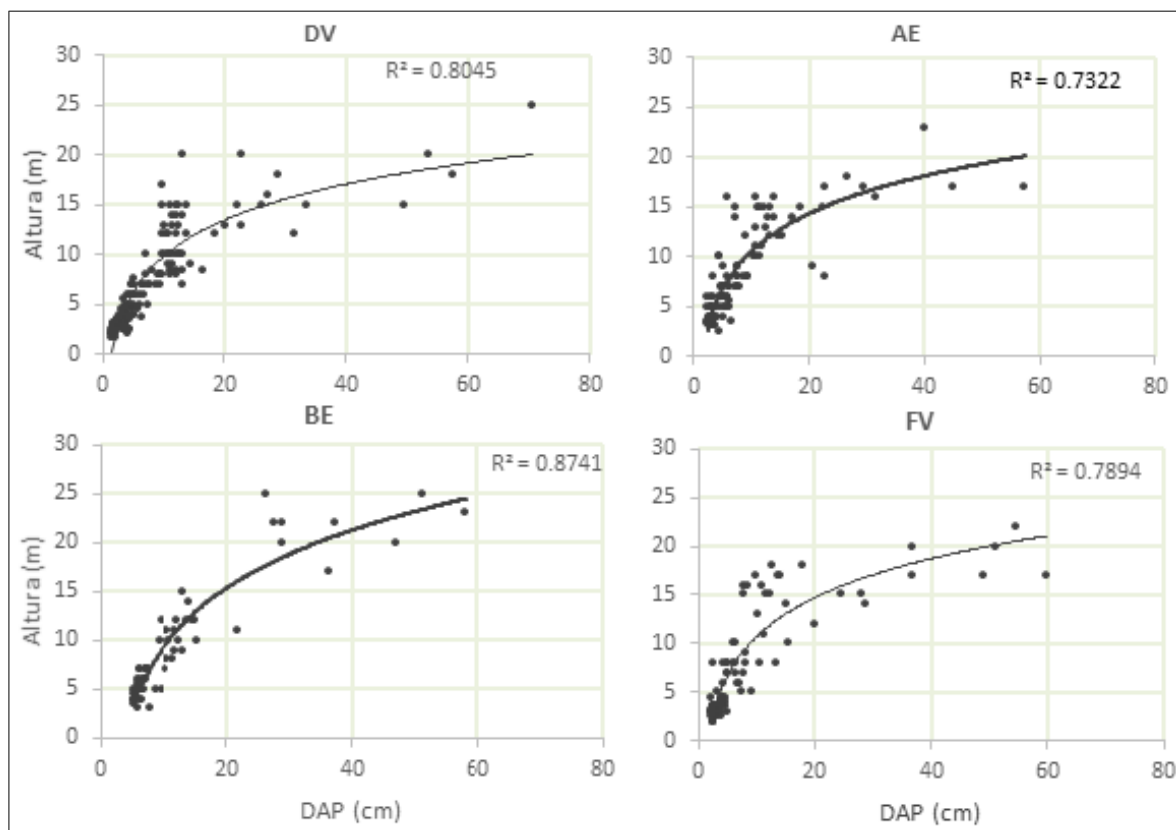


Figura 25: Dispersão dos dados da altura dos indivíduos em relação aos seus respectivos DAP's, em cada parcela: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Coeficiente de determinação (R^2) para curva de regressão logarítmica.

5.1.2 Fluxo de atravessamento

A média geral de percentual de atravessamento, considerando todos os eventos e parcelas, foi de 51,6 % ($\pm 24,8\%$ entre os eventos; $\pm 5,02\%$ entre as parcelas). Este valor encontra-se abaixo em comparação ao encontrado por outros autores na própria floresta da Tijuca ou no Maciço da Pedra Branca (RJ), em situação sucessional de floresta secundária tardia, sendo próximo ao encontrado em floresta climax na Ilha Grande-RJ (TOGASHI et al., 2012). Ressalta-se que neste trabalho foram coletados poucos eventos frente a outros estudos com objetivo mais diretamente associado a esta análise. Assim, torna-se prematuro posicionar a área de estudo frente outros ambientes melhor monitorados, sobre sua interceptação média.

O baixo valor encontrado aqui pode ser resultado do número pequeno de eventos colecionados (n=5) que, por sua vez, abarcaram dois eventos de baixa precipitação total (4° e 5°, com 4,9 e 7,1mm precipitados, respectivamente), os quais tendem a um grande percentual interceptado (figura 26). Uma mensuração realmente representativa para o entendimento das modulações referentes à dinâmica de interceptação, e suficientes para o debate frente a outros ambientes, necessita de um número maior de eventos coletados. O presente trabalho focou em uma caracterização comparativa entre as parcelas.

Houve variação significativa entre os percentuais atravessados entre os eventos (figura 27). O maior atravessamento foi registrado no 6° evento, quando 91,32% da chuva atravessou o dossel, sendo interceptado apenas 8,68%. Tal evento foi o terceiro maior em total acumulado (40,76mm), em um contexto com segunda maior umidade antecedente (106,2mm acumulados nos 15 dias anteriores). Já os de maiores percentuais interceptados (4° e 3° eventos, com 25,99 e 39,28% interceptados, respectivamente) ocorreram com totais precipitados bem distintos (4,9 e 49,7mm, respectivamente para o 4° e 3° eventos).

O percentual atravessado pode depender muito do total precipitado, uma vez que as copas tem uma carga máxima de retenção. Excedido esse limite, tende a ser repassada ao solo toda a água precipitada. Togashi e colaboradores (op. cit) confirmaram esta tendência no Maciço da Pedra Branca, encontrando forte dependência direta entre o percentual atravessado e a precipitação total. Miranda (1992) também observou este padrão na Floresta da Tijuca. Entretanto, no presente trabalho, o percentual atravessado em cada evento não apresentou dependência quando analisado individualmente frente ao total precipitado ou ao número de dias de estiagem antecedente (figura 28). Nem mesmo quando avaliados conjuntamente, por regressão múltipla, estas variáveis apresentaram controle sobre a dinâmica do atravessamento (R^2 ajustado= -2,497). Quando analisados os volumes médios (mm) atravessados em cada evento, ao invés do percentual atravessado, observa-se forte relação com o volume total.

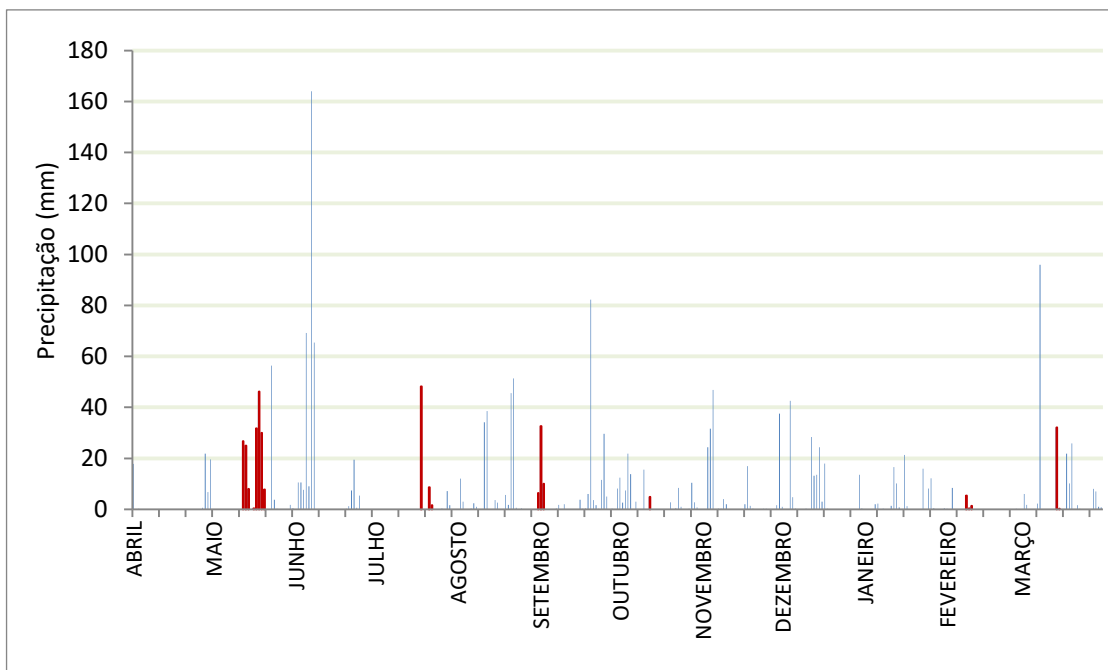


Figura 26: Precipitação diária de Abril (01) de 2016 até Março (31). Destaque em vermelho para os 06 (seis) eventos coletados.

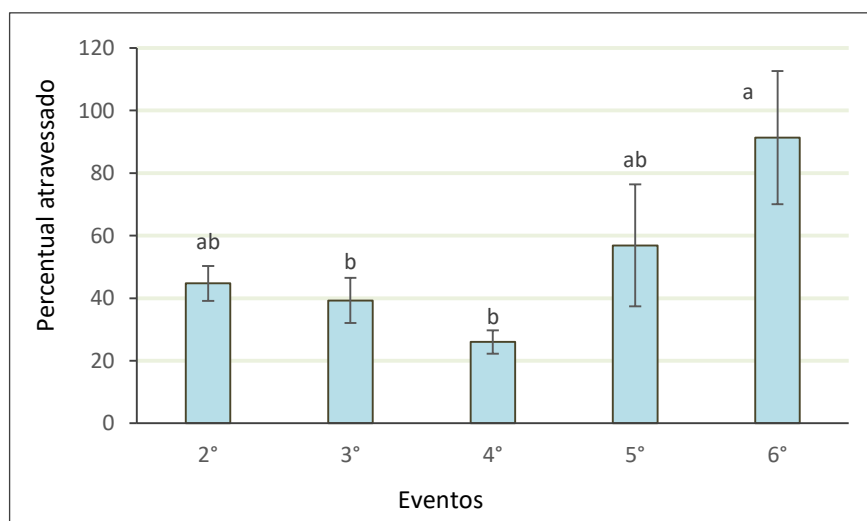


Figura 27: Percentuais de atravessamento da chuva em cada evento da coleção. Eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

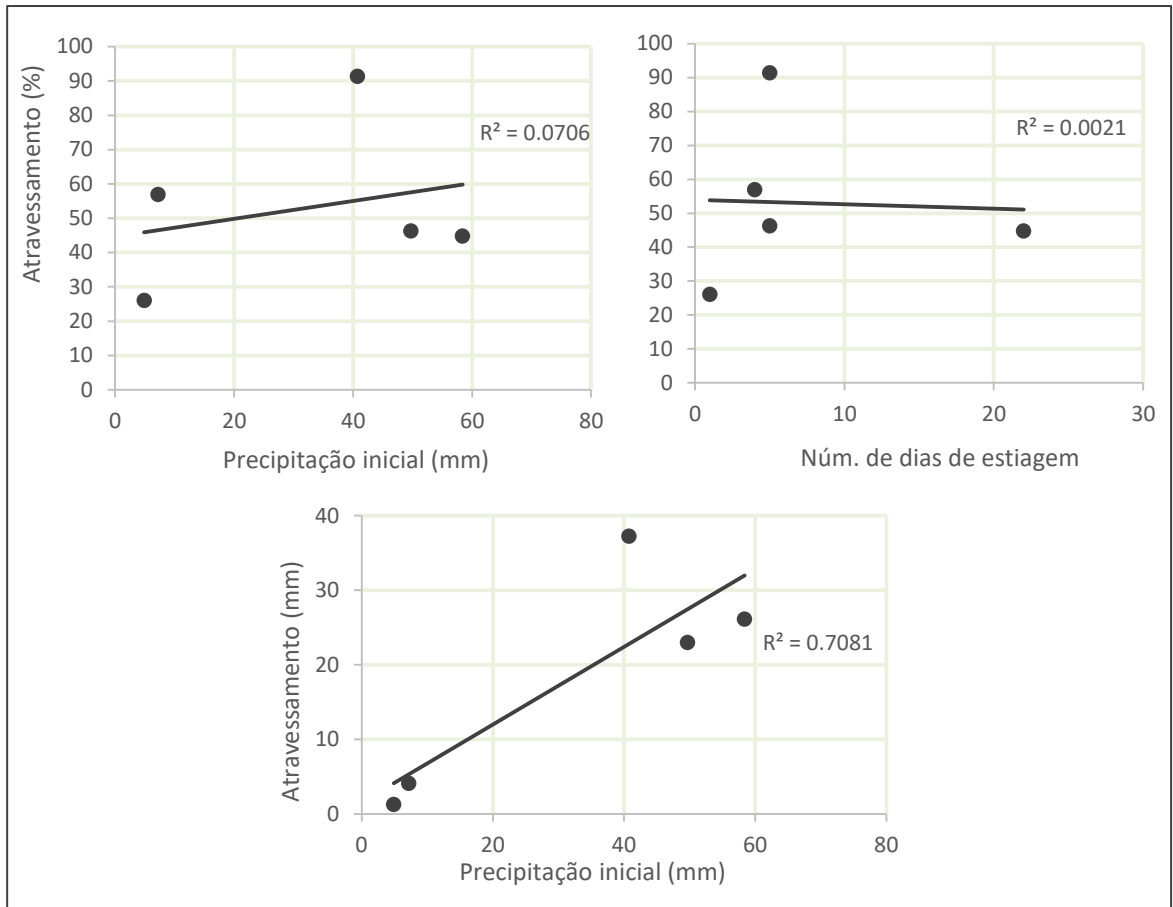


Figura 28: Análise de dependência (regressão) do percentual atravessado em relação: à precipitação inicial; ao número de dias de estiagem antecedente (b); e ao total precipitado no evento.

Não houve diferença significativa de atravessamento entre as parcelas em nenhum dos eventos (figura 29). Ao longo da sucessão de eventos, observou-se diferentes parcelas apresentando maior ou menor atravessamento. A parcela AD, por exemplo, apresentou maior atravessamento frente às demais no 5º evento, mas apresentou o menor no 3º, 4º e 6º eventos. Lembra-se que estas diferenças não foram estatisticamente significativas. Sempre que uma parcela se destacou por um maior atravessamento, o desvio padrão dos dados também aumentou consideravelmente, indicando um padrão mais estocástico, espacial e temporalmente falando, e dificultando a observação de uma população de dados típica para a parcela como um todo.

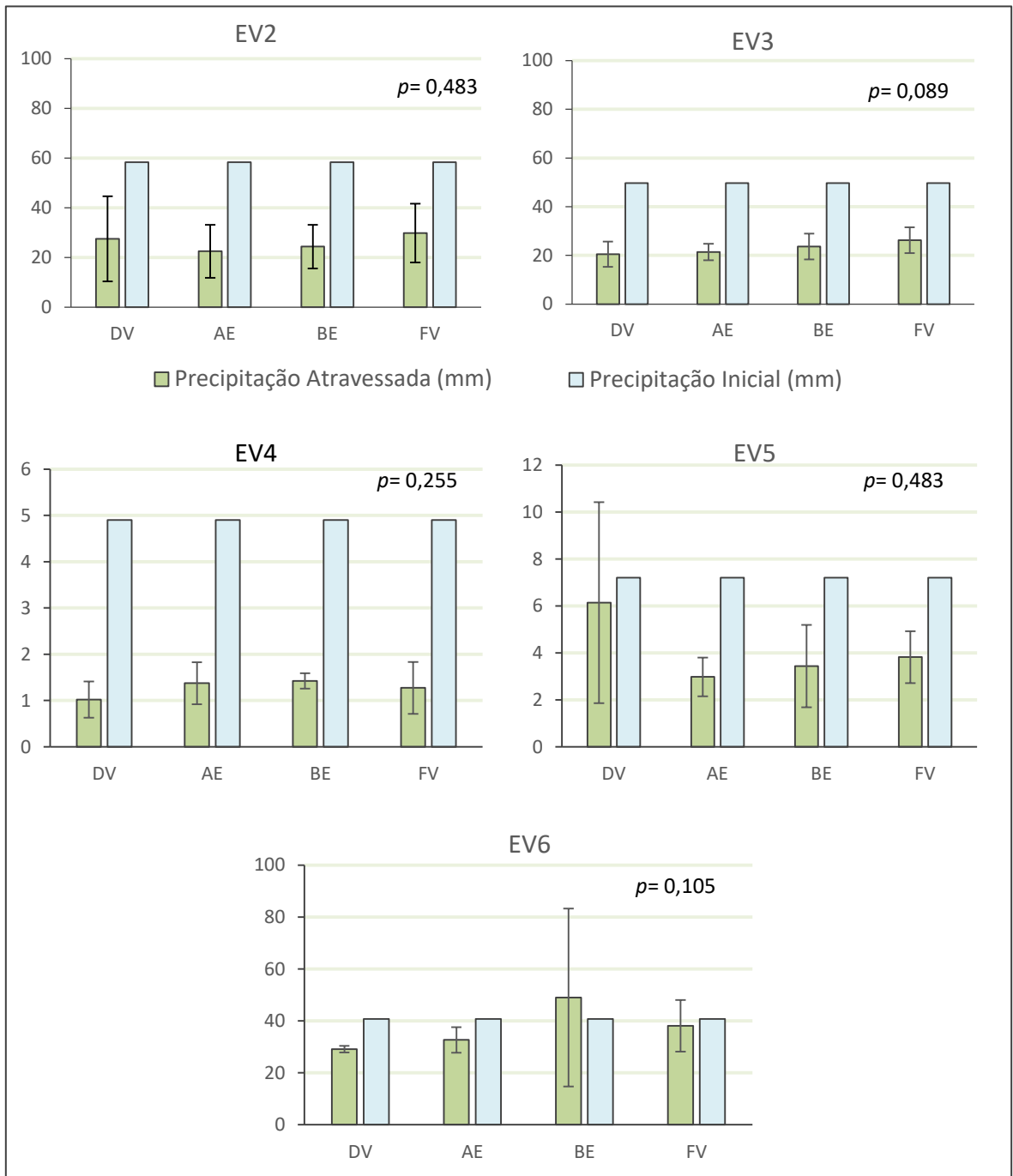


Figura 29: Volume de precipitação atravessada e da precipitação inicial em cada parcela, para cada evento, e valor p para o teste Kruskal-Wallis de variância.

O volume médio interceptado pelas copas (mm) correspondeu-se bem ao total precipitado e ao número de dias de estiagem, em uma relação direta (figura 30). O resultado em relação ao número de dias de estiagem indica o efeito da umidade antecedente, de forma que quantos mais dias de estiagem, maior a capacidade de retenção

da chuva é apresentada pela vegetação. Em relação ao total precipitado, é provável que a persistência da precipitação favoreça as oportunidades de retenção até valores mais próximos ao limite de carga máxima. Quando analisadas sobre o volume interceptado em cada parcela (mm), estas correlações tendem a ficar um pouco mais fortes, tanto para a precipitação total, quanto para o número de dias de estiagem (figura 31). O comportamento é similar entre as parcelas.

Por fim, acredita-se que o atravessamento foi equivalente entre as parcelas, tanto em termos de volume total (mm), quanto em termos percentuais (figura 32). As variações encontradas foram em termos temporais, entre os eventos, de forma que tempo de estiagem antecedente parece exercer algum controle positivo sobre a capacidade de retenção das copas. Os percentuais atravessados pouco responderam aos totais precipitados ou ao número de dias de estiagem antecedente.

Assim, cabe inferir que as suaves diferenças na estrutura da vegetação encontradas entre as parcelas, não aparentaram ser suficientes para refletirem diferenças significativas na dinâmica de atravessamento da chuva entre as parcelas. O controle da interceptação parece ser mais local quando comparado ao gradiente espacial de encosta. Miranda (1992) já reportou este controle pontual da interceptação na Floresta da Tijuca.

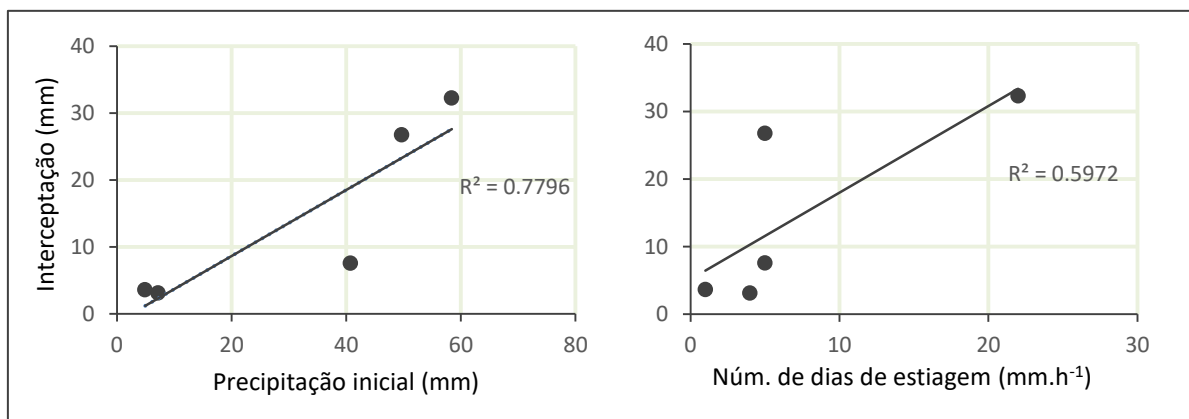


Figura 30: Análise de dependência do volume de precipitação interceptado em relação ao volume da precipitação inicial e ao número de dias de estiagem antecedente. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R^2).

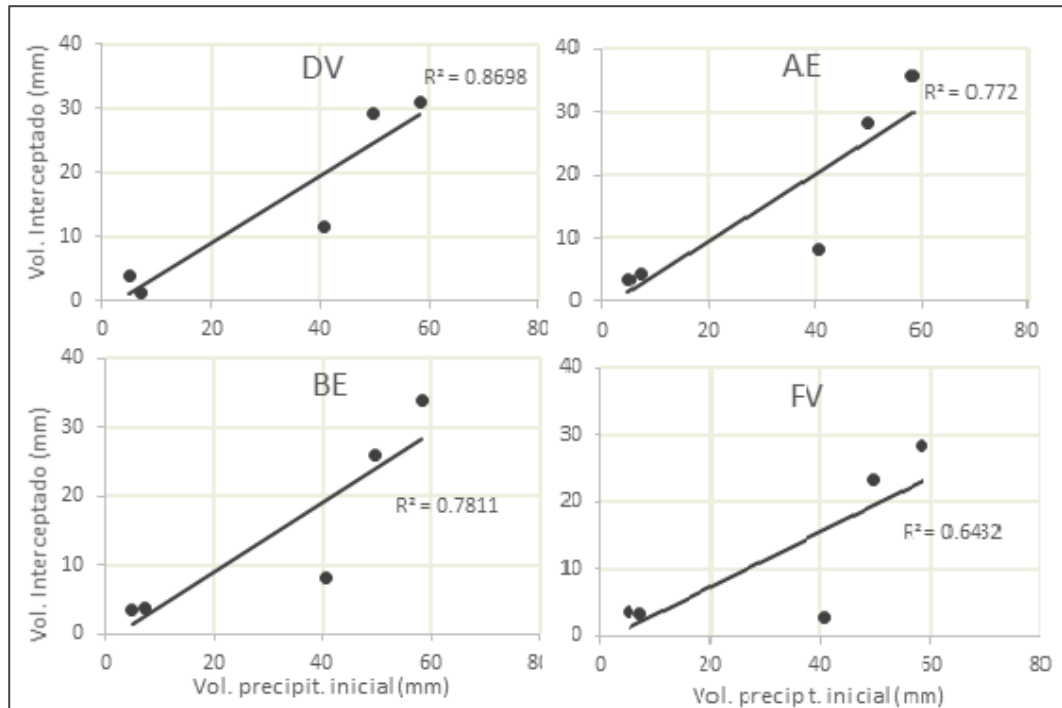


Figura 31: Análise de dependência do volume interceptado em cada parcela, em relação ao volume da precipitação inicial. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R^2).

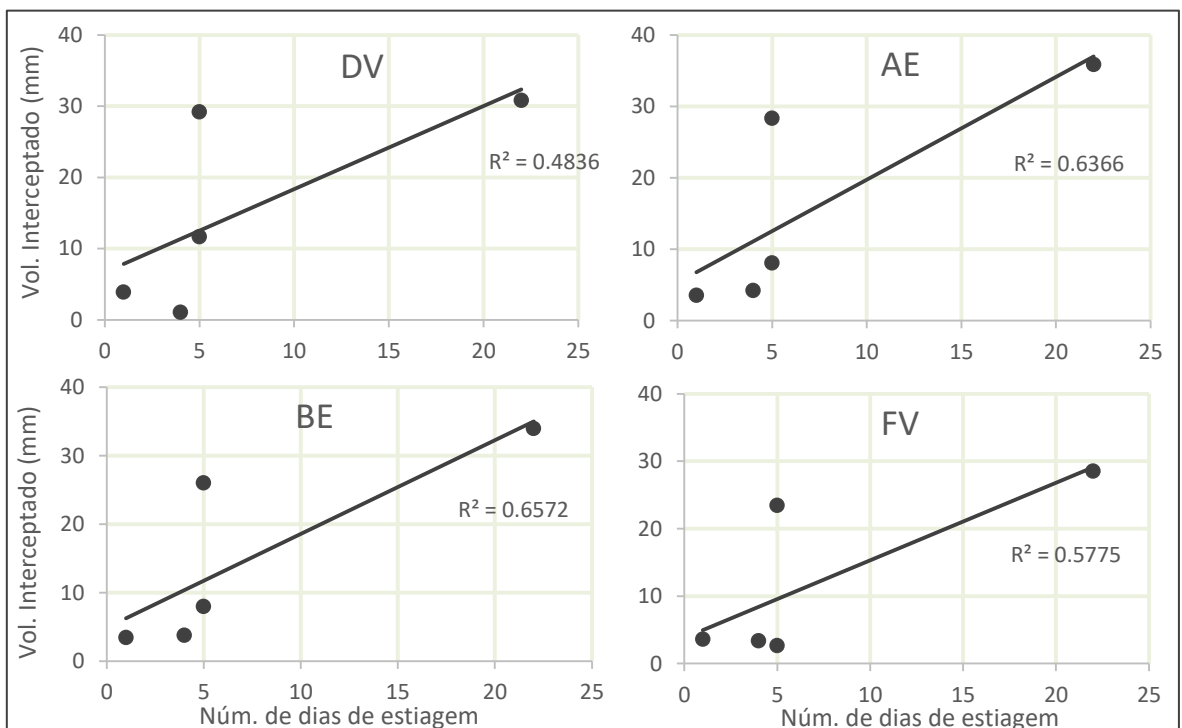


Figura 32: Análise de dependência do volume interceptado em cada parcela, em relação ao número de dias de estiagem. Regressões lineares e seus respectivos coeficiente de determinação (R^2).

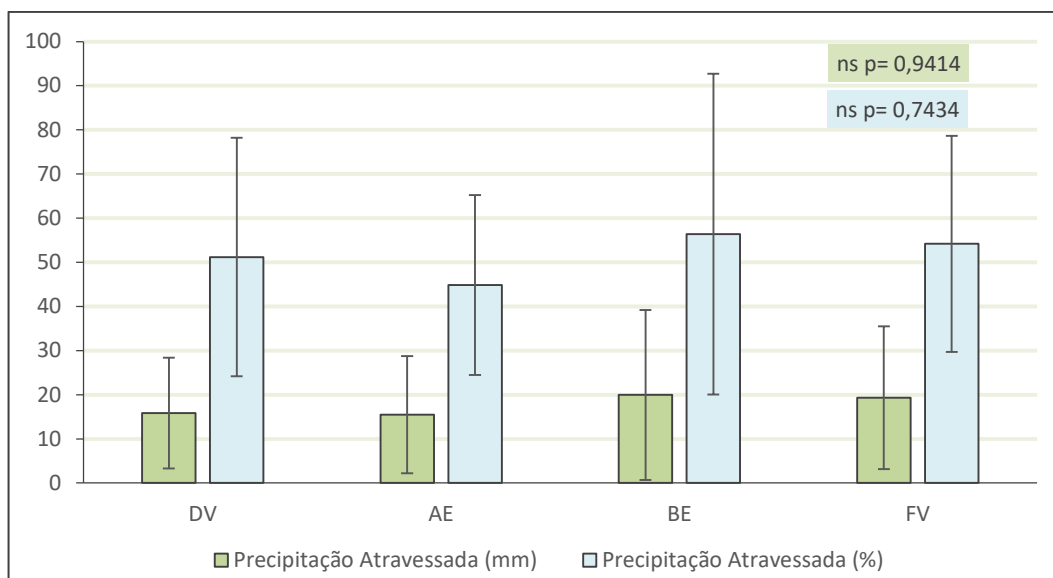


Figura 33: Médias e desvios padrão de cada parcela para a precipitação atravessada: em milímetros de chuva (mm); e em valores percentuais em relação ao total precipitado (%).

5.1.3 Produção de serrapilheira

A queda de detritos acumulada ao longo de um ano (fevereiro de 2016 – Janeiro de 2017) na encosta estudada, considerando a média entre as 4 parcelas, foi de $7,15 (\pm 0,77) \text{ t.ha}^{-1}$. Tal valor é bem próximo ao encontrado em outros domínios de Mata Atlântica secundária em Minas Gerais (DOMINGOS et al., 1997), em São Paulo (VIDAL et al., 2007) e em remanescente bem preservado no Maciço da Pedra Branca, RJ (PENNA-FIRME, 2000). Oliveira (1987) e Montezuma (2005) encontraram valores um pouco mais elevados no aporte na Floresta da Tijuca, à saber: 8,6 e 9,2 (OLIVEIRA, 1987) e 8,7 (MONTEZUMA, 2005). No caso de Montezuma (op. Cit.), os valores encontrados em diferentes condições de perturbação natural (cicatriz de deslizamento, borda e área controle) variaram consideravelmente mais entre tais condições do que em relação ao observado no presente estudo.

Para o período avaliado, e considerando a média geral para a encosta, foi possível constatar diferença estatística significativa entre a produção de serrapilheira mensal ao longo do ano (figura 34). O mês que apresentou maior queda de detritos foi agosto ($1,04 \pm 0,14 \text{ t.ha}^{-1}$). Os meses seguintes: setembro; outubro; novembro e dezembro,

mantiveram alta a produção, não se diferenciando estatisticamente do mês de agosto. Em janeiro a produção voltou a decair, apresentando valores similares aos meses do primeiro semestre de 2016. Março, abril e junho foram os meses que apresentaram menor produção ($0,37 \pm 0,09$; $0,41 \pm 0,08$; $0,35 \pm 0,09$ t.ha⁻¹, respectivamente), diferindo estatisticamente dos meses supracitados com maior produção.

Assim como o observado por Montezuma (2005), foi possível reconhecer uma similaridade entre a precipitação e a produção ao longo dos meses (figura 35), de modo que parece haver alguma tendência de incremento na produção nos meses posteriores aos quais apresentaram uma menor precipitação. Tal fato é mais perceptível em relação à precipitação acumulada nos meses de abril e julho (menores precipitações) e a produção dos meses conseguintes, maio e agosto, respectivamente. Neste sentido, cabe ressaltar também, que os meses de maior precipitação (junho e março) apresentaram as menores produções mensais.

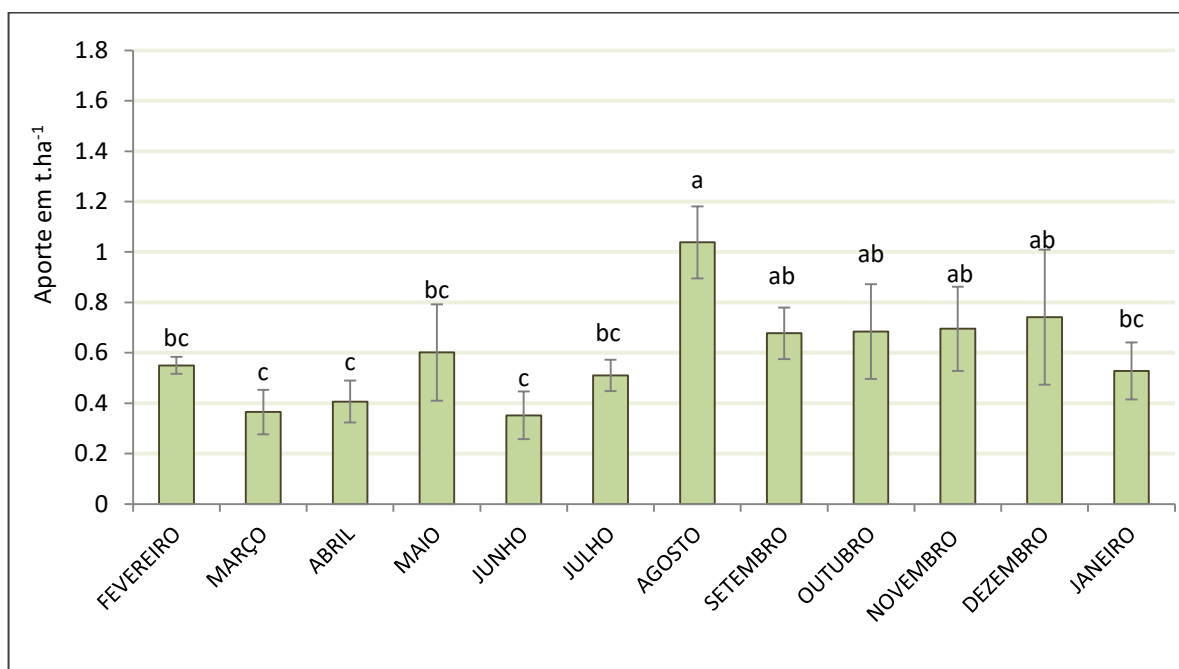


Figura 34: Acumulado mensal de aporte de serrapilheira ao longo de 01 (um) ano (Fevereiro de 2016 – Janeiro de 2017). Grupos estatisticamente variante pelo teste Dunn (a posteriori) a partir de $p < 0,05$.

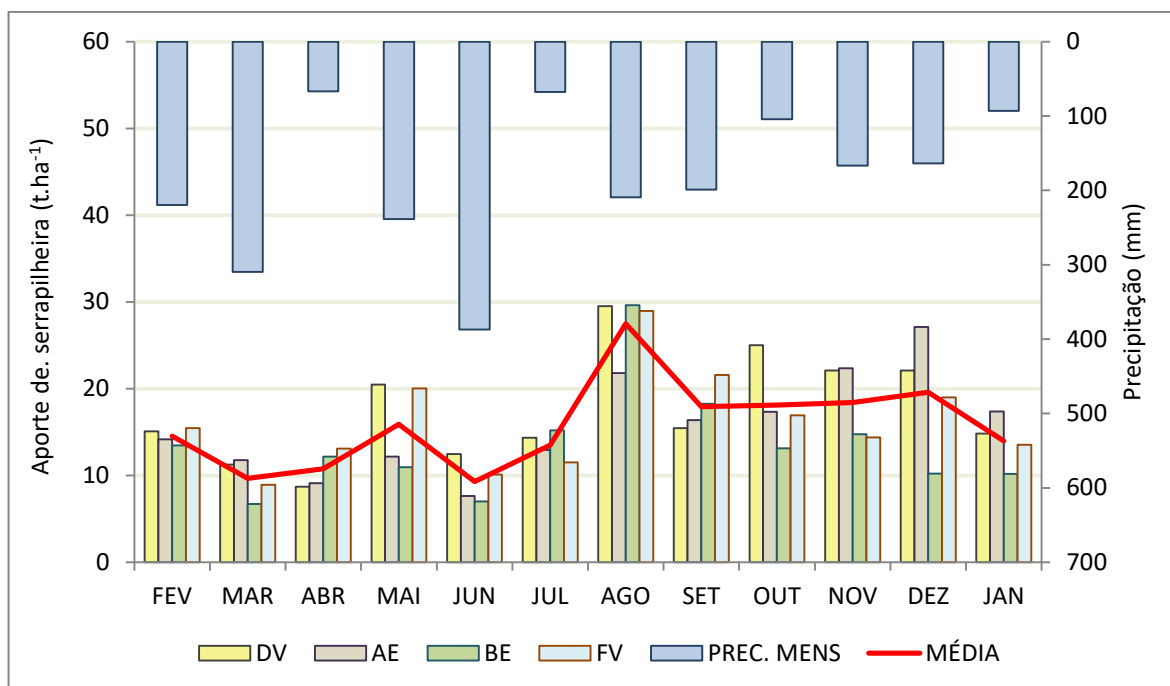


Figura 35: Acumulado mensal no aporte de serrapilheira e de precipitação, em cada parcela, ao longo de um ano (Fev. 2016 até Jan. 2017). Média entre as parcelas.

À luz dos resultados relativos ao tipo de material produzido, verifica-se que a maior produção em agosto parece estar mais associada a um incomum aporte de material lenhoso do que à queda de folhas (figura 36). Os meses que apresentaram maior produção de tecido foliar foram agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Em relação ao material lenhoso, observou-se uma desproporcional deposição no mês de agosto ($0,37 \pm 0,04 \text{ t.ha}^{-1}$), contrastando com os outros meses, levando-se em conta que o segundo maior acumulado deste tecido ocorreu em novembro, na ordem de $0,1 \text{ t.ha}^{-1} (\pm 0,05)$. Ao contrário do encontrado para as folhas, os tecidos reprodutivos foram depositados mais ao longo do 1º semestre de 2016. Esta maior deposição, associada a uma menor aporte de folhas, incrementou consideravelmente a contribuição proporcional dos tecidos reprodutivos na produção de serrapilheira neste período.

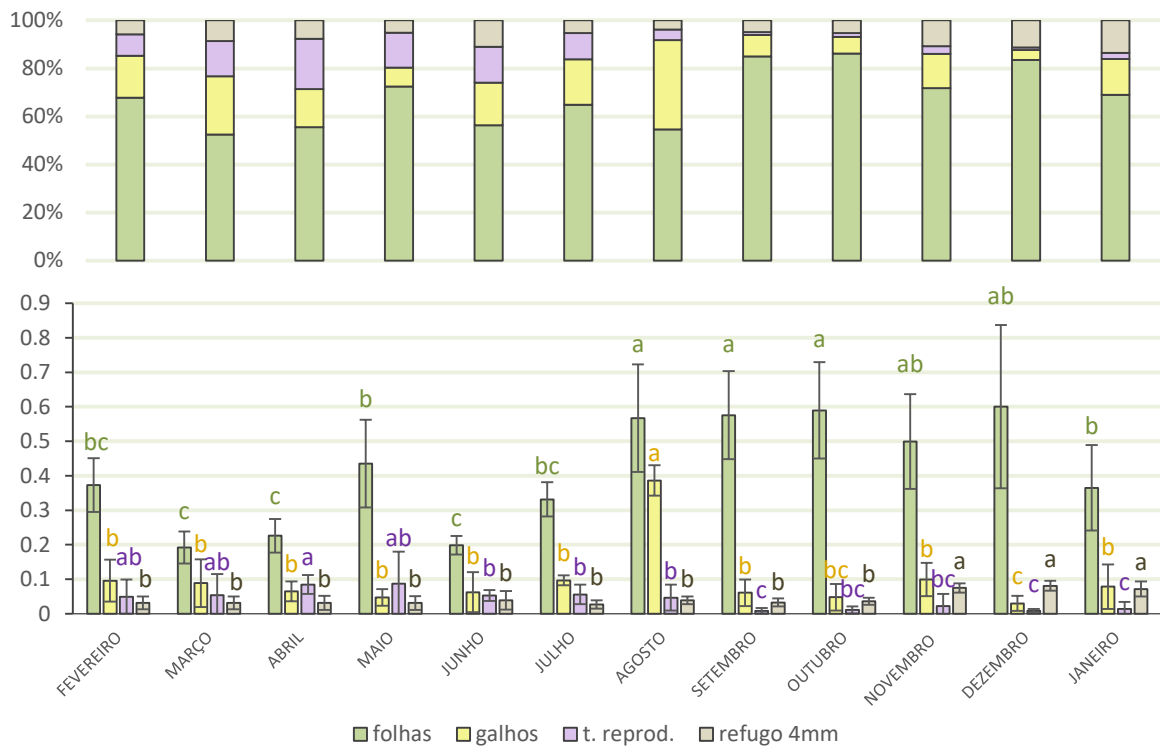


Figura 36: Acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo (< 4,0 mm). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a psteiori, $p < 0,05$) para cada tecido.

Em relação às parcelas, todas apresentaram maior produção em agosto, com exceção de AE, a qual apresentou seu ápice de deposição no mês de dezembro (figura 37). Observa-se um alto desvio padrão nos dados em AE para o mês de agosto, indicando que o aporte foi espacialmente heterogênea dentro da parcela, onde ocorreu o maior armazenamento mensal para um único coletor ($2,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) concomitante a armazenamentos relativamente baixos quando confrontados com os valores para outras parcelas neste mês. Um desvio padrão similar também ocorreu na parcela BE.

No geral, cada parcela apresentou dinâmica temporal levemente diferenciada ao longo do ano, mas, ainda sim, foi possível perceber uma tendência de maior produção no segundo semestre para todas as parcelas. Ressalta-se que esta tendência parece mais prevalente nas parcelas altimetricamente superiores (DV e AE) e é “puxada” pelo incremento no aporte foliar.

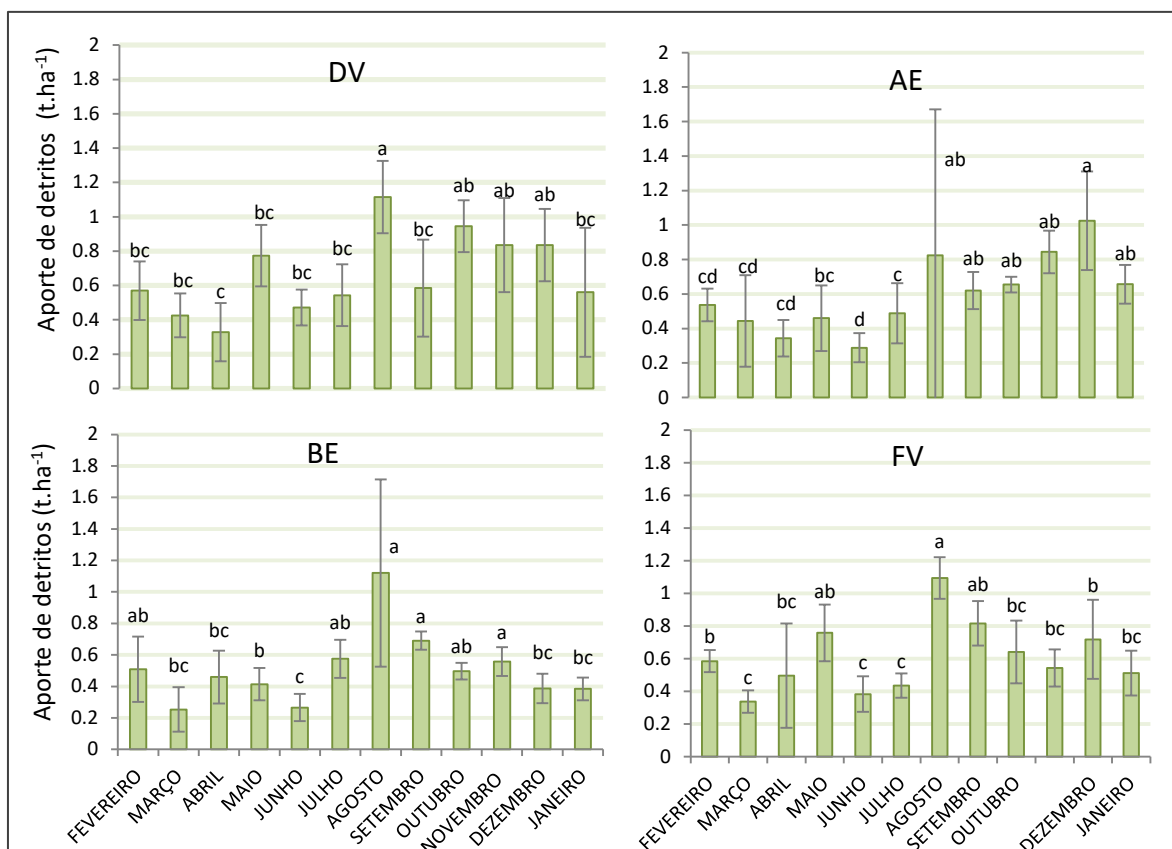


Figura 37: Médias e desvios padrão do acumulado mensal de aporte de serrapilheira ao longo do ano, para cada parcela. Grupos estatisticamente variantes entre os diferentes meses, pelo teste Dunn (*posteriori* – significancia para $p < 0,05$).

Em relação ao “pico” de aporte no mês de agosto, fica evidente que este ocorreu impulsionado pelo maior aporte de material lenhoso, o que já foi citado, e que tal ocorreu em todas as parcelas (figuras 38, 39, 40 e 41). Descarta-se então a possibilidade de tratar-se de um aporte pontual, concentrado em uma das parcelas pela queda de alguma árvore, por exemplo. A explicação, então, deve residir na ocorrência de algum evento tempestuoso com ventania neste mês, derrubando, ao menos, pequenos galhos em quantidade considerável, lembrando que neste dado, considera-se apenas tecidos lenhosos com diâmetro transversal até 2cm. Somente em BE a produção foliar foi maior no mês de agosto. Em DV, AE e FV, os meses de maior aporte foliar foram outubro, dezembro e setembro, respectivamente, ressaltando a temporalidade pouco correlata entre as parcelas para o tecido foliar.

Embora na produção total (sem diferenciação dos tecidos) tenha-se observado certa similaridade entre precipitação e aporte de serrapilheira, fica mais difícil tal

afirmativa quanto ao material foliar. De fato, os meses de maio e agosto, consequentes dos meses de menor precipitação (abril e julho) foram meses que apresentam aumento de aporte foliar em relação ao mês anterior. Miranda (2013) analisou, na mesma encosta, o aporte semanal de serrapilheira de forma correlata à precipitação, levando em conta suas características de intensidade. O autor conclui que eventos de maior intensidade geraram incremento no aporte, principalmente da fração foliar, pela ação mecânica dos ventos sobre as folhas senis. Assim, as diferenças na dinâmica temporal na deposição foliar entre as parcelas podem ser fruto da ação conjunta da incidência diferenciada de ventos tempestuosos com a da dinâmica peculiar de senilidade das folhas, em cada evento de chuva, entre as parcelas.

Contudo, a dependência do aporte dos diferentes tecidos em relação à precipitação mensal, quando testada com regressões lineares, apresentou-se baixíssima. Esta dependência tendeu a aumentar um pouco quando comparada com o precipitado acumulado no mês anterior ao da produção, principalmente nos aportes foliares. Mesmo assim, tal dependência ainda manteve-se fraca. Este aumento dos coeficientes de determinação (R^2) com o precipitado do mês anterior foi maior em DV e FV, sempre em relação inversa (quanto maior o precipitado, menor o aporte). Mesmo mantendo baixa dependência, tal incremento pode indicar uma sobreposição da ação fisiológica (resposta à disponibilidade hídrica) em relação à ação mecânica. Todavia, mantém-se a idéia de ação conjunta entre formação de folhas senís (fisiológica) e ação mecânica dos ventos.

Assim como para encosta como um todo, também observou-se, em todas as parcelas, o maior aporte de tecidos reprodutivos no 1º semestre do ano, mesmo que em maior (DV e FV) ou menor (AE e BE) grau. Com o menor aporte de folhas, a primeira metade do ano apresentou considerável maior contribuição proporcional dos tecidos reprodutivos em todas as parcelas.

Mesmo com as variações significativas observadas ao longo do ano, é difícil afirmar sobre uma sazonalidade constante na queda de detritos para a área. Praticamente já incluso ao censo comum, tem-se que as florestas ombrófilas tendem a uma menor sazonalidade no aporte de serrapilheira, uma vez que uma maior queda de folhas - em termos temporais - é, na maioria das vezes, resultado de “escassez” hídrica.

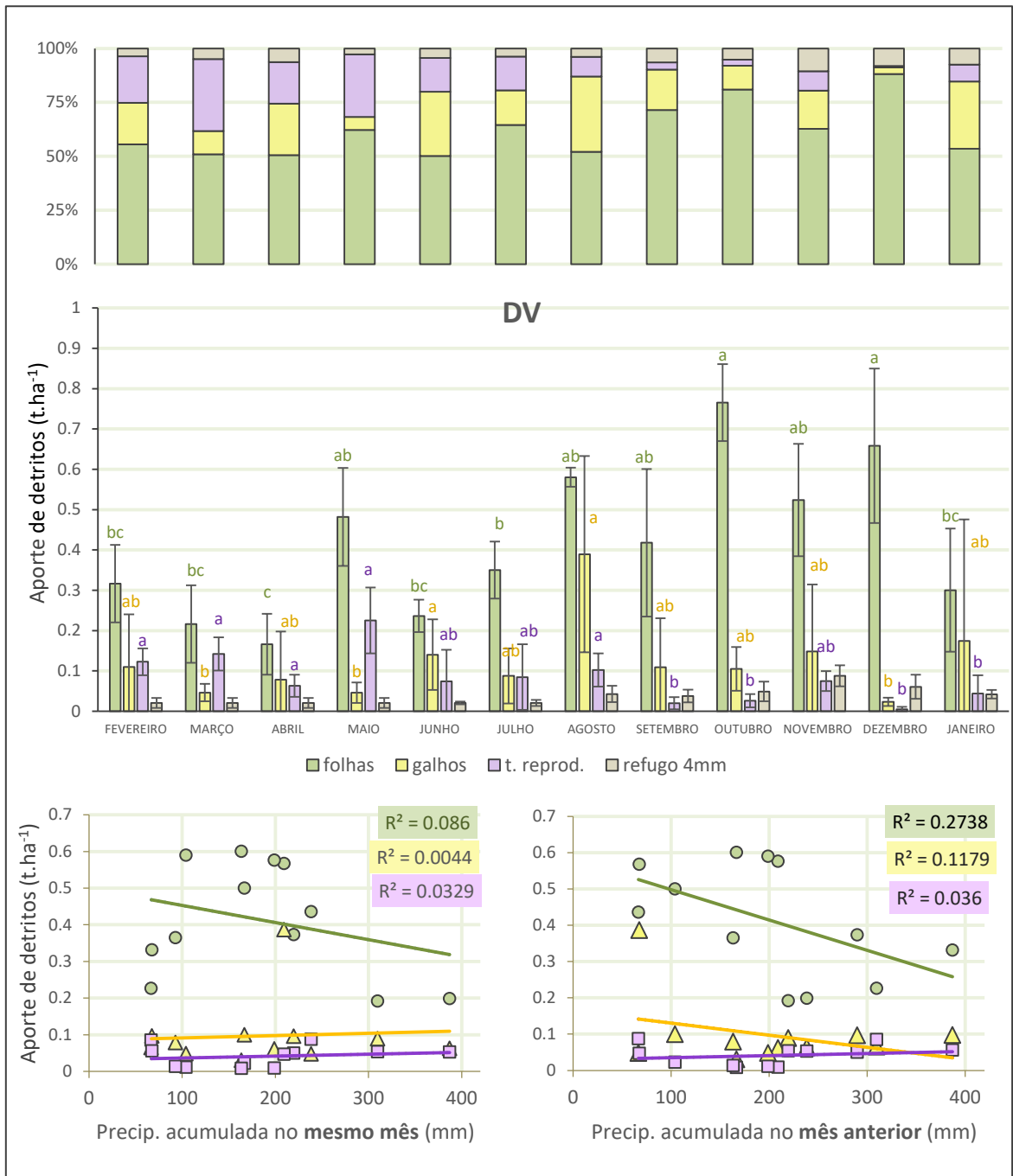


Figura 38: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo (< 4,0 mm) no Divisor de drenagem (DV). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.

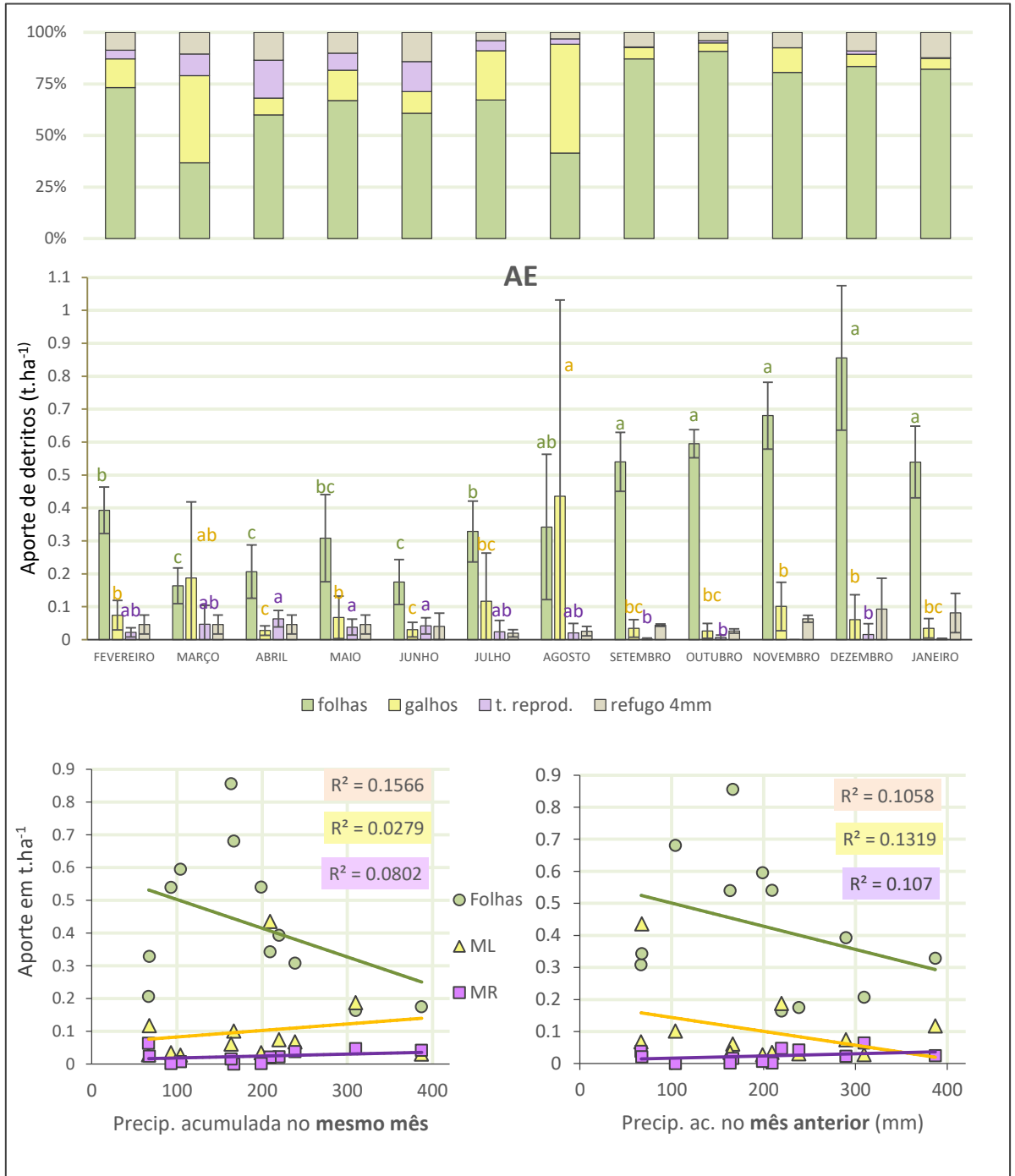


Figura 39: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugio (< 4,0 mm) na Alta Encosta (AE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.

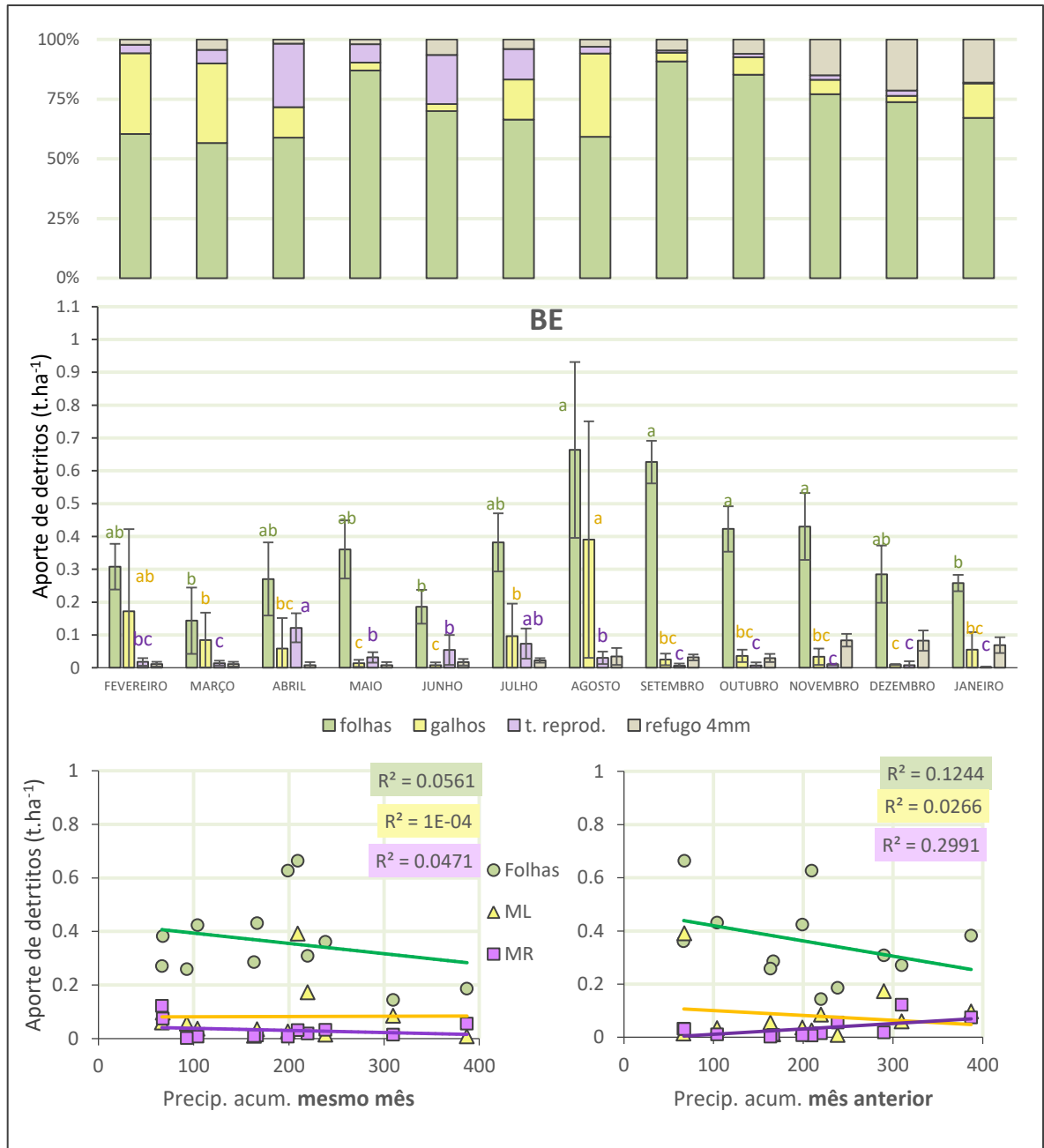


Figura 40: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo (< 4,0 mm) na Baixa Encosta (BE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.

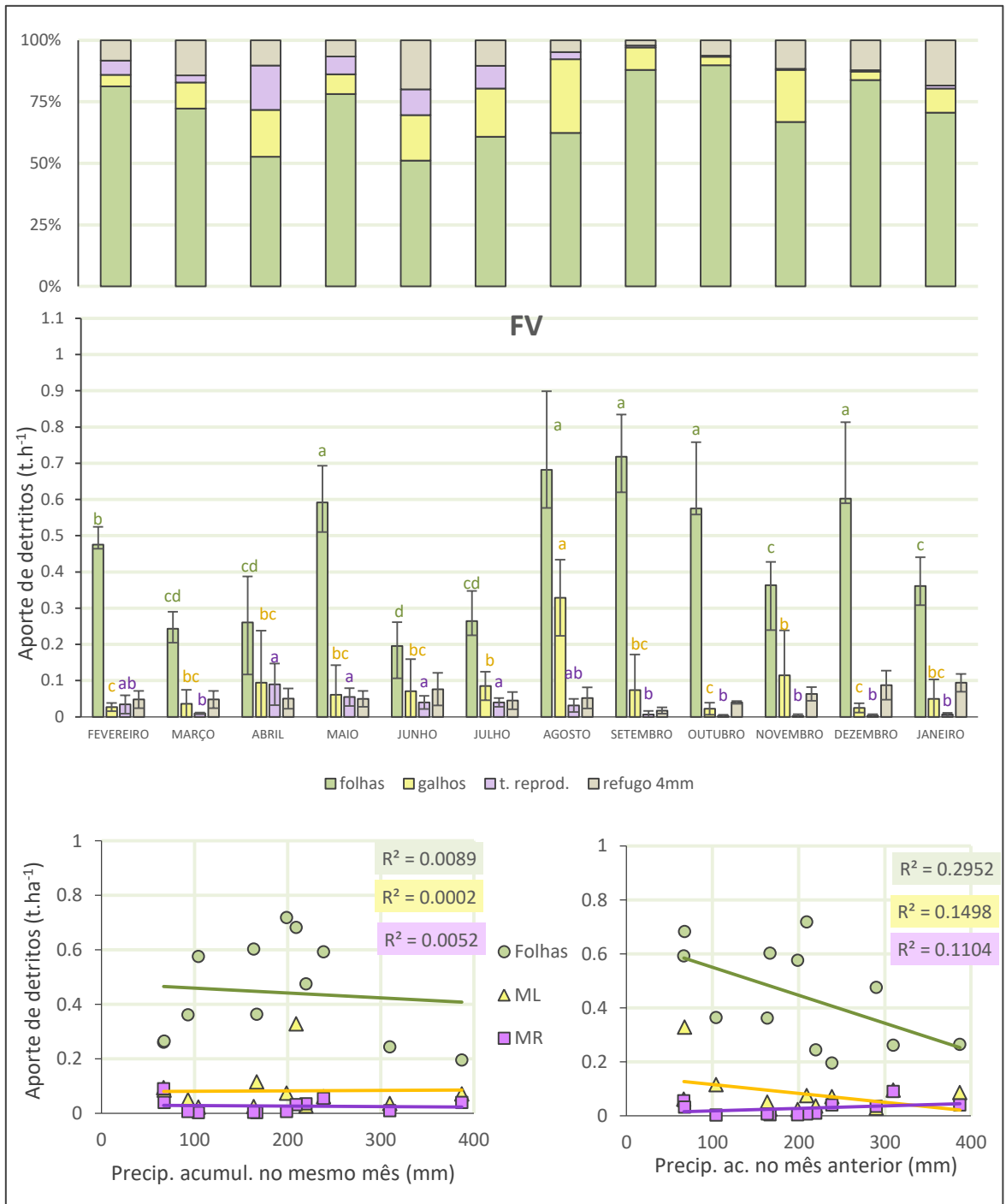


Figura 41: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo (<math>< 4,0\text{ mm}</math>) na Alta Encosta (AE). Variação entre os meses pelo teste Dunn (a posteriori, $p < 0,05$) para cada tecido. Análise de dependência linear entre cada tecido e a precipitação acumulada no mês do aporte e no mês anterior.

No presente trabalho observou-se que o aporte tendeu a aumentar após meses de menor precipitação, como já dito, mas a dependência direta apresentou-se muito fraca. Além da temporalidade do aporte de folhas não se apresentar correlata entre as parcelas, historicamente, a distribuição anual da precipitação se apresenta de forma bem indefinida ao passar dos anos, como pôde observar Negreiros (2011) ao analisar dados de chuva de uma série histórica desde 1977 para a Floresta da Tijuca. Este autor encontrou médias bem próximas entre si para a precipitação mensal, enquanto autores como Chirol (2003), Montezuma (2005), Jansen, Zaú e o próprio Negreiros (2011), entre outros, encontraram uma variação sazonal peculiar ao ano de amostragem. Miranda (1992) observando em detalhe a série histórica entre 1977 e 1988, propôs que há leve tendência de menores precipitações nos meses de inverno, e que as variações entre anos secos e anos chuvosos ocorre, basicamente, pela característica pluviométrica dos verões, hora chuvosos, hora mais secos.

No presente estudo, observou-se uma alta precipitação em junho (inverno), a qual parece atípica. Todavia, resultado similar, com inverno chuvoso e verão mais seco, já fora reportado para a Floresta da Tijuca por Chirol (2003) para o período de 2001/2002. Assim, uma suposta sazonalidade marcada em relação ao aporte de detritos não deve ser considerada, uma vez que a área não apresenta sazonalidade bem definida para a precipitação, além de a própria deposição parecer não responder de forma intensa ao precipitado. Atenhamo-nos aqui, apenas ao fato de que o aporte possa tender a aumentar após períodos de baixa precipitação. A fração que chegou mais próximo de um comportamento sazonal, aparentando pouca similaridade com a precipitação e com comportamento similar em todas as parcelas, foi a deposição de tecidos reprodutivos, concentrada entre os meses de março e julho.

Em relação ao total acumulado ao longo de um ano de aporte de detritos, as parcelas não diferiram significativamente entre si no aporte geral, ou seja, sem diferenciação dos tecidos (figura 42). Mesmo sem a confirmação estatística – que chegou próxima a significância a 0,05 – verifica-se que a menor produção em BE e a maior em DV. A maior densidade de indivíduos, associada à ocorrência de indivíduos maduros de idade avançada (grandes DAPs), devem responder por esse maior aporte de detritos. Ressalta-se ainda, que o método utilizado para contabilizar o aporte não parece adequado para a captação da folhas de palmeiras, que são maiores que os coletores em comprimento.

Assim como todo método tem um erro embutido, admite-se aqui, que a parcela DV, por conta das palmeiras em maior número, possa ter um erro maior no sentido da subestimação do aporte, o que sugere que sua produção possa ser ainda maior.

O aporte de folhas foi significativamente menor em BE do que nas demais parcelas, sendo a principal razão para a menor produção geral nesta parcela (figura 43). Já a queda de material lenhoso não diferiu entre as parcelas, enquanto a massa depositada de tecido reprodutivo foi maior em DV. Outra vez evoca-se a maior presença de palmeiras nesta parcela, as quais depositam grande quantidade de sementes. Ao longo dos procedimentos de pesagem do material, foi perceptível a contribuição diferenciada das sementes da palmeira Juçara (*Euterpe edulis*) nesta parcela. De forma geral, mesmo com variações dos tipo de material entre as parcelas, a contribuição proporcional de cada tecido parece não variar de forma contundente, dando aspecto similar entre o aporte das parcelas.

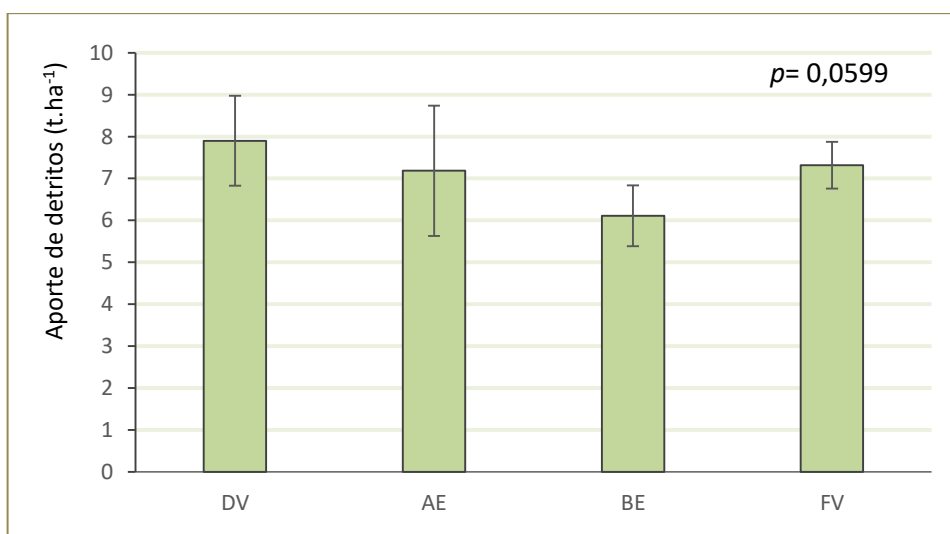


Figura 42: Média e desvios padrão do aporte de detritos orgânicos para o solo nas diferentes parcelas. Valor p para o teste Kruskal-Wallis de variância.

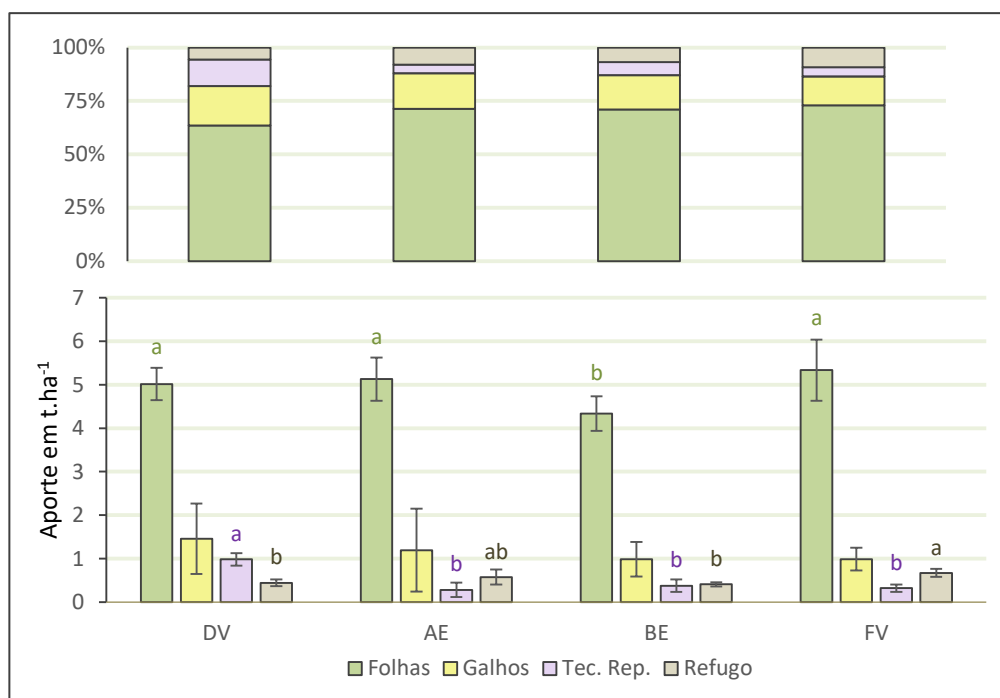


Figura 43: Contribuição proporcional e acumulado mensal de aporte dos diferentes tecidos vegetais: folhas; material lenhoso (MR); material reprodutivo (MR) e refugo (< 4,0 mm). valores p para o teste de variância Kruskal-Wallis e tecidos variantes entre as parcelas pelo teste Dunn (a posteriori $p < 0,05$).

5.1.4 Estoque de serrapilheira

O estoque médio de serrapilheira na encosta estudada foi estimado em $7,72 \text{ t.ha}^{-1}$ ($\pm 3,68$), apresentando variação sazonal significativa. Foi observada a redução do estoque no verão ($6,71 \pm 4,54 \text{ t.ha}^{-1}$) em relação ao estoque de inverno ($8,92 \pm 2,78$). A heterogeneidade dos estoques ao longo do gradiente da encosta é a principal responsável pelo desvio padrão encontrado. Neste caso, como parte do desvio padrão pode ser controlado pela distribuição espacial das parcelas, é possível melhor isolar estatisticamente o efeito da sazonalidade (análise de tratamentos em blocos), de forma que obteve-se uma variação significativa entre os períodos (figura 44).

A camada F foi a única que apresentou variação sazonal significativa para a encosta como um todo (figura 45). A camada L e os materiais lenhoso e reprodutivo não apresentaram variação significativa. Uma maior estratificação, com acúmulo em F, é um dos principais resultados estruturais nos estoques quando há redução das taxas de decomposição (GARAY et al., 1995).

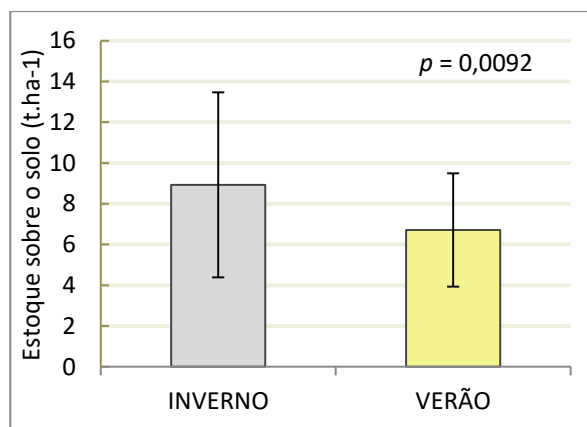


Figura 44: Variação sazonal no estoque de serrapilheira. Valor p do efeito do tratamento replicado.

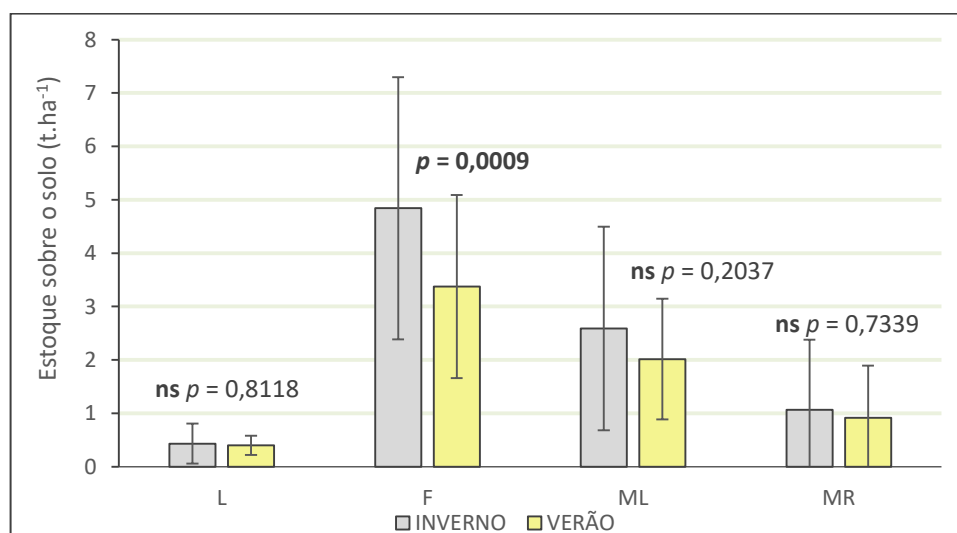


Figura 45: Variação sazonal no acúmulo das diferentes camadas estruturais: folhas íntegras (L); fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Valores médios para a encosta laboratório e análise de variância (teste de efeito do tratamento) para cada camada.

A sazonalidade não afetou de forma igual todas as parcelas. Embora seja observada uma redução na média do Verão em relação ao Inverno precedente em todas estas, somente em DV e BE tal diferença foi estatisticamente significativa (figura 46). Em FV, parcela com serrapilheira mais úmida (MIRANDA, 2013), a redução do estoque foi pouca, enquanto em AE, a não significância da variação pode ter a influência do maior desvio padrão em ambos os períodos para esta. Este desvio padrão pode ter ocorrido por conta da maior declividade desta parcela. Miranda (op cit.) observou os estoques de

serrapilheira, nesta mesma encosta, em função da declividade, reportando menores estoques, porém com maior heterogeneidade interna, para áreas de maior declividade. De qualquer forma, AE apresentou a segunda menor redução de estoque.

A diminuição dos estoques indica um provável aumento das taxas de decomposição para o verão, uma vez que o aporte de detritos foi maior após a coleta de inverno. A hipótese sugerida é de que a associação entre a manutenção de umidade constante, promovida pela maior recorrência de chuvas (não necessariamente dos totais acumulados), e ao aumento na temperatura média, possa favorecer o microambiente de decomposição (SWIFT et al., 1979). Através deste incremento nas taxas de decomposição da serrapilheira reduzem-se os acúmulos na camada F.

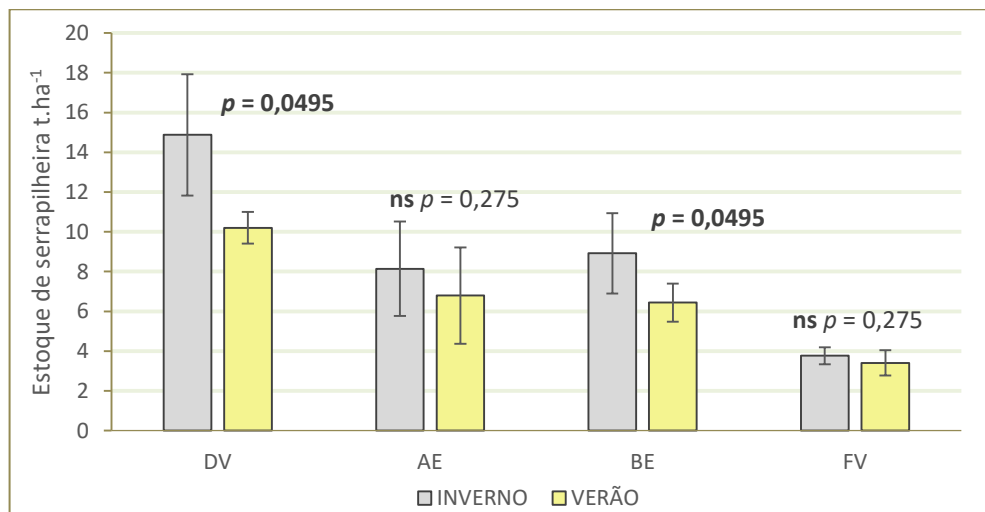


Figura 46: Variação sazonal no estoque de serrapilheira em cada parcela.

Corroborando tal observação, as diferenças sazonais encontradas em DV e BE foram induzidas, basicamente, por reduções na camada F, a qual foi significativa somente nestas duas parcelas (figura 47). A outra variação significativa encontrada foi para a camada L em BE, onde percebeu-se o aumento desta camada seguindo a tendência de aumento no aporte para o segundo semestre, embora BE tenha aparentado ser a parcela onde o aporte foliar menos aumentou neste período. Mesmo com a tendência geral de aumento de aporte, percebe-se uma redução da camada L não significativa entre os períodos para as outras parcelas. Os materiais lenhoso e reprodutivo não variaram sazonalmente com significância estatística em nenhuma das parcelas.

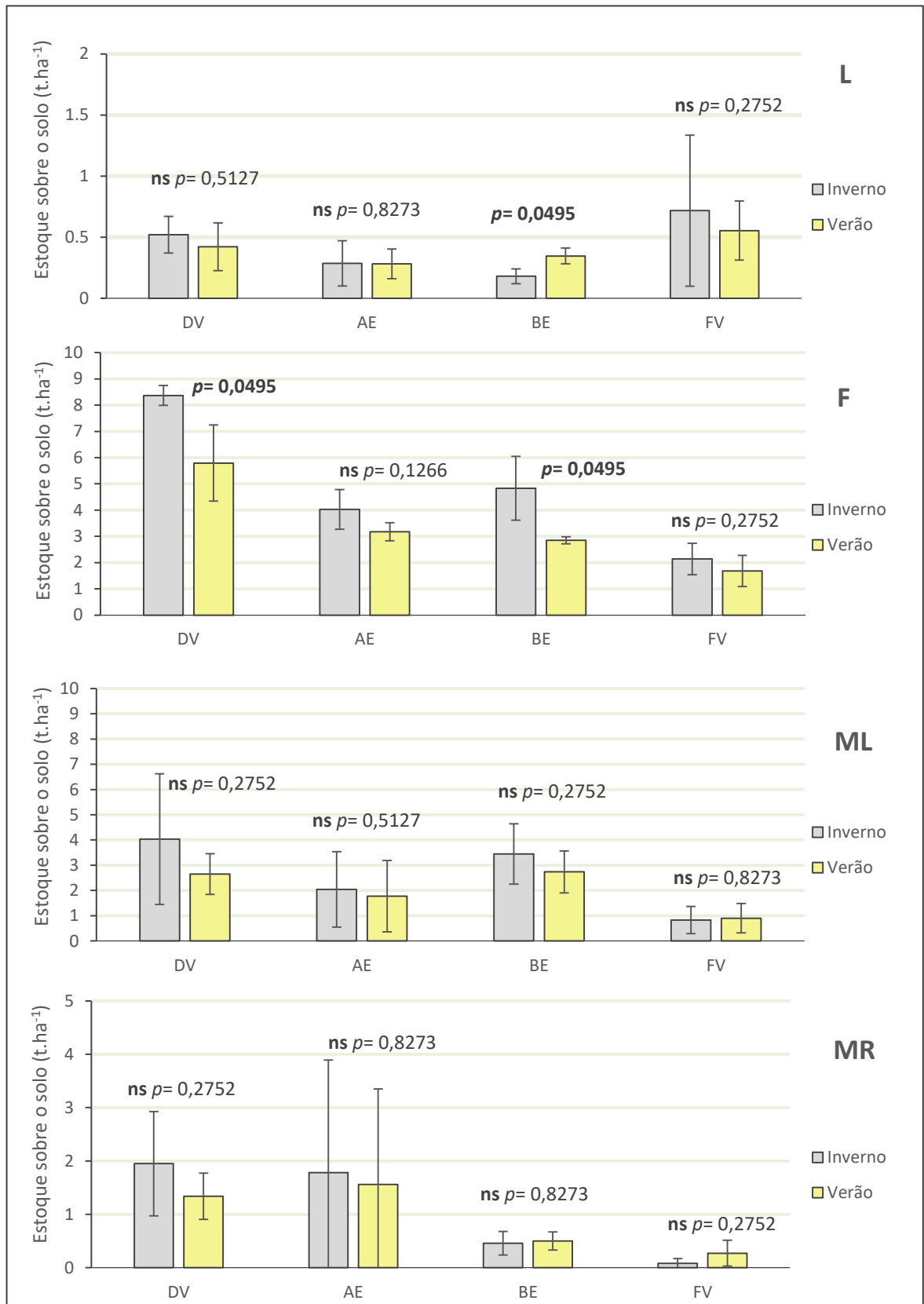


Figura 47: Variação sazonal em cada camada da serrapilheira: folhas íntegras (L); fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Teste de variância Kruskal-Wallis em cada parcela.

Com base no acúmulo médio entre os dois períodos, o estoque variou espacialmente entre as parcelas, sendo maior em DV ($12,54 \pm 2,25 \text{ t.ha}^{-1}$) e menor em FV ($3,59 \pm 0,52 \text{ t.ha}^{-1}$). As parcelas de meia encosta, AE e BE, apresentaram valores intermediários e não diferiram estatisticamente (*a posteriori*) de DV ou de FV, a saber: $7,47 (\pm 2,27) \text{ t.ha}^{-1}$ em AE; e $7,27 (\pm 1,96) \text{ t.ha}^{-1}$ em BE (figura 48). Os valores geralmente reportados para a Floresta da Tijuca são mais próximos aos estoques de DV, quando não maiores. Contudo, poucos estudos tiveram a oportunidade ponderar tais estoques em função da topografia.

Variações espaciais decorrentes de gradiente ambiental originado por clareiras induzidas por cicatriz de deslizamento na Floresta da Tijuca foram reportadas com excelência por autores como Chirol (1999), Montezuma (2005) e Negreiros (2009 e 2011). Tais autores encontraram variações entre os estoques da cicatriz, da borda e de área controle, sendo os valores aqui encontrados sempre mais próximos ao reportado para a floresta distante da borda ou áreas controle nestes citados estudos.

Sobre destacar o gradiente de encosta como uma variação espacial importante, uma olhada mais detalhada em alguns destes estudos no PARNA-Tijuca pode trazer à luz detalhes pouco explorados ao se criar os desenhos amostrais. Montezuma (2005), por exemplo, encontrou cerca $11,22 \text{ t.ha}^{-1}$ (inverno), em área considerada controle pela autora. Tal valor é bem próximo ao encontrado em DV, porém bem acima ao encontrado em FV. Ressalta-se o fato do posicionamento do sítio de coleta da citada autora ser bem próxima à DV, também no contexto geomorfológico de alta-encosta e divisor (figura 49). Descendo-se no sentido ao fundo de vale do Rio Archer, é perceptível a redução quase gradativa (com “ruídos” induzidos por fatores ainda mais locais como declividade, por exemplo) do estoque até menores acúmulos como o encontrado em FV.

Clevelário Jr. (1996) comparou estoques entre divisores de drenagem e fundos de vale na Floresta da Tijuca e também encontrou menores estoques à jusante. Seus dados, todavia, indicaram estoques maiores (cerca de 25 t.ha^{-1}) do que os aqui encontrados. A explicação para tal deve residir no maior aporte encontrado por esse autor (cerca de $20 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Miranda (2013) foi outro autor que encontrou menor estoque no fundo de vale em relação ao divisor na Floresta da Tijuca, ressaltando que também a declividade teria capacidade, e talvez ainda maior, de gerar variações espaciais nos estoques. Os valores

deste autor (8,03 e 5,2 t.ha⁻¹ para divisor e fundo de vale, respectivamente) foram bem próximos ao do presente estudo, provavelmente, por terem sido coletados na mesma encosta laboratório. Os dados aqui apresentados, além de corroborar esta tendência, parecem ter captado diferenças ainda mais acirradas entre os estoques encontrados no topo da encosta e no fundo de vale, com maior amplitude de variação entre tais.

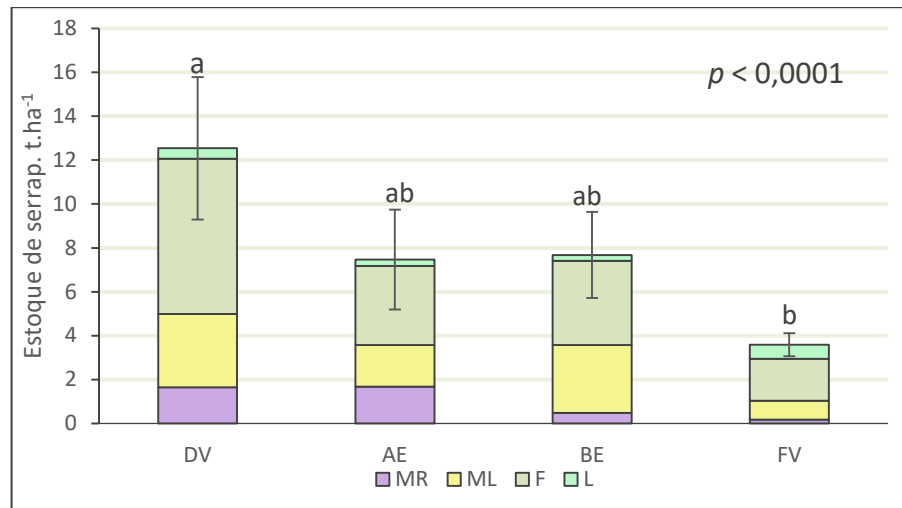


Figura 48: Estoque de serrapilheira nas diferentes parcelas, com indicação das camadas: folhas íntegras (L) ; fragmentos de folhas (F); Material lenhoso (ML); e Material Reprodutivo (MR). Valor *p* Blocos – e grupos variantes ao teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

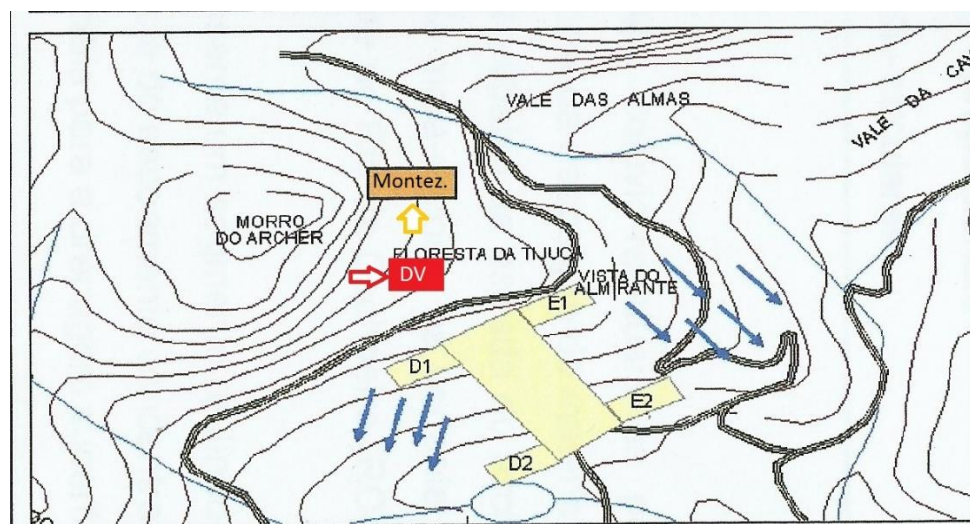


Figura 49: Localização dos sítios amostrais: DV (presente estudo) e Área Controle de Montezuma (2005). Adaptado da obra citada.

Garay e colaboradores (1995), em Mata Atlântica de Tabuleiros, observou variação entre estoques - classificadas enquanto formas de humus: *mull* (decomposição mais rápida) e *molder* (mais lenta apresentando acúmulo de material amorfo) – induzida pelo teor de argila dos respectivos solos. Estes autores inferem que os dois ambientes comparados apresentavam aporte semelhante de material com base na semelhança do acúmulo de camada L, e confirmou empiricamente que os níveis de nitrogênio (N) também não diferiam, aproximando a “qualidade química”. Dessa forma, a velocidade de decomposição, afetada pelos teores de argila no solo, era a responsável pelo acúmulo diferenciado, onde o ambiente de decomposição mais lenta acumulava material na camada F e material amorfo (camada H no citado estudo), acarretando em um estoque mais estratificado. Já o ambiente de decomposição mais rápida apresentou estoque com pouco acúmulo em F e ausência de material amorfo.

Com base no fato de que, no presente estudo, o aporte de detritos não variou significativamente entre as parcelas, resta considerar-se uma diminuição nas taxas de decomposição no setor mais alto para explicar a variação encontrada entre os estoques. A disponibilidade de umidade é uma das condições microambientais com potencial a afetar diretamente as taxas de decomposição e também de condicionar variações florísticas, as quais podem refletir em diferenças na química do material.

Miranda (2013) teve a oportunidade de comparar a umidade contida na serrapilheira na mesma encosta estudada, encontrando na ocasião 41 e 28% menos umidade no divisor e na meia encosta, respectivamente, em relação aos valores no fundo de vale. Tal variação de umidade apresentou-se inversamente correlata ao estoque acumulado. Assim, acredita-se que a menor disponibilidade de umidade seja o fator a limitar relativamente as taxas de decomposição nos divisores de drenagem em pequenas estiagens. Variações na composição florística induzidas pela menor umidade, ou por quaisquer outros fatores, também podem contribuir ao induzir variações na qualidade química do material (diminuindo N e/ou incrementando lignina), reduzindo a velocidade de decomposição.

Já os fundos de vale (como a parcela FV), ao concentrar os fluxos hidrológicos, apresentam mais umidade disponível no topo do solo o que favorece o ambiente de decomposição. O resultado é uma serrapilheira pouco estruturada, com pouco acúmulo de

material fragmentado (camada F), por vezes, quase ausente tal camada. Assim é o estoque encontrado de FV, semelhante ao húmus tipo *mull* reportado por Garay e colaboradores (1995). Há em FV o acúmulo de folhas recém caídas (camada L) em contato quase direto com o horizonte predominantemente mineral (camada F insipiente). Embora Garay (op cit.) não tenha monitorado o aporte de detritos, podemos reforçar a ideia de um ambiente de rápida decomposição em FV uma vez que o seu material foliar acumulado ($L+F= 2,54 \pm 0,45 \text{ t.ha}^{-1}$) é quase metade do que no *mull* reportado ($L+F= 4,66 \pm 0,41 \text{ t.ha}^{-1}$).

Em contraste, na parcela DV, a decomposição mais lenta promove o acúmulo de material fragmentado, o que parece ser o principal responsável pelo maior estoque (figura 50). Corrobora isto o fato da camada de folha recém caídas (camada L) ser similar (sem variação significativa) entre DV e FV, o que seria de se esperar para ambientes espacialmente próximos e com aporte semelhante. A principal diferença entre os estoques de DV e FV foi o acúmulo na camada F. Em DV, era comum observar-se o acúmulo de material amorfo recoberto por colônias visíveis de fungos (com a aparência semelhante a de algodão). Nesta parcela, o estoque se apresenta mais espesso e estruturalmente semelhante ao reportado como húmus tipo *morder* por Garay e colaboradores (op cit), inclusive em relação à presença de raízes finas no horizonte holorgânico (neste trabalho não mensuradas, todavia, observadas em campo). Há uma expressível maior sobreposição de material, com grande acúmulo na camada F e presença comum de material amorfo, em grande parte fino ($<2\text{mm}$). Comparando os valores de material foliar, DV apresentou estoque um pouco menor ($7,55 \pm 0,93 \text{ t.ha}^{-1}$) do que no *morder* reportado ($9,13 \pm 0,80 \text{ t.ha}^{-1}$). Lembra-se que o presente trabalho não mensurou MO $<2\text{mm}$, o que poderia incrementar ainda mais os valores, principalmente em DV. É importante ressaltar que o presente trabalho não tem o objetivo de classificar as formas de húmus encontradas, o que dependeria de aprimoramento com outras análises, mas sim o de efetuar uma avaliação comparativa entre as parcelas, munida de comparações sobre o comportamento do subsistema de decomposição em ambientes similares ao estudado neste trabalho.

Por fim, temos um contraste grande entre os estoques em DV e FV, e estoques que parecem intermediários para AE e BE. A ideia de uma redução gradativa dos estoques no sentido encosta abaixo poderia criar uma expectativa de maior diferença entre AE e BE, o que não foi encontrado, uma vez que os valores de ambos foram muito próximos. Duas hipóteses para fato tal seriam plausíveis: a maior declividade de AE induzindo alguma

perda maior de material para jusante, como observado por Miranda (2013) na mesma encosta; ou que esta seja uma tendência natural, com a formação de estoques intermediários típicos à “meia-encosta”, pouco variantes entre si, e valores extremos reservados ao extremos geomorfológicos, topo e fundo de vale.

Não coube no presente trabalho testar tais hipóteses, que necessitariam de abordagens e delineamentos específicos, a sugerir: o monitoramento do movimento encosta abaixo do material de forma similar ao realizado por Miranda (op cit.) (primeira hipótese); e um delineamento em transecto transversal ao canal e ao longo da encosta, com diversos pontos de coleta equidistantes (segunda hipótese). No presente trabalho, contempla-se a ideia de decomposição mais lenta e maior acúmulo consequente em DV, estoques intermediários (decomposição intermediária) em ambas parcelas de encosta (AE e BE) e rápida dinâmica degradativa com consequente pouco acúmulo de material em FV, para que sejam discutidas as variações encontradas na lixiviação do COD.

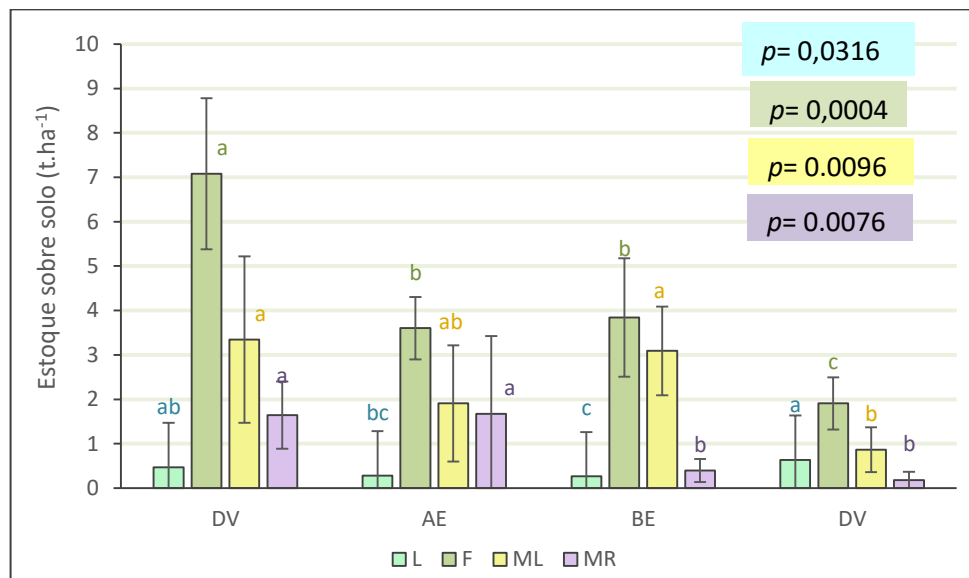


Figura 50: Estoque sobre o solo dos diferentes componentes da serrapilheira em cada parcela. Valores p para o teste Kruskal-Wallis, e parcelas variantes para cada componente pelo teste Dunn a posteriori ($p < 0,05$).

5.2 CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

5.2.1 COD na precipitação inicial

A concentração média de COD encontrada na precipitação inicial na encosta estudada foi de $5,27 (\pm 5,2) \text{ mg.L}^{-1}$. Tal valor parece elevado quando comparado com as concentrações em outras áreas, como reportaram: McDowell (1998) em floresta folhosa (*hardwood*) no Porto Rico ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$); Inagaki e colaboradores (1995) em floresta de coníferas no Japão ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$); McDowell e Linkens (1988) em floresta folhosa nos Estados Unidos ($1,1 \text{ mg.L}^{-1}$); Costa e colaboradores (2017) em floresta Atlântica (inverno) no Brasil ($1,2 \text{ mg.L}^{-1}$); Moore e Jackson (1989) em folhosa na Nova Zelândia ($1,4 \text{ mg.L}^{-1}$); Edmonds e colaboradores (1995) em coníferas nos Estados Unidos ($1,5 \text{ mg.L}^{-1}$); e Currie e colaboradores (1996) em floresta folhosa nos Estados Unidos ($1,8 \text{ mg.L}^{-1}$). Valores ainda menores (0,71 e 0,12) foram reportados por Kieber e colaboradores (2002) na zona costeira da Nova Zelândia.

Valores médios de COD na precipitação mais próximos aos aqui encontrados foram reportados por Siudek e colaboradores (2015) na Polônia ($5,86$ e $5,21 \text{ mg.L}^{-1}$, para área urbana e não urbana, respectivamente), e por Liu e Sheu (2003) em floresta subtropical em Taiwan ($4,7 \text{ mg.L}^{-1}$). Ambos trabalhos ressaltam que os valores reportados são mais altos do que os comumente observados, e que costumam refletir fortemente a ação antropogênica de atividades de queima de combustíveis fósseis (petroquímica e carvão mineral). Liu e Sheu (op cit.) citam o valor de aproximadamente 2 mg.L^{-1} como um limiar para a averiguação do impacto da poluição antropogênica, considerando que raramente a concentração na chuva excede esse limiar em lugares onde predomina a origem biogênica (terrestre ou marítima) do carbono orgânico da atmosfera.

Neste mesmo sentido, Siudek e colaboradores (2015) ressaltam que o valor encontrado por eles condiz à matriz urbana de um dos sítios, e que o sítio não urbano sofre grande influência atmosférica de grandes centros urbanos da Europa ocidental. Estes autores utilizaram, inclusive, o próprio dado de COD na chuva para inferir tal condição. Assim, a Floresta da Tijuca apresenta concentrações COD em sua chuva inicial que

parecem típicas de ambiente urbano, refletindo seu contexto espacial inserido em uma metrópole populosa em seu entorno, como a cidade do Rio de Janeiro. Embora sua posição costeira possa favorecer a dispersão de poluentes com a predominância do vento nordeste (Relatório do MonitorAr-Rio, do âmbito 2011-2012).

O desvio padrão observado parece maior que o citado na maioria estudos. Foram observadas, ao longo dos 06 (seis) eventos coletados, concentrações $<1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ até concentrações $>10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (tabela 2). No caso de ambientes onde há inverno rigoroso e grande concentração urbana, como na China, um aumento considerável na queima de combustíveis fósseis para o aquecimento doméstico acarreta aumentos na concentração de COD na chuva neste período (LIU E SHEU, 2003; CAO et al., 2006; ZHANG et al., 2009; PAN et al., 2010). No caso das supercidades chinesas, o citado incremento no inverno originado no aquecimento doméstico pode elevar as concentrações para cerca de $40,0 \text{ mg.L}^{-1}$, em mesmo sítio onde mediu-se cerca de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ no verão (PAN et al., op. Cit.).

Na Polônia, situação semelhante foi reportada por Siudek e colaboradores (2015), onde o aumento da queima de combustíveis fósseis para o aquecimento doméstico também acarretou em incremento nas concentrações. Por sua vez, ambientes protegidos da influência antrópica na atmosfera, mas onde se observa considerável sazonalidade na fisiologia da vegetação dominante, podem também apresentar variação sazonal, com maiores concentrações na primavera ocasionada por emissões biogênicas da fase de crescimento vegetal, como o observado Orlovic-Leko e colaboradores (2009) na Croácia.

Nenhuma dessas situações parece representar o esperado para o Rio de Janeiro, onde não há um inverno rigoroso e o aquecimento doméstico praticamente não existem. Tão pouco uma sazonalidade ecológica tão significativa que possa influenciar as concentrações de carbono orgânico na atmosfera pode ser esperada sobre uma floresta sempre verde (hombrófila) como a Floresta da Tijuca. Pan e colaboradores (2010) ressaltam a influência da umidade antecedente e do efeito da diluição na variação das concentrações de COD na chuva, indicando que a lavagem atmosférica é mais intensa no início da precipitação. Baseado neste fato, aqui foi testada a dependência (por regressão linear) das concentrações dos eventos em relação ao número de dias de estiagem, ao total precipitado e ao acumulado de chuva dos 10 (dez), 15 (quinze) e 30 (trinta) dias antecedentes. A tabela 2 apresenta os dados de concentração de COD na Precipitação Inicia

(PI) em cada evento, e os principais dados referentes às condições antecedentes e características do eventos.

Tabela 2: COD na precipitação inicial nos diferentes eventos e algumas características destes. Unidades: mg.L^{-1} (COD); mm (Total precipitado de cada evento e acumulados antecedentes).

Ev.	Data	COD prec. inicial	Características do evento				
			Total precip. (mm)	Estiagem (dias)	acum. 15d ant.	acum. 10d ant.	acum. 30d ant.
1°	12-20/05/16	3,8	176	11	48,8	0	48,8
2°	18-22/07/16	9,7	58,4	22	0	0	34,2
3°	31/08-02/09/16	0,34	49,7	5	108	98	203,2
4°	12/10/2016	1,9	4,9	1	85	64,2	229,2
5°	8-10/02/17	13,75	7,2	4	29,8	9	97,4
6°	14-15/03/17	3,7	40,76	5	106,2	98,2	106,2

As variações nas concentrações de COD na precipitação foram mal explicadas (regressões lineares) pelos volumes totais precipitados, assim, não foi possível observar o efeito da diluição (figura 51). Já em relação à umidade antecedente, não houve relação com o número de dias de estiagem. A precipitação acumulada aparentou alguma influência (moderada) em relação ao de 10 (dez) dias, fortalecendo-se em relação ao acumulado de 15 (quinze) dias. Quando analisado em função do acumulado de 30 (trinta) dias, a dependência volta a ser fraca. A correspondência inversa indica que quanto maior o acumulado, menor era a concentração de COD na água. É de se esperar este acumulado antecedente influencie na concentração, entretanto, é difícil, por hora, estabelecer um modelo teórico mais detalhado sobre esta influência para além da ideia de pré-lavagem atmosférica.

Contudo, fatores singulares também podem ajudar a explicar as variações observadas. O evento de segunda maior concentração, por exemplo, ocorreu em Julho (2° evento). Tal época costuma ser mais seca no Rio de Janeiro, além de coincidir com as comemorações das festas de São João, onde ainda reside o hábito de soltar balões. O resultado é a concentração de queimadas nesta época do ano, as quais, não raramente, atingem a Floresta da Tijuca em sua vertente norte, principalmente. Apesar de não haver registro oficial disponível sobre a ocorrência de queimadas por parte do PARNA-Tijuca, não parece absurdo considerar a possibilidade de que alguma queimada possa ter afetado a entrada de COD pela chuva, uma vez que estas podem ocorrer próximas à encosta

estudada. Por outro lado, a maior concentração média foi verificada no verão (5º evento), o que, por sua vez, torna difícil associa-la às queimadas.

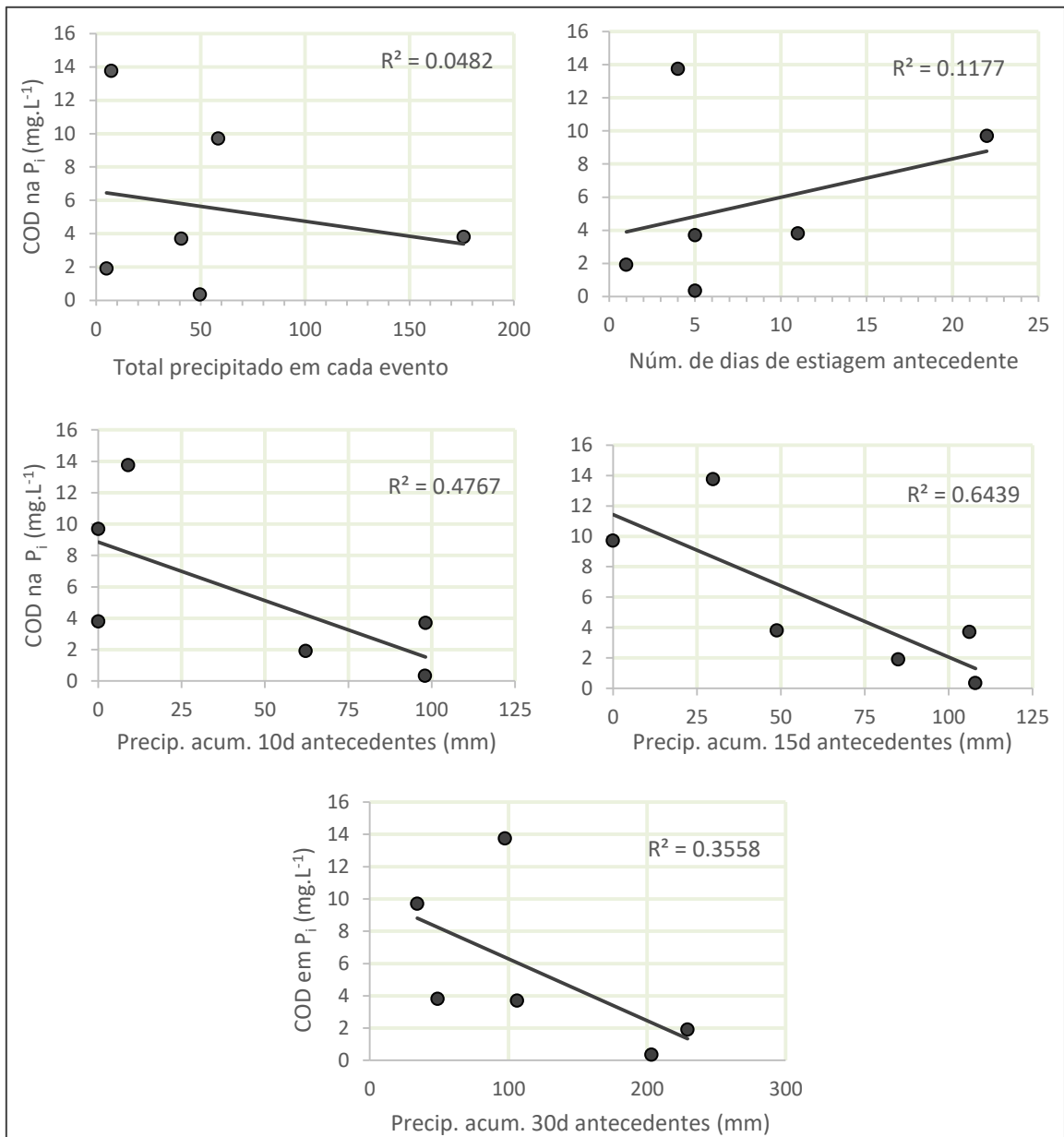


Figura 51: Regressões lineares entre o COD na precipitação inicial (P_i) e possíveis variáveis controle: total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Coeficiente de determinação (R^2).

Se o inverno rigoroso das maiores latitudes resulta em aquecimento doméstico, nosso rigoroso verão no Rio de Janeiro estimula a refrigeração dos ambientes comerciais e

domésticos. Os aparelhos de ar-condicionado utilizam Hidrofluorcarbonetos (gases HFC), os quais podem vaziar. Não há nenhuma relação estabelecida na bibliografia sobre essas emissões e a entrada de COD via chuva, mas há crescente preocupação com o impacto dessas emissões sobre a intensificação do efeito estufa. Não se afirma, aqui, relação entre os HFC e o COD na chuva, sob nenhuma hipótese. Apenas abre-se uma possibilidade para investigações futuras que objetivem responder a possíveis variações sazonais obtidas na entrada de COD pela chuva em ambientes tropicais. Um efeito sazonal já reportado, o qual favorece o incremento na concentração de COD é o aumento da temperatura do ar, o que resulta em maior solubilidade para a água precipitada (McDOWELL, 1998).

Costa e colaboradores (2017), em Mata Atlântica no sul da Bahia, encontraram aumento da concentração de COD na precipitação inicial durante a estação chuvosa em área de plantio de cacau. Estes autores indicaram que tal resultado é incomum frente a outros estudos e que tal comportamento não foi observado em seu sítio sob floresta preservada, onde a estação chuvosa apresentou grande redução nas concentrações, quando foi inferida a atuação concomitante dos efeitos diluição e pré-lavagem da atmosfera.

É difícil afirmar sobre um comportamento sazonal frente aos dados obtidos, uma vez que, das 06 (seis) coletas, cada 02 (duas) ocorreram em estações distintas (inverno, primavera e verão), com grande variação nos dados, embora as (02) duas menores concentrações tenham ocorrido no inverno. Mesmo acreditando-se que o n mínimo aceitável para a execução de uma estatística sejam 03 (três) para cada média, foi testada a variação sazonal pelo teste Kruskal-Wallis entre as 03 (três) estações ($n= 02$ para cada). A variação não foi significativa ($p= 0,1801$).

Os valores obtidos em cada evento também foram testados por regressão múltipla utilizando-se o total precipitado, o número de dias de estiagem antecedente e a precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes (opção de acumulado antecedente com melhor ajuste individual) como variáveis independentes, para explicar as variações na concentração de COD entre os eventos (variável dependente). Apesar do expressivo coeficiente de determinação obtido ($R^2= 0,8167$), este reduz-se consideravelmente quando ajustado (R^2 ajustado 0,5418).

Em suma, destaca-se o acumulado de chuva nos dias precedentes como variável que melhor respondeu pelas variações temporais encontradas na entrada de COD

pela precipitação inicial, e que o acumulado de 15 (quinze) dias se ajustou melhor do que o de 10 (dez) e 30 (dias). Sendo assim, acredita-se que uma estiagem de duas semanas já pode apresentar efeito considerável sobre esta entrada. Foi difícil confrontar sazonalmente os dados, todavia a influência do acumulado antecedente pode ser válido para o delineamento experimental de futuras pesquisas sobre o tema.

5.2.2 COD no fluxo de atravessamento (P_A) e lavagem das copas (L_C).

A concentração média de COD encontrada na chuva atravessada da encosta laboratório foi de 13,29 (\pm 11,31) mg.L⁻¹. Tal valor é simimlar ao observado em outros ambientes, considerando que tal costuma variar entre 7 e 20 mg.L⁻¹ (referências a seguir). Para este compartimento, em diferentes florestas de coníferas nos Estados Unidos, foram reportadas concentrações (em mg.L⁻¹) de: 9,6 (DAVID e DRISCOLL, 1984); 10,5 (EDMONDS, 1995); 11,8 (QUIDEAU e BOCKHEIN, 1997 apud PAN et al. 2010); e 24,7 (CURRIE et al., 1996). Sob coníferas no Japão, Inagaki e colaboradores (1995) encontraram 4,3 e 2,9 mg.L⁻¹ em dois sítios distintos. Já nas florestas folhosas dos Estados unidos foram observados: 4,8 (DAVID e DRISCOLL, 1984); 7,3 (EDMONDS et al., 1995); 29,0 (CURRIE et al., 1996); 33,9 (MCDOWELL e LIKENS), todos em mg.L⁻¹. Também foram reportados em folhosas: 12,3 no Canadá (DALVA e MOORE, 1991); 6,2 no Porto Rico (MCDOWELL, 1998) e 16,0 na Nova Zelândia (MOORE e JACKSON,1989), todos também em mg.L⁻¹.

Em Mata Atlântica do sul da Bahia, Costa e colaboradores (2017) encontraram média de 2,4 mg.L⁻¹ em floresta preservada e 4,5 mg.L⁻¹ em cultura de cacau em sistema agroflorestal. A diferença encontrada entre os sítios foi discutida pelos autores em torno da maior capacidade de retenção da água pelas copas no sistema agroflorestal, acarretando em maior tempo permanência e maior superfície lavada.

O enriquecimento de COD na chuva ao atravessar o dossel florestal, apresentando concentrações sempre maiores no atravessado do que as observadas na precipitação inicial, foi o resultado encontrado em todos os estudos supra citados, assim como no presente trabalho, pelo menos em relação às médias gerais dos eventos, pois

algumas exceções foram observadas pontualmente (coletores isolados). Este enriquecimento ocorre pela lavagem das folhas das copas, retirando material com origem na deposição seca de particulados orgânicos antes em suspensão na atmosfera, assim como pela solubilização de compostos biogênicos da superfície dos tecidos foliares (PAN et al., 2010).

Para todos os autores citados neste sub-capítulo, ficou claro que a lavagem de material com origem atmosférica depositado nas copas, se apresenta como a via de transferência de C_{org} atmosférico para o solo mais importante do que a precipitação direta (lavagem direta da atmosfera – deposição úmida). Em alguns ambientes, principalmente de coníferas, os fluxos de tronco passam a desempenhar papel mais central do que o atravessamento pela copa nesta transferência. Fato também observado na Mata Atlântica do sul da Bahia, rica em palmáceas (COSTA et al., 2017).

A tabela 3 apresenta os valores obtidos para a concentração de COD no Fluxo de Atravessamento (P_A) e na Lavagem das Copas (L_C). O alto desvio padrão encontrado na média geral para encosta estudada tem maior influência temporal (diferença entre os eventos - figura 52) do que espacial (entre as parcelas), embora neste segundo também tenha sido grande, ocasionado pela heterogeneidade intraparcela. É possível citar dois eventos que se destacaram com as maiores concentrações na P_A : 5° e 2° eventos ($23,92 \pm 14,21 \text{ mg.L}^{-1}$ e $20,66 \pm 16,21 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente). O 6° apresentou as menores concentrações ($5,88 \pm 2,50 \text{ mg.L}^{-1}$). Os demais eventos, 1° ($11,71 \pm 5,63 \text{ mg.L}^{-1}$), 4° ($10,62 \pm 2,36 \text{ mg.L}^{-1}$) e 3° ($6,96 \pm 2,51 \text{ mg.L}^{-1}$) apresentaram menores concentrações mas não se diferenciaram estatisticamente do 2°, ao tempo que o 3° não se diferenciou do 6°.

A capacidade de algumas variáveis em explicar a variação entre os eventos foi testada por regressão linear, de forma similar ao realizado para P_I , sendo elas: DOC na precipitação inicial (P_I); total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 (dez) dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 (quinze) dias antecedentes; precipitação acumulada nos 30 (trinta) dias antecedentes; intensidade em mm/hora (figura 53). Foi observada forte correlação com a concentração de COD na precipitação inicial, de forma que, quanto maior foi esta, maior foi a concentração também no atravessado. Há de se destacar que a água já chega às copas com a concentração (P_I), e que o comportamento natural é o aumento desta ao atravessar o

dossel. Tal correlação pode indicar a origem atmosférica do COD lixiviado nas copas. Tal proposta é melhor avaliada em relação à Lavagem da copas (L_C), a seguir. Em P_A , deve imperar o efeito da concentração previamente imposta.

Tabela 3: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na precipitação atravessada (P_A) e lavagem das copas (L_C), em cada parcela, ao longo dos diferentes eventos (EVs), e médias gerais. Parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Amostras compostas (AC).

	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	Média
COD em P_A ($mg.L^{-1}$)							
DV	13,27 ± 3,63	30,60 ± 28,03	5,66 ± 2,25	14,54 _{AC}	20,41 ± 7,06	6,82 ± 2,32	15,22 ± 13,88
AE	11,56 ± 9,00	12,42 ± 4,77	6,90 ± 3,06	9,80 _{AC}	27,24 ± 14,88	8,11 ± 2,13	12,68 ± 9,72
BE	11,67 ± 5,61	24,13 ± 11,79	8,10 ± 2,43	9,40 _{AC}	33,04 ± 21,08	5,24 ± 1,87	15,26 ± 13,72
FV	10,32 ± 4,42	15,48 ± 6,58	7,17 ± 2,42	8,73 _{AC}	14,97 ± 3,18	3,35 ± 0,65	10,0 ± 5,45
COD em L_C ($mg.L^{-1}$)							
DV	9,48 ± 3,63	20,90 ± 28,03	5,32 ± 2,25	12,64 _{AC}	6,66 ± 7,06	3,13 ± 2,32	9,69 ± 12,41
AE	7,77 ± 9,00	2,71 ± 4,77	6,56 ± 3,06	7,90 _{AC}	13,52 ± 14,88	4,41 ± 2,13	7,15 ± 7,66
BE	7,86 ± 5,61	14,43 ± 11,79	7,76 ± 2,43	7,50 _{AC}	19,29 ± 21,08	1,54 ± 1,87	9,73 ± 10,92
FV	6,52 ± 4,42	5,78 ± 6,58	6,83 ± 2,41	6,81 _{AC}	1,22 ± 3,18	-0,34 ± 0,65	4.47 ± 4,44

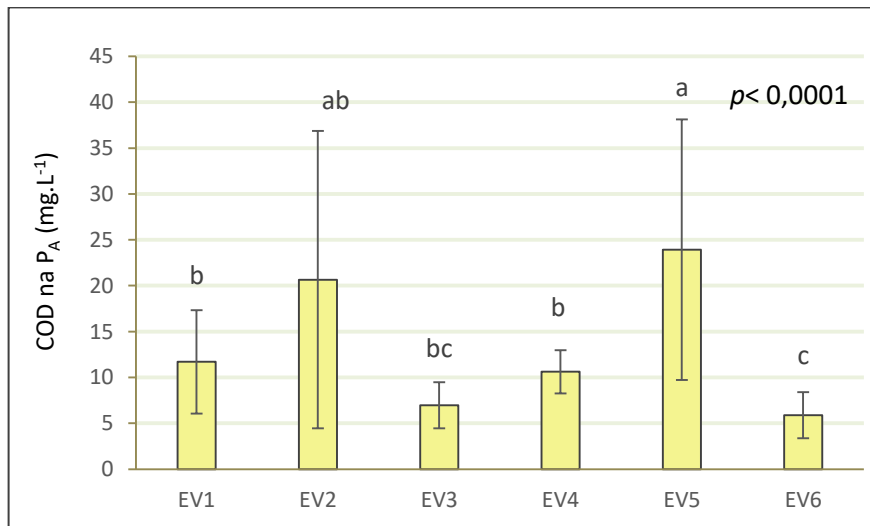


Figura 52: Média e desvio padrão das concentrações de COD em P_A na encosta laboratório nos diferentes eventos (EVs). Valor p para o teste Kruskal-Wallis e eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

A dispersão dos valores de concentração de COD encontrados na P_A indicou baixa influência do número de dias de estiagem e também do total precipitado. Uma correlação inversa é algumas vezes encontrada entre o total precipitado e a concentração de

COD, como efeito da diluição. Não pareceu tão relevante aqui este efeito. Todavia, a intensidade da precipitação, representada aqui pelo precipitado médio (mm) por hora aparentou alguma influência sobre as concentrações. A inversa relação encontrada indica a redução da concentração do lixiviado com o aumento da intensidade. É possível imaginar a maior intensidade da chuva se refletir na intensificação da “sobreposição de lâminas d’água”, de forma que o precipitado caia sobre a superfície ainda molhada (ou mais molhada), limitando o contato com a superfície lavável, assim como dando menos tempo a reposição de solutos pela deposição seca ou excretados biogênicos (das folhas). Faz parte do contexto de efeito da diluição.

O acumulado de precipitação nos dias antecedentes demonstraram relação com a concentração em P_A . A capacidade explicativa foi boa para o acumulado de 10 (dez) dias, e, mais uma vez (havia ocorrido em P_1) aumentou consideravelmente para o acumulado de 15 (quinze) dias, reduzindo-se bastante para o acumulado de 30 (trinta). Esta relação inversa deve ser movida pelo tempo para o acúmulo da deposição seca. Comparando-se os resultados obtidos sobre os dias de estiagem com os do acumulado antecedente, vem à tona a ideia de que pequenas precipitações podem lavar apenas parcialmente as copas. Caso contrário, seria provável que o número de dias de estiagem apresentasse maior capacidade explicativa. Assim, parece que o acumulado de chuva é o contexto climático antecedente que se revelou como mais eficiente no controle da concentração COD na P_A em cada evento.

Utilizou-se regressões múltiplas para testar a atuação conjunta das variáveis supra citadas. O resultado foi um alto valor para o coeficiente de determinação ajustado (r^2 ajustado = 0,912). Todavia, não foi atribuída confiabilidade ao modelo preditivo (p interseção = 0,20). A pouca confiabilidade deve ser resultado da inserção de um número desproporcionalmente grande de variáveis independentes (04 variáveis) frente às poucas observações (réplicas) realizadas ($n= 06$) (GOTELLI e ELLISON, 2011).

Em relação à lavagem das copas (L_C), cabe destacar que um dos resultados foi o aumento proporcional dos desvios padrão em cada evento, uma vez que a subtração de um valor fixo (por evento) da concentração de cada pluviômetro reduziu as médias, mas sem afetar os desvios padrão, que foram idênticos aos observado em P_A .

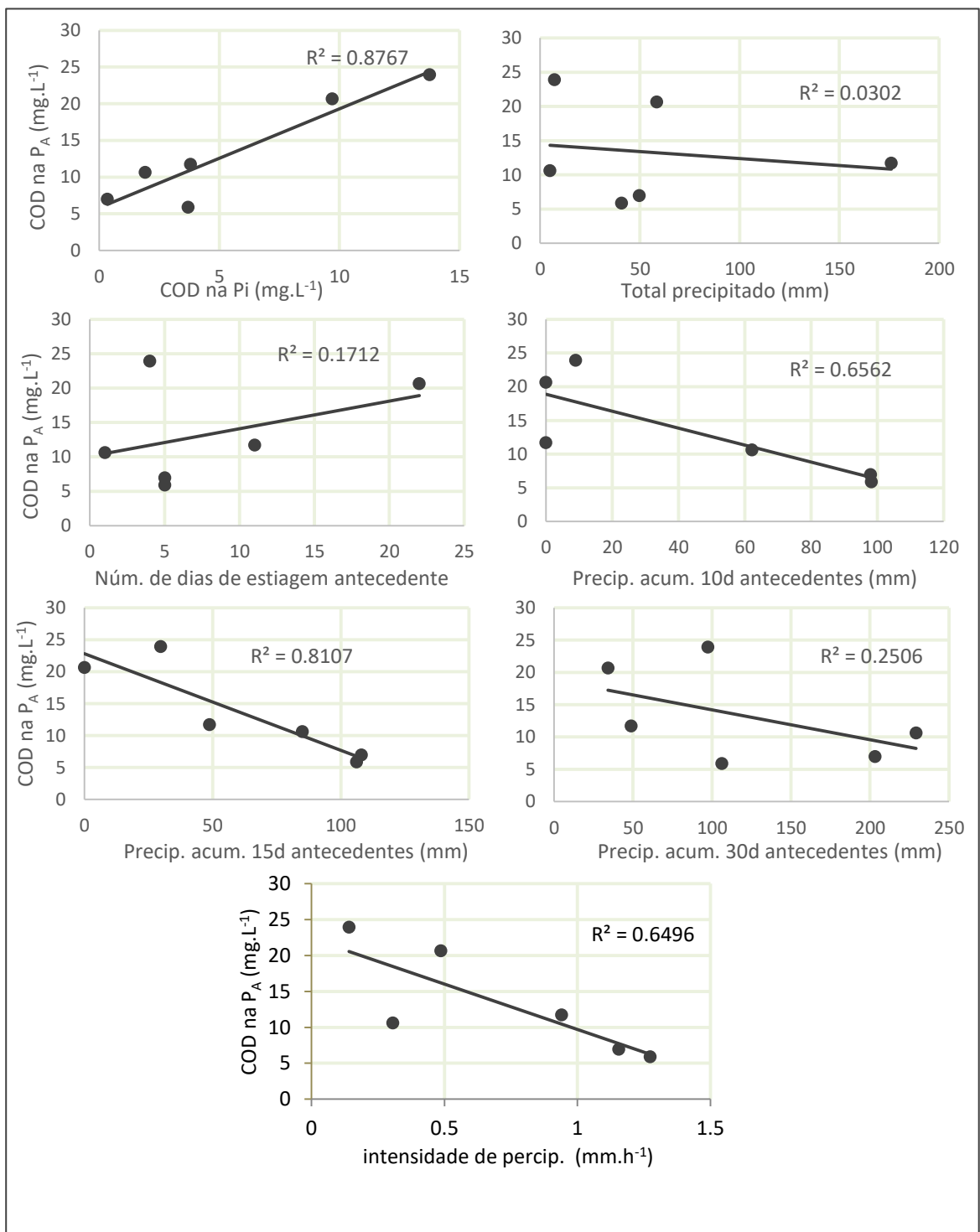


Figura 53: Regressões lineares entre o COD na precipitação atravessada (P_A) e possíveis variáveis controle: COD na precipitação inicial (P_I); total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Coeficiente de determinação R².

O alto desvio padrão dificultou a diferenciação estatística entre os eventos, de forma que apenas o 6º evento se destacou dos demais com as menores concentrações ($2,18 \pm 2,50 \text{ mg.L}^{-1}$), assim como observado na P_A . Os demais eventos não se diferenciaram entre si. Mesmo sem variação significativa, é possível observar que o evento com maior L_C é o 2º evento ($10,96 \pm 16,21 \text{ mg.L}^{-1}$), em detrimento ao observado para P_A (maior concentração no 5º), mas os valores permaneceram muito próximos ($10,71 \pm 14,21 \text{ mg.L}^{-1}$ no 5º evento). Contudo, o 2º e o 5º eventos, que apresentaram maiores concentrações na PI , também apresentaram na LC , indicando a importância do C_{org} de origem atmosférica na lavagem deste compartimento (deposição seca). O 5º evento apresentou a segunda maior concentração média, e foi o único a não apresentar diferença significativa em relação ao 6º, provavelmente pelo grande desvio padrão observado.

Com base nestes novos valores (L_C), foi novamente testada (por regressões) a capacidade explicativa das mesmas variáveis independentes utilizadas para P_A . Houve uma redução geral do coeficiente de determinação (R^2) em relação ao observado na concentração de COD em P_A , mantendo-se uma relação quase nula com o total precipitado e o número de dias de estiagem antecedente (figura 54). Foi grande também a redução para o acumulado de 30 (trinta) dias. A menor redução ocorreu para o acumulado de 10 dias, que passou a ser representativo e mais próximo do de 15 (quinze) dias, variável de umidade antecedente a manter a melhor credibilidade preditiva sobre L_C . A intensidade de precipitação foi a única variável a não reduzir o coeficiente de determinação, destacando a influência de tal característica dos eventos sobre a capacidade de gerar diluição da concentração de COD.

Em relação à variação espacial, não foi observado um comportamento uniforme. Ou seja, em cada evento, diferentes parcelas apresentaram maiores concentrações, tanto na P_A quanto para L_C . Os desvios padrão também foram grandes, indicando que singularidades da vegetação logo acima dos coletores tiveram bastante capacidade de influenciar as concentrações em P_A , acarretando em heterogeneidade espacial intraparcela (figura 55). Ou seja, o controle parece ter escala bem local para essa lavagem. Miranda (1992) estudou o comportamento de interceptação da chuva pela vegetação na mesma bacia (rio Cachoeira, alto curso), e encontrou comportamento

pontuais discrepantes, que contribuíram para o aumento da heterogeneidade internas das áreas. Comportamento semelhante foi encontrado para a interceptação no presente estudo.

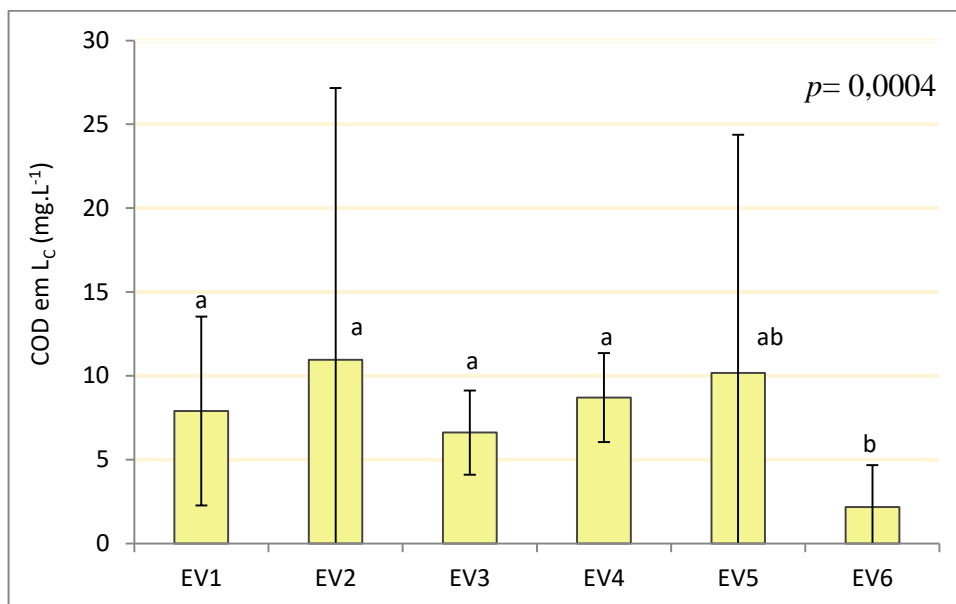


Figura 54: Médias e desvios padrão da concentração de COD em L_C na encosta laboratório nos diferentes eventos (EVn). Valor de p para o teste Kruskal-Wallis e eventos estatisticamente variantes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

Nos 05 (cinco) primeiros eventos, não foi significativa a variação entre as parcelas para as concentrações na P_A e para L_C (figura 56). Foi observada a redução na concentração em P_A em relação ao encontrado em P_I em 09 (nove) “ocasiões” – considerando-se 120 (cento e vinte) “ocasiões” possíveis (20 coletores x 6 eventos). Como um dos reflexos, foi obtida uma média negativa para L_C ($-0,34 \pm 0,65 \text{ mg.L}^{-1}$) na parcela FV, no 6º evento. Foi este evento o único a apresentar variação significativa entre as parcelas, tanto na P_A quanto para L_C , quando FV foi menor que AE, parcela que apresentou a maior concentração para ambas as médias P_A e L_C . As demais parcelas não difeririam de AE ou FV.

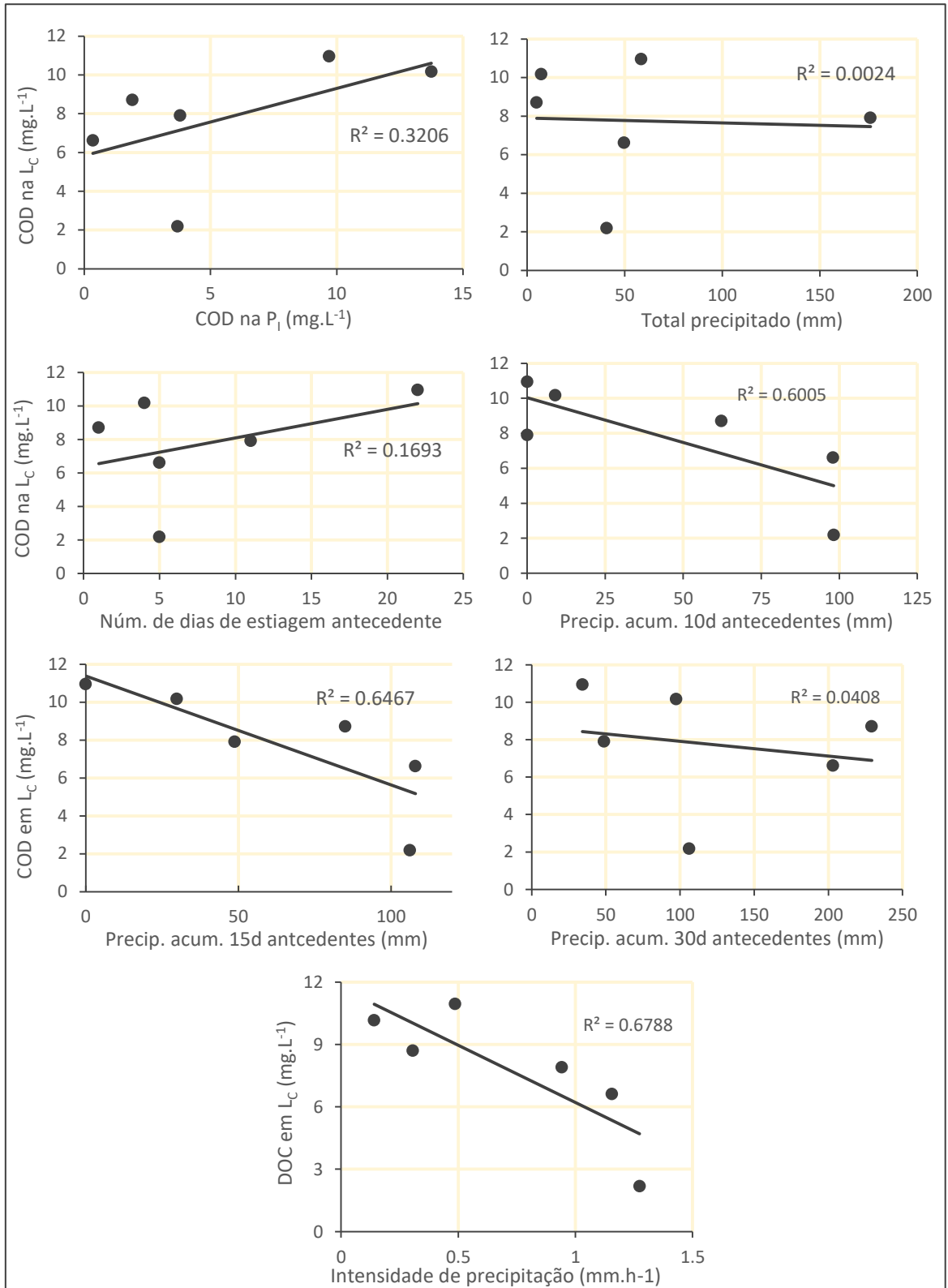


Figura 55: Dispersão dos valores de concentração de COD da Lavagem das Copas (L_C) em relação às possíveis variáveis controle: COD na precipitação inicial (P₁); total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; e precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes. Retas de tendência e Coeficiente de determinação lineares (R²).

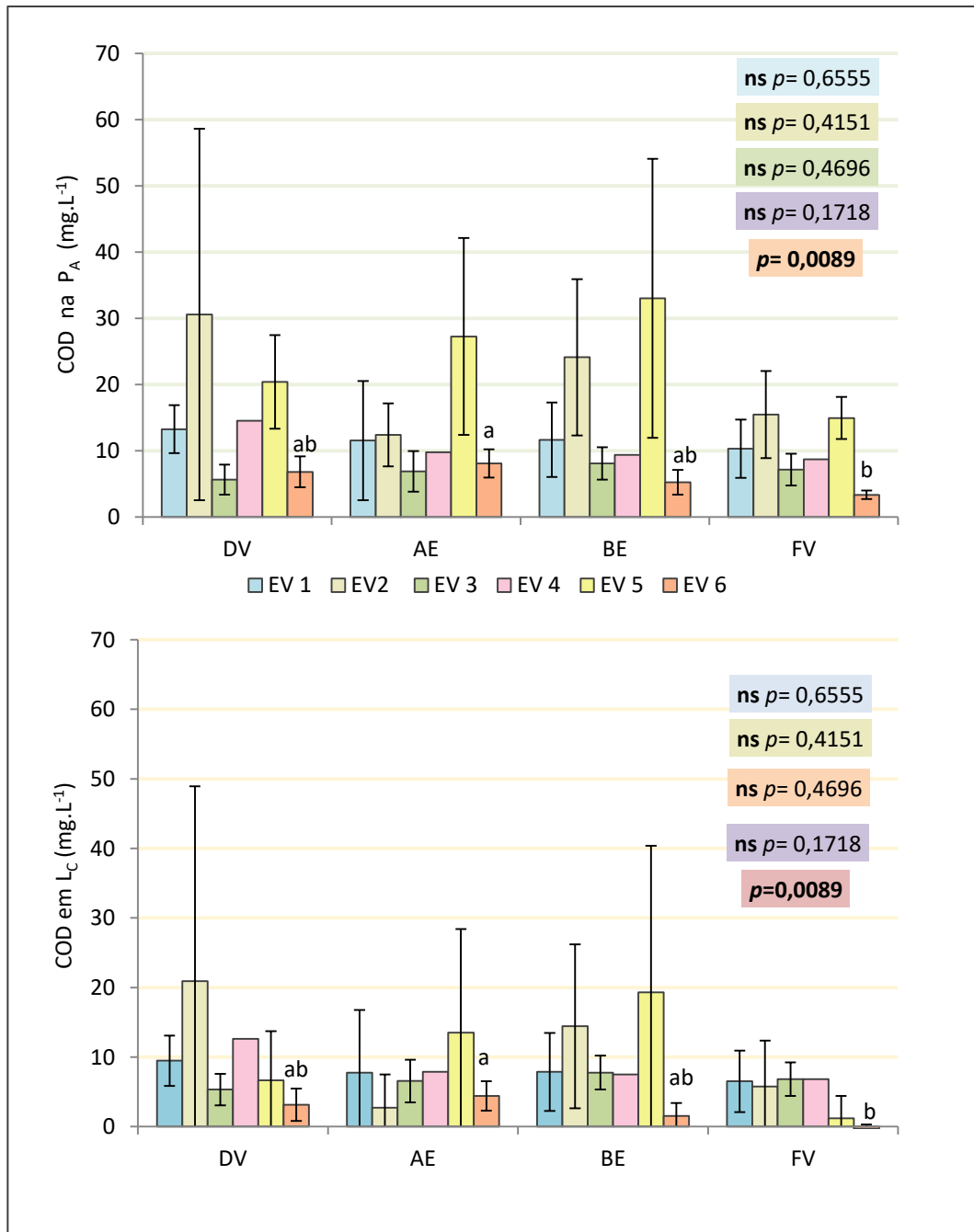


Figura 56: Médias e desvios padrão da concentração de COD na Precipitação Atravessada (P_A) e na Lavagem das Copas (L_C) dos diferentes eventos (cores) nas parcelas. Valores de p para o teste Kruskal-Wallis e parcelas variantes em cada evento pelo teste Dunn ($p=0,05$).

DV e BE apresentaram as maiores médias na concentração de COD entre os eventos, mas a variação não foi significativa entre nenhuma das parcelas (figura 57). A grande heterogeneidade intraparcela deve ser a principal responsável por tal, ressaltando o caráter espacialmente pontual do controle de enriquecimento de COD ao atravessar as copas. De fato, não se esperava grandes variações, uma vez que a estrutura da vegetação pareceu similar entre as parcelas e não houve variação entre a interceptação destas. Considerando que os fluxos de tronco, não explorados neste trabalho, desempenham um papel também importante na transferência de COD para o solo em Florestas Tropicais (COSTA et al., 2017), é possível que haja um maior protagonismo desta via em DV, parcela que apresenta maior quantidade de palmeiras, pois estas apresentam maior tendência a formar fluxos de tronco por conta da arquitetura de copa mais propícia à convergência da precipitação, quando comparadas às demais árvores na Floresta da Tijuca (MIRANDA, 1992).

Em suma, só foram significativas as diferenças entre os eventos, enquanto as parcelas não variaram entre si. Ao que parece, o contexto de precipitação antecedente exerceu maior controle sobre a concentração de COD no fluxo atravessado pelas copas, do que o gradiente ambiental na escala de encosta. Destaca-se o os 15 (quinze) dias antecedentes como um intervalo de tempo que apresentou melhor ajuste (comparado à 10 e 30 dias), inversamente relacionado.

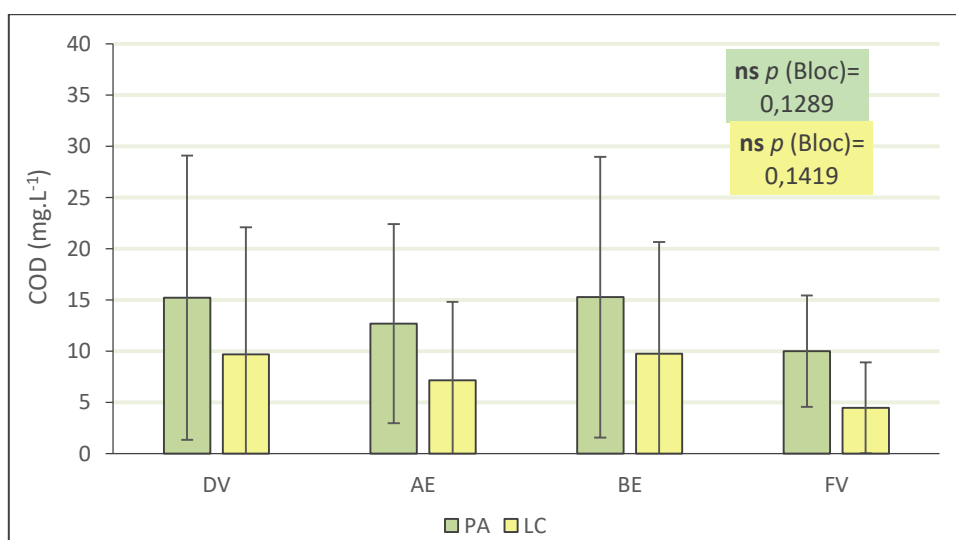


Figura 57: médias e desvios padrão das concentrações de COD no Fluxo de Atravessamento (PA) e na Lavagem das Copas (LC), em cada parcela. Valores p para a análise de variância pelo efeito dos blocos onde os tratamento (eventos) foram replicados.

5.2.3 COD no fluxo atravessado pela serrapilheira (P_S) e na lavagem da serrapilheira (L_S)

A concentração média de COD encontrada na P_S para a encosta estudada foi de 44,16 ($\pm 16,51$) mg.L^{-1} . Tal valor parece similar aos geralmente reportado em climas temperados. Por exemplo, Fröberg e colaboradores (2011) encontraram cerca de 43 mg.L^{-1} sob serrapilheira de floresta de Abeto da Noruega (*Picea abies*), na Suécia, valor superior quando comparado ao encontrado sob Pinheiro Esquocês (*Pinus sylvestris L.*) e Bétulas (*Betula pendula*), 39 e 25 mg.L^{-1} , respectivamente. McDowell e Likens (1988) encontraram 46,0 e 49,2 mg.L^{-1} para folhosas decíduas e floresta mista, respectivamente.

Já Fröberg e colaboradores (2006), observaram sob Abeto da Noruega: 49,3; 38,6; e 30,3 (mg.L^{-1}) em três sítios diferentes, também na Suécia. Estes três sítios representam, respectivamente, um gradiente de aumento de latitude. Nos Estados Unidos, foram reportadas concentrações médias (mg.L^{-1}) de: 33,0 em lixiviados de serrapilheira sob florestas folhosas nos Estados Unidos, por Qualls e colaboradores (1991); 34,5 em coníferas, por Richter e Markewitz (1996); e 44,2 e 25,4 em coníferas e folhosas, respectivamente, foram reportados por Currie e colaboradores (1996). Na Alemanha, valores ainda similares foram observados sob coníferas (38,2 mg.L^{-1}). Na Noruega, Mulder e Clarke (2000, apud MICHALZIK et al., 2001) encontraram 47,8 mg.L^{-1} sob coníferas.

Ao que parece, os valores da presente pesquisa não se encontram abaixo, como o esperado (já que aqui os estoques costumam ser menos espessos), do encontrado em diversos trabalhos em florestas temperadas e boreais. Park e Matzner (2003), por exemplo, contabilizaram apenas 26,9 mg.L^{-1} na serrapilheira superficial (sub-horizonte Oi), atingindo valores próximos aos aqui encontrados (48,4 mg.L^{-1}) quando considerado todos 80cm de estoque (sub-horizonte Oa).

Valores elevados foram reportados por Krám e colaboradores (1997, apud MICHALZIK et al., 2001) em coníferas na República Checa (87,2 mg.L^{-1}). Avaliando a bibliografia citada, parece normal encontrar-se valores $> 100 \text{ mg.L}^{-1}$, nos momentos e/ou lugares onde a lixiviação atinge suas melhores performances. Assim, parece que os valores

encontrados por Hongve (1999) na Noruega, os quais ultrapassam os 1000 mg.L^{-1} , parecem não serem comuns. São escassos os estudos em floresta tropicais que coletaram os fluxos de atravessados pela serrapilheira. Em Mata Atlântica preservada no sul da Bahia, Costa e colaboradores (2017) encontraram cerca de 19 mg.L^{-1} .

A tabela 4 apresenta os valores médios encontrados para P_S e L_S . Comparando-se os diferentes eventos, a concentração de COD na P_S se destacou como maior no 1º evento. Apenas o 5º evento não teve significativa diferença em relação ao 1º na P_S . Todos os demais (2º, 3º, 4º e 6º) apresentaram concentrações estatisticamente menores, não diferenciando-se entre si. O 5º evento apresentou caráter intermediário (figura 58).

Um fator importante no controle das variações temporais na lixiviação de COD da serrapilheira é a presença de material de “origem fresca”. Alguns autores (HONGVE, 1999; FRÖBERG et al., 2006) testaram a evolução da lixiviação de COD de uma mesma amostra de serrapilheira ao longo de semanas, constatando um efeito forte do tempo de exposição (efeito “fresh litter”) do material. A considerável variação sazonal nas concentrações de DOC observada nos ambientes temperados é resultado da ação conjunta da caducifolia (mais necromassa) com o efeito “fresh litter”. Apesar do presente trabalho ter monitorado a queda de detritos ao longo de um ano (englobando os períodos de coleta de COD), a amostragem mensal deste aporte tornou difícil a associação matemática entre os dados de COD e aporte de serrapilheira. A deposição constante de detritos observada na encosta deve suavizar este efeito.

Os resultados encontrados em cada evento, considerando-se a média das parcelas, foram testados frente às mesmas variáveis potencialmente explicativas utilizadas para a P_A . O objetivo foi avaliar a influência da umidade antecedente e da dinâmica de precipitação, sobre a variação nas concentrações médias de COD entre os eventos. Alterou-se apenas o uso da P_I para o uso da P_A como concentração previamente imposta. As demais variáveis utilizadas foram: total precipitado em cada evento (mm); número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 (dez) dias antecedentes (mm); precipitação acumulada nos 15 (quinze) dias antecedentes (mm); precipitação acumulada nos 30 (trinta) dias antecedentes (mm); e intensidade (mm/hora).

Tabela 4: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na atravessado pela serrapilheira (P_S) e lavagem da serrapilheira (L_S), em cada parcela, ao longo dos diferentes eventos (EVs), e médias gerais. Parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Amostras compostas (AC).

	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	MÉDIA
COD na P_S ($mg.L^{-1}$)							
DV	57,53 ± 13,0	40,57 ± 10,3	31,17 ± 10,3	43,25 _{AC}	59,84 _{AC}	26,01 ± 7,2	43,05 ± 14,3
AE	65,47 ± 22,2	40,51 ± 8,0	38,61 ± 18,8	49,95 _{AC}	53,59 _{AC}	59,99 ± 32,6	50,85 ± 18,0
BE	65,00 ± 25,1	40,98 ± 7,7	45,33 ± 30,1	50,75 _{AC}	85,95 _{AC}	42,43 ± 10,4	55,07 ± 19,7
FV	38,76 ± 7,3	30,46 ± 3,4	22,51 ± 7,2	30,40 _{AC}	61,89 _{AC}	18,58 ± 2,3	33,77 ± 14,7
MÉD.	56,68 ± 18,1	38,12 ± 8,4	34,40 ± 16,2	43,59 ± 9,4	56,16 ± 5,8	36,0 ± 20,7	44,16 ± 16,5
COD na L_S ($mg.L^{-1}$)							
DV	45,82 ± 11,2	19,91 ± 10,3	24,21 ± 7,3	32,63 _{AC}	35,93 _{AC}	20,13 ± 6,2	35,52 ± 16,7
AE	53,76 ± 22,2	19,85 ± 8,0	31,65 ± 18,8	39,33 _{AC}	29,68 _{AC}	51,11 ± 28,2	43,32 ± 20,2
BE	53,29 ± 17,8	20,32 ± 7,7	38,37 ± 21,3	40,13 _{AC}	62,04 _{AC}	36,55 ± 9,0	43,55 ± 17,8
FV	27,05 ± 5,1	9,80 ± 3,4	15,53 ± 5,1	19,78 _{AC}	37,98 _{AC}	12,70 ± 2,0	26,23 ± 18,2
MÉD.	44,98 ± 18,0	17,47 ± 8,4	27,44 ± 16,2	32,97 ± 9,4	32,24 ± 5,8	30,12 ± 20,7	37,16 ± 19,4

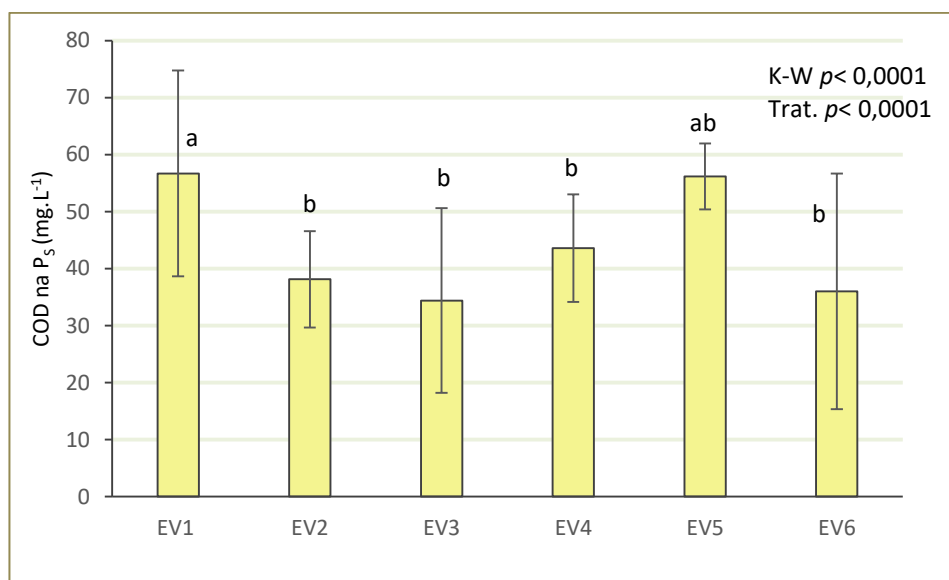


Figura 58: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na precipitação atravessada pela serrapilheira (P_S), em cada evento (EV's), para a escosta estudada. Valor de p para os testes de análise de variância: Kruskal-Wallis (K-W) e tratamentos replicados nos blocos (Trat.). Grupos de dados variâtes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

As concentrações de COD na P_S apresentaram fraca relação com a concentração prévia (P_A). A menor amplitude dos valores (entre os eventos) aparente na P_S , indica que a lixiviação da serrapilheira parece responder menos aos diferentes eventos (condições prevascentes) do que o que ocorre na P_A . Isto pôde ser corroborado pelas regressões sobre as condições prevascentes, que apresentaram, em P_S , correspondências mais fracas do que o observado para a P_A (figura 59).

Assim como na P_A , a baixa correspondência da concentração na P_S em relação ao total precipitado indicou ausência do efeito de diluição. O número de dias de estiagem antecedentes não demonstrou nenhuma relação com a concentração de COD na P_S . Houve redução, em relação ao observado na P_A , do coeficiente de determinação para todos os acumulados antecedentes. Contudo, esta redução foi menor para o acumulado dos 10 (dez) dias, de forma que este passou a ser o intervalo de tempo com maior capacidade preditiva, embora esta seja moderada. Esta relação, inversamente proporcional, indica a redução na concentração de COD quando o acumulado antecedente se apresentou maior, no contexto do efeito da pré-lavagem. A regressão linear múltipla também apresentou baixo coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado = 0,187), indicando que as baixas correspondências individuais supra-assinaladas, não são reflexo da atuação concomitante das variáveis.

Outra variável que perdeu capacidade explicativa foi a intensidade da chuva. Sobre tal fato, e também sobre a ausência do efeito de diluição, acredita-se que a resposta esteja na capacidade do ambiente estudado em fornecer C_{org} lixiviável. Considerando-se que o precipitado, ao percorrer os fluxos de serrapilheira (COELHO NETO, 2007), possa ter contato com uma suficiente superfície de MO, em diferentes estágios de decomposição, em função do vetor horizontal desse fluxo, que se fortalece em encostas íngremes. Sugere-se que tal fato, combinado com uma condição microclimática (temperatura e umidade) favorável à ação fúngica, possa gerar uma fonte substancialmente abundante de solúveis orgânicos, reduzindo os efeitos da pré-lavagem e também da diluição. Møller e colaboradores (1999) confirmaram uma maior lixiviação potencial de COD a partir de folhas em decomposição governada por fungos, como nos ambientes tropicais, em relação à ação de bactérias ou da associação (50 – 50% de biomassa) entre os dois. A intensidade aparentou mais capacidade de gerar algum efeito da diluição, mesmo que fraco, em comparação ao total precipitado.

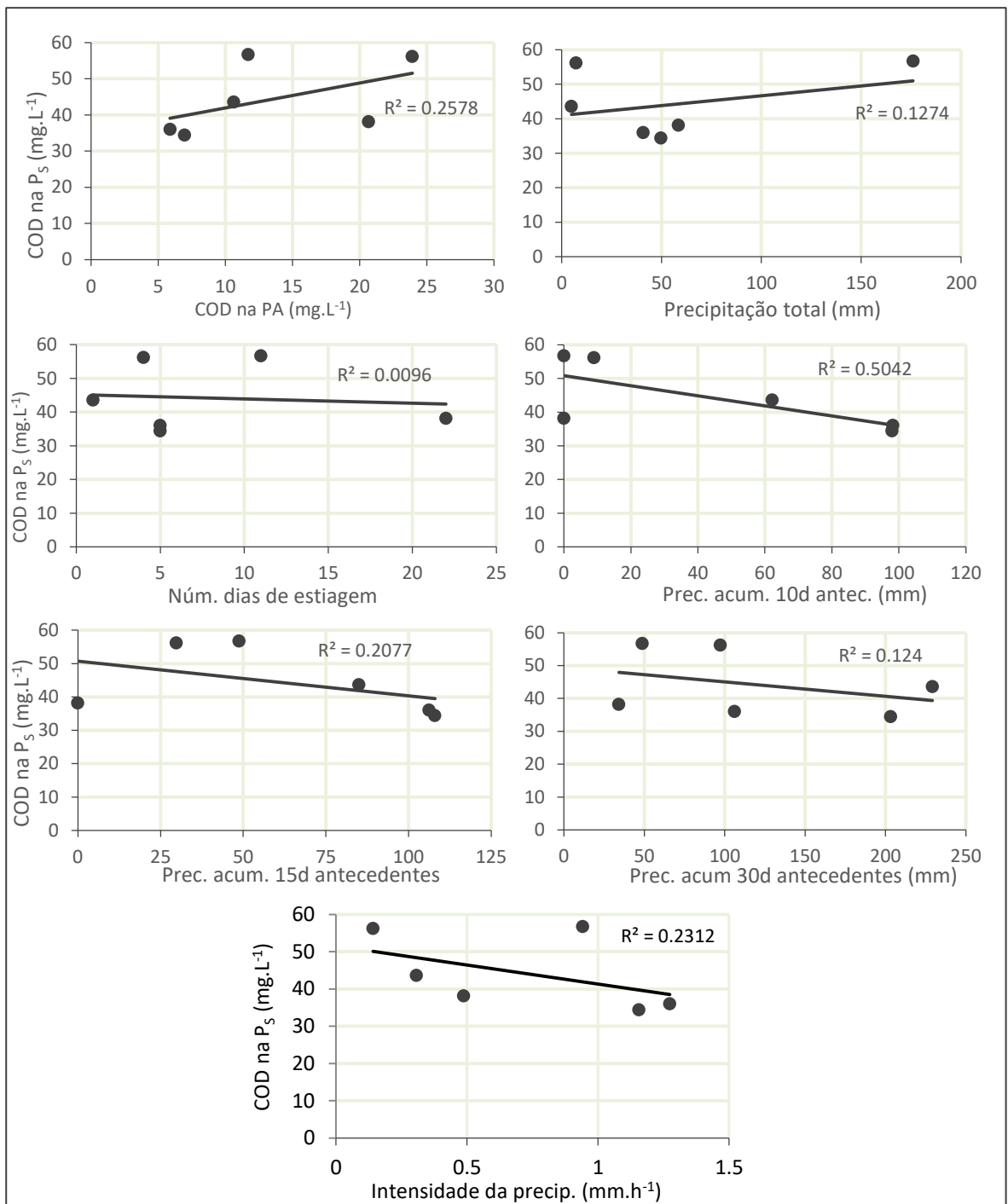


Figura 59: Dispersão dos valores de concentração de COD do Atravessado pela Serrapilheira (P_S) em relação às possíveis variáveis controle: COD na Fluxo de Atravessamento (P_A); volume total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes; e intensidade de precipitação. Retas de tendência e coeficiente de determinação lineares (R²).

Em suma, a disponibilidade contínua de solúveis orgânicos na serrapilheira, tanto pelo aporte constante de nova MO, quanto pela também constante dinâmica de degradação da MO já depositada, pode promover alguma independência da lixiviação do COD na serrapilheira em relação aos efeitos da pré lavagem e da diluição. Isto reduz a importância das condições prevalentes ao evento, e das características deste, sobre as possíveis oscilações em relação à concentração de COD no lixiviado da serrapilheira.

A contribuição da lavagem da serrapilheira (L_S), foi dada pela subtração da concentração prévia (nesse caso P_A) em relação à concentração na P_S . Para L_S , a concentração média no 5º evento não mais se equiparou estatisticamente à média do 1º evento, como o observado para P_S . Assim, o primeiro evento se destacou como o de maior concentração obtida na lavagem da serrapilheira, enquanto os demais eventos não diferiram estatisticamente entre si (figura 60).

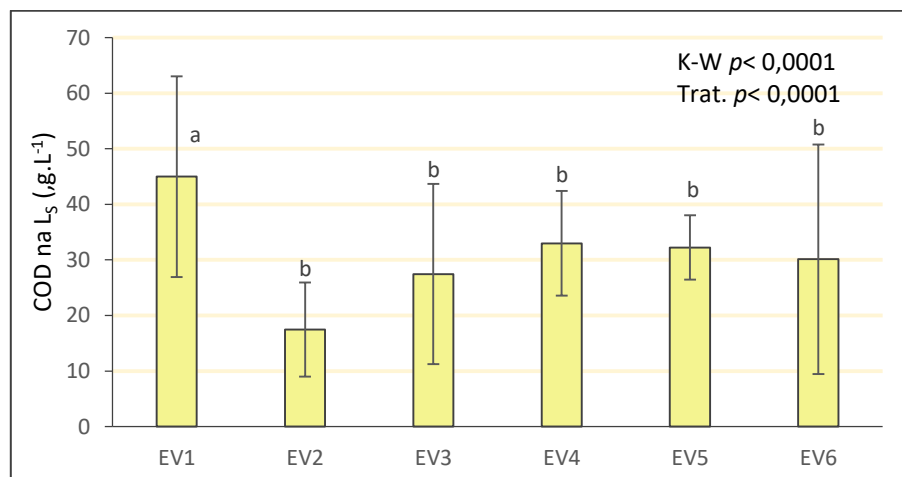


Figura 60: Médias e desvios padrão das concentrações médias de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_S), em cada evento (EV's), para a escosta estudada. Valores de probabilidade de hipótese nula (p) para os testes de análise de variância: Kruskal-Wallis (K-W) e tratamentos replicados nos blocos (Trat.). Grupos de dados variâtes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

A análise da dispersão dos dados de concentração de COD da L_S , frente às mesmas variáveis preditoras utilizadas para P_S , apresentou um comportamento de redução geral das correlações e coeficientes de determinação (figura 61). Não foi possível considerar a capacidade preditiva de nenhuma das variáveis. A correspondência observada entre as concentrações na P_S e a precipitação acumulada nos 10 (dez) dias antecedentes,

não foi observada para L_S . Isto indica que tal correspondência, entre P_S e o acumulado de 10 (dez) dias, é um provável reflexo da influência da precipitação antecedente (15 dias) sobre a concentração na P_A . Tal fato reforça ideia de maior independência da lixiviação do COD da serrapilheira em relação às condições de umidade antecedente, quando comparado ao que ocorre nas copas (L_C).

Mesmo com reduzida capacidade explicativa, a correlação direta encontrada entre as concentrações em L_S e o total precipitado em cada evento, é oposta ao esperado: uma relação inversa pelo efeito da diluição. Isto corrobora a ideia de pouco efeito da diluição para a lixiviação de COD da serrapilheira na área do presente estudo, fortalecendo a hipótese de um fornecimento quase constante de solúveis e redução da capacidade de controle das condições antecedentes de umidade e da característica dos diferentes eventos.

A variação espacial das concentrações de COD do lixiviado da serrapilheira (P_S e L_S) ao longo de um gradiente de encosta foi analisada pela comparação entre os valores obtidos em cada parcela. É possível observar na figura 62 que as parcelas de encosta AE e BE apresentaram as maiores concentrações na P_S em todos os eventos. A única exceção foi no 5º evento, quando AE foi a parcela com menor concentração de COD em P_S . No 4º e 5º eventos, foram coletadas amostras compostas (mistura do volume amostrado nos diferentes coletores) uma vez que a quantidade obtida em cada ponto de coleta eram insuficientes para as análises químicas. Assim, não foi possível realizar a análise de variância sobre estes eventos, tanto na P_S , quanto na L_S , uma vez que não foi contemplada a variabilidade interna das parcelas.

Nos demais eventos (1º, 2º, 3º e 6º), foi possível observar variação estatisticamente significativa entre as parcelas para as concentrações em P_S . O comportamento foi de menores concentrações em FV para todos os eventos analisados. No 4º evento, quando não foi possível realizar a análise de variância, também foi observada menor concentração em FV. A única exceção foi no 5º evento, quando FV apresentou a segunda maior média na concentração de COD no lixiviado da serrapilheira. A tendência de menores concentrações em FV se mantém em relação à contribuição da L_S . Contudo, uma mudança na dinâmica de variações entre as parcelas em cada evento pode ser citada, quando analisada as concentrações em L_S . O 2º e o 3º eventos passaram a não apresentar mais variação estatística entre as parcelas, como apresentaram na P_S .

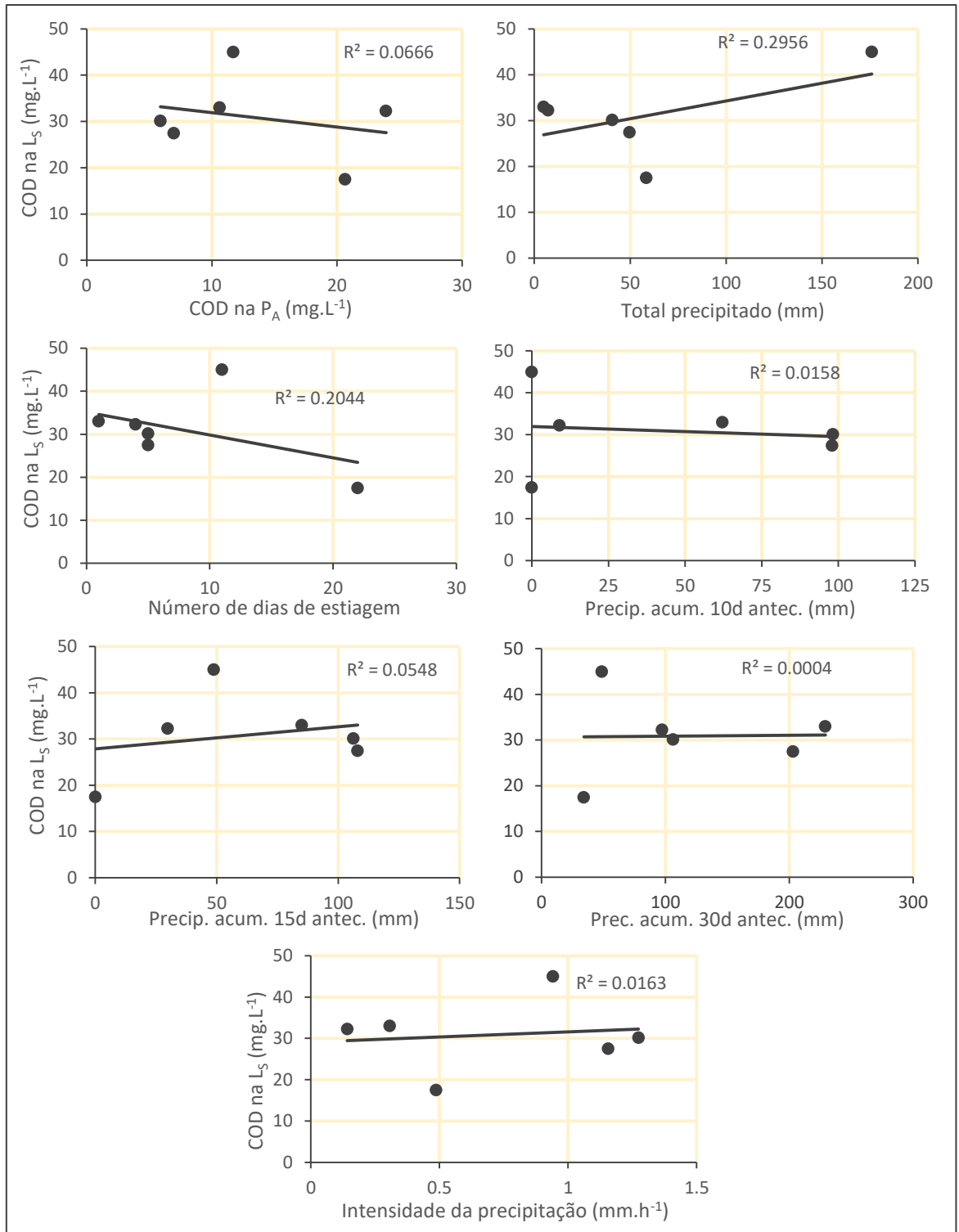


Figura 61: Dispersão dos valores de concentração de COD da Lavagem da Serrapilheira (L_S) em relação às possíveis variáveis controle: COD na Fluxo de Atravessamento (P_A); volume total precipitado em cada evento; número de dias de estiagem antecedente; precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 15 dias antecedentes; precipitação acumulada nos 30 dias antecedentes; e intensidade de precipitação. Retas de tendência e coeficiente de determinação lineares (R²).

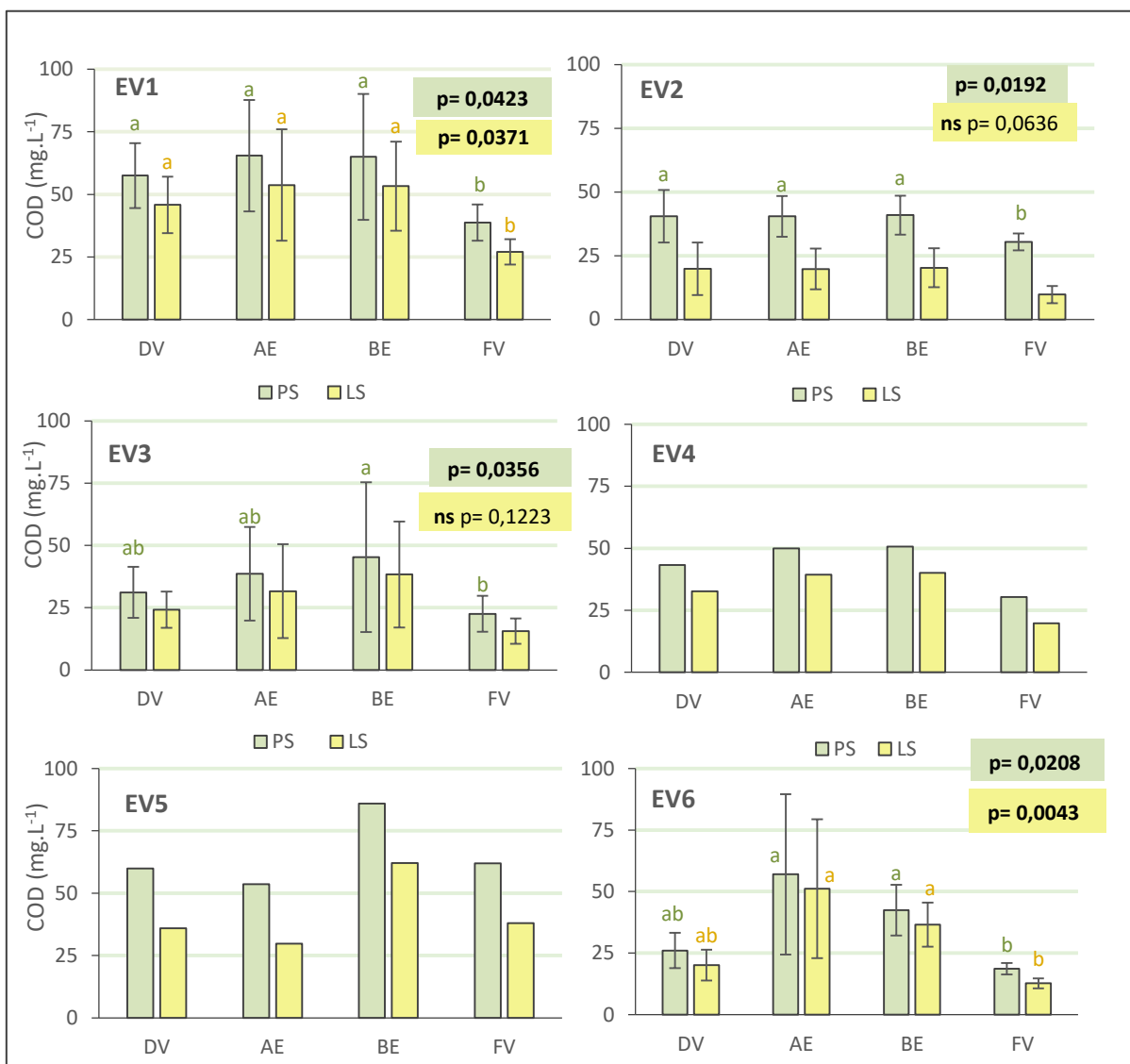


Figura 62: Médias e desvios padrão das concentrações de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S), para cada eventos (EVs), nas diferentes parcelas: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Valores de probabilidade de hipótese nula pelo teste Kruskal-Wallis. Parcelas variantes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

Há, aparentemente, uma redução na contribuição da parcela DV em comparação às demais parcelas, tanto na P_S , quanto na L_S , ao longo da sucessão de eventos. Explicando melhor, FV se manteve, quase sempre, apresentando a menor concentração média, enquanto AE e BE mantiveram as mais altas. DV apresentou concentrações altas - próximas à AE e BE - nos primeiros eventos, mas suas concentrações de COD foram se tornando mais próximas às encontradas em FV nos eventos posteriores.

Analisando-se esta tendência através dos testes de variância, percebe-se que nos dois primeiros eventos DV diferiu de FV, compondo o grupo de maiores concentrações junto à AE e BE. A partir do 3º evento, DV passa a não diferir mais de forma significativa em FV, se apresentando como uma parcela com concentrações intermediárias, não diferindo também das maiores concentrações na AE e na BE. No 6º evento, nota-se que DV apresenta média próxima de FV, ficando no limiar da não variação estatística em relação à AE e BE. Esta possível tendência de redução proporcional das concentrações COD em DV ao longo do estudo pode indicar algum reflexo do efeito da sazonalidade sobre os estoques de serrapilheira. Lembra-se que a parcela DV foi onde se observou o maior efeito da sazonalidade, com redução do estoque médio ocasionada, basicamente, pelo menor acúmulo na camada F.

Alguns autores já destacaram a influência positiva da fragmentação do material para o aumento da concentração no lixiviado, tanto para o COD sob estoques controlados (Hongve, 1999), como para macronutrientes (D'Arrochela, 2013). Em contrapartida, Hongve (op cit.) e Fröberg e colaboradores (2006) ressaltaram o efeito “fresh litter” indicando que materiais fragmentados possam ter sido mais lavados.

A influência de cada componente da serrapilheira, sendo estes as frações foliares (camadas L e F), e os materiais lenhoso e reprodutivo, foi testada em termos de sua capacidade explicativa sobre as concentrações de COD em L_s . Analisou-se a dispersão dos valores de concentração de COD em L_s de cada parcela, em relação aos valores de massa acumulada de cada camada nestas.

Observa-se na figura 63, uma fraca tendência de maiores concentrações de COD no lixiviado de estoques com maior presença de materiais lenhosos e reprodutivos. Hafner e colaboradores (2004) encontraram maiores concentrações de COD em lixiviado de troncos caídos do que na lixiviação da serrapilheira predominantemente foliar. Tal observação corrobora os resultados aqui encontrados para os materiais lenhosos, ressaltando a contribuição positiva dessa fração para a produção de COD na serrapilheira. Estes autores ressaltam que a fração foliar da serrapilheira é a principal controladora desta produção, por conta de sua maior presença (em massa).

A camada L apresentou uma relação inversa forte frente às concentrações de COD, ou seja, quanto mais folhas recém caídas os estoques apresentaram, menor foi a

concentração de COD lixiviado. Este comportamento contrasta com o efeito de folhas frescas já citado (HONGVE, 1999; FRÖBERG et al., 2006). Uma hipótese pouco provável seria a de que as folhas de árvores de Florestas Tropicais apresentam comportamento natural (químico) oposto ao observado em Florestas Boreais, com menor lixiviação enquanto “fresca”. O comportamento de lixiviação de COD, originado de folhas de espécies típicas de Florestas Tropicais, ao longo do tempo (exposição de um mesmo material a sucessivos fluxos de água), parece não ter sido testada ainda, e se apresenta como um caminho promissor para estudos futuros. Entretanto, pode-se explorar a ideia de que a atuação constante da microbiota sobre a serrapilheira compense o efeito de pré-lavagem dos solúveis (lixiviados enquanto folha fresca) ao disponibilizar novos solúveis. Dessa forma, embora diversos autores já tenham citado a rápida ação lixiviadora sobre as frações mais lábeis da MO na serrapilheira fresca (KAISER et al., 2001; AITKENHEAD, 2003; DUAN et al., 2014; SINGH et al., 2014), a capacidade de atuação da microbiota sobre as frações mais recalcitrantes, nos ecossistemas tropicais, liberando subprodutos solúveis, poderia amenizar o efeito “fresh litter” e incrementar a capacidade de lixiviação de COD da MO à medida que esta é retrabalhada.

A relação linear entre a concentração de COD em L_S e a camada F foi muito fraca. Não foi possível corroborar a ideia, nem de relação direta entre estas variáveis, considerando-se a hipótese de maior disponibilidade de material fonte, nem de uma relação inversa, associada a hipótese de incremento da lixiviação em contextos de maiores taxas de mineralização. Resta avaliar a possibilidade da ação concomitante de ambos os efeitos. Seria possível, assim, considerar plausível o incremento da lixiviação de COD com o aumento de acúmulo na camada F, na medida em que a mineralização for rápida o suficiente para a lixiviação ser limitada pela escassez de um estoque fonte, onde boa parte do C_{org} é convertido em CO_2 pela respiração da microbiota. E que esta lixiviação também pode ser limitada pela redução nas taxas de transformação (menor produção de subprodutos mais solúveis) que acarretam em maior acúmulo na camada F. Assim, a hipótese de uma condição “ótima” para a lixiviação de COD pode ser proposta para uma acumulação supostamente intermediária, onde nem o estoque fonte, nem a disponibilização de subprodutos solúveis, seriam limitantes (ou seriam menos limitantes).

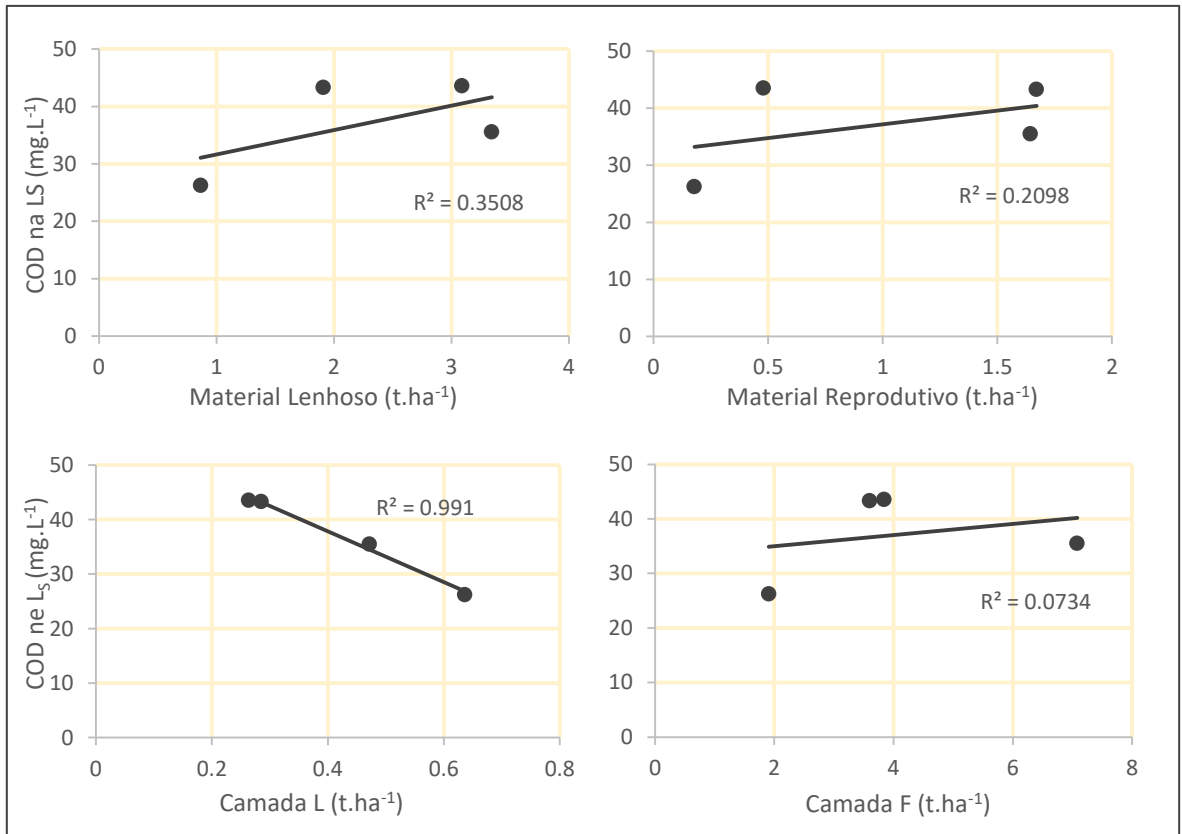


Figura 63: Dispersão dos valores de concentração média de COD na L_S em relação aos diferentes componentes dos estoques de serrapilheira: Material Lenhoso; Material reprodutivo; Folhas Novas (L); e Fragmentos de folhas (F). Tendência linear e coeficiente de determinação (R²).

Ao assumir, em base teórica, a possibilidade de mudança de tendência da relação entre as variáveis em discussão (incremento, condição ótima, e redução), utilizou-se uma equação polinomial de grau dois para a função de regressão (camada F e COD), a qual melhor corresponde a tal comportamento. O coeficiente de determinação que apresentara valor muito baixo para a tendência linear, passou a apresentar valor muito alto para o polinômio de graus dois (figura 64).

Observando-se as concentrações médias das parcelas, considerando todos os eventos (figura 65), fica comprovada a maior produção de COD para os estoques de encosta (AE e BE). Recordar-se que tais estoques apresentaram-se intermediários em relação à massa acumulada, quando comparados com o maior estoque em DV, e o menor em FV. A diferença entre as parcelas é dada, basicamente, pela diferença de acúmulo de material na camada F. Dessa forma, a dispersão dos valores na concentração de COD, em função dos estoques totais de serrapilheira (figura 66), apresentou-se semelhante ao

observado para somente a camada F. O mesmo aumento no coeficiente de determinação, de uma relação linear muito fraca para um ajuste muito forte à curva de um polinômio de graus dois, também ocorreu para a variável estoque total, chegando ao “ajuste perfeito” ($R^2 = 1$).

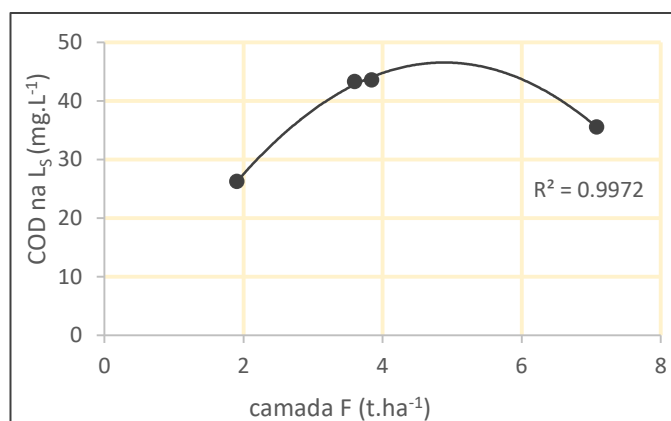


Figura 64: Dispersão dos valores da concentração de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_S) em função do acúmulo de fragmentos de folha (F). Polinômio de grau dois e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

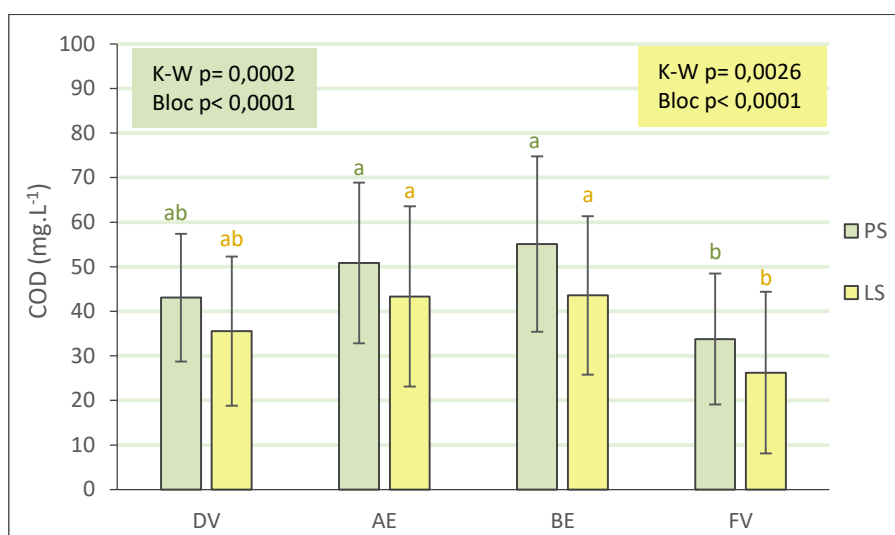


Figura 65: Médias (todos os eventos) e desvios padrão das concentrações de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S), em cada parcela: Divisor (DV); Alta Encosta (AE); Baixa Encosta (BE); e Fundo de Vale (FV). Valores de probabilidade de hipótese nula (p) pelo teste Kruskal-Wallis (K-W) e para o efeito dos Blocos (Bloc). Parcelas variantes pelo teste Dunn *a posteriori* ($p < 0,05$).

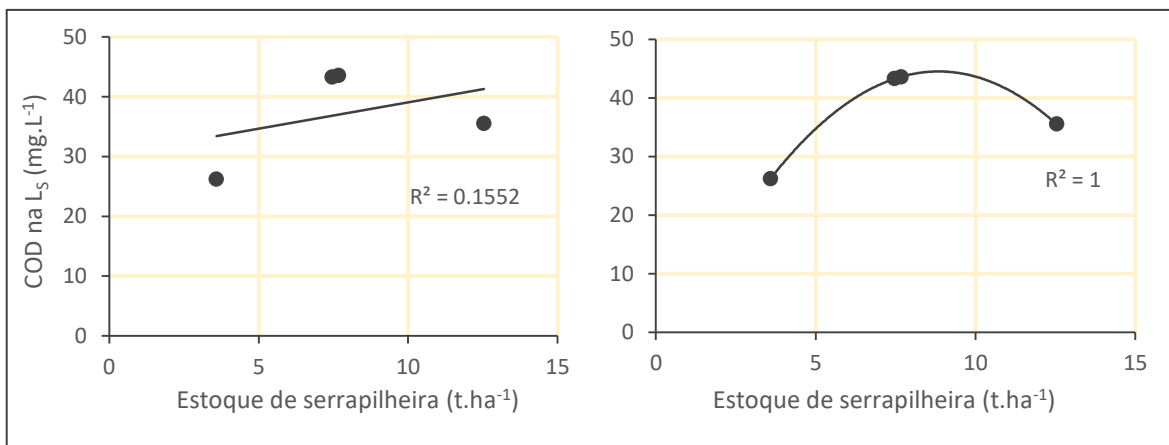


Figura 66: Dispersão dos valores da concentração de COD na Lavagem da Serrapilheira (L_s) em função do estoque total de serrapilheira sobre o solo. Tendências linear (esquerda) e polinomial de grau dois (direita), e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

É importante ressaltar que encontrar uma relação matemática para este comportamento, apontando um possível ponto de inversão de tendência, ou mesmo indicar uma determinada equação preditora, não foi o objetivo da análise. A conformação de uma curva que venha a modelar matematicamente a relação entre o estoque e o COD no lixiviado dependeria de um número muito maior de observações (áreas) do que as aqui realizadas. O baixo número de observações do presente trabalho favorece o forte ajuste encontrado. Os valores próximos obtidos para os estoques de AE e BE, ao se refletirem em valores próximos na concentração de COD no lixiviado, são responsáveis por esse forte ajuste.

O fato de ambos estoques (de AE e BE) apresentarem os maiores valores, apoiado pela argumentação teórica sobre a hipótese da tendência de mudança de comportamento citada, balizam a tese da condição “ótima” para o ambiente de meia encosta, em detrimento aos “extremos” do divisor e do fundo de vale. O presente trabalho apenas inicia esta discussão, sem perder de vista que falamos de variações sutis no gradiente ambiental, compatíveis com uma escala espacial de encosta. Não há a intenção, nem base, para se afirmar que tal tendência poderia se sobrepor às variações oriundas de um universo mais abrangente de condições (micro)ambientais e de qualidade química da MO sobre o solo.

Com o objetivo de avaliar a relação entre taxas de decomposição da serrapilheira e produção de COD neste compartimento, a dispersão dos valores de concentração (P_S e L_S) foi realizada uma regressão linear em função dos coeficientes de decomposição de cada parcela (k – OLSON, 1963). Os resultados encontrados foram de tendências moderadas de redução nas concentrações de COD com o aumento do coeficiente (figura 67). Tal tendência apresentou melhor ajuste à lavagem das copas (L_C) em comparação à concentração no lixiviado (P_S), indicando que maiores a taxa de decomposição reduzem a lixiviação de COD na serrapilheira.

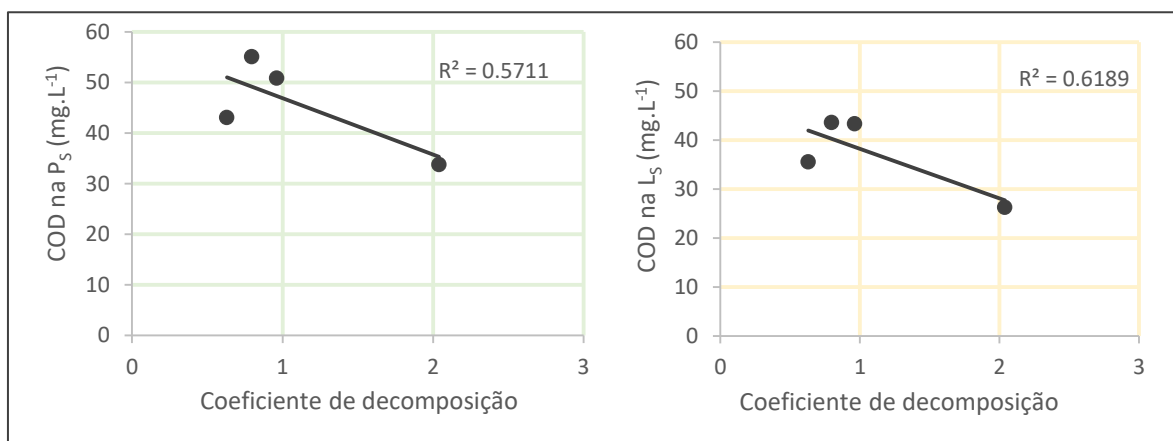


Figura 67: Dispersão dos valores da concentração de COD na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S) e da Lavagem da Serrapilheira (L_S) em função dos coeficientes de decomposição de cada parcela. Tendência linear e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

A parcela FV foi o local onde se observou o menor estoque e o maior coeficiente de decomposição, apresentando concentração de COD significativamente menor em relação às parcelas de maiores concentrações (AE e BE), enquanto DV, com maior estoque e menor taxa de decomposição, apresentou-se com valores de COD estatisticamente intermediários, menores mas não diferentes de AE e BE. Isto já indicara a possibilidade da taxa de decomposição exercer um controle mais forte sobre a lixiviação do COD na serrapilheira em uma relação inversa, atuante pela rápida mineralização e desaparecimento do estoque fonte, do que um controle com relação direta, atuante pela manutenção de acúmulo de estoque fonte. A relação inversa entre a taxa de decomposição (coeficiente K) e a concentração de COD lixiviado da serrapilheira corrobora essa ideia.

A sugestão do presente trabalho é que a lixiviação de COD da serrapilheira, na área estudada, apresenta tendência de redução onde os estoques são menos espessos pela rápida decomposição, ao tempo que a redução da atuação da microbiota sobre a MO também pode impactar negativamente tal lixiviação. Assim, os estoques de encosta se apresentaram como fontes mais eficientes do COD ao solo, quando comparados aos estoques do topo ou do fundo de vale, provavelmente, por um equilíbrio entre o acúmulo e mineralização mais propício à lixiviação de COD. Os maiores estoques do divisor se diferenciaram menos dos estoques de encosta. Os estoques delgados do fundo de vale apresentaram lixiviação de COD significativamente menor.

Embora possa ser prematuro afirmar tal tendência para além de uma possibilidade argumentada, não parece precipitado indicar, ao menos, que a lixiviação do COD da serrapilheira aparenta um maior controle interno, relacionado ao funcionamento do ecossistema, se comparado ao possível controle externo das condições pluviométrica prévias e/ou das características dos eventos. Contudo, ausência de efeito da diluição sobre as concentrações em relação ao total precipitado, pode propiciar algum controle desta variável sobre o total de COD que chega ao solo, com uma provável relação direta. O delineamento de pesquisas munidas do monitoramento do volume precipitado (mm) que atravessa a serrapilheira (aqui não abarcada) é o passo para o teste desta relação, e se apresenta como terreno fértil para trabalhos futuros.

5.2.4 COD na solução do solo (SS)

A concentração média de COD encontrada na solução do solo, para a encosta como um todo (média entre as duas parcelas onde foi possível coletar, DV e FV) e para todos os eventos, foi: 11,24 (\pm 5,99) mg.L⁻¹ em 25cm de profundidade; 27,34 (\pm 12,44) mg.L⁻¹ em 50cm de profundidade; e 24,86 (\pm 8,63) mg.L⁻¹ em 100cm de profundidade. Para posicionar os resultados obtidos na encosta estudada frente a outros trabalhos, considera-se a média geral (todos os eventos e parcelas) da concentração em P_S= 44,16 mg.L⁻¹. Segundo Rosas (1991), a principal descontinuidade que define o horizonte B na encosta estudada encontra-se por volta de 25cm de profundidade. Assim, Todas as coletas de solução do solo podem ser consideradas como originadas do horizonte B, assim como o encontrado na

maioria dos trabalhos sobre o tema, o que facilita comparações. Rosas (op cit.) ainda ressalta a suavidade desta transição A-B, indicando a pouca variação dos teores de argila ($\pm 35,0\%$), e um horizonte B altamente lixiviado, pobre em nutrientes e bases trocáveis.

De forma geral, os valores encontrados na encosta estudada para 50 e 100 cm parecem um pouco acima do que é geralmente reportado para profundidades similares em outros estudos. Cronam e Aiken (1985) encontraram aproximadamente $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em profundidade de 40 cm ($P_S \cong 25,0 \text{ mg.L}^{-1}$). McDowell e Linkens (1988) encontraram $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em 30 cm ($P_S \cong 34,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Fernandez e colaboradores (1995) reportaram $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em 30 cm ($P_S \cong 77,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Tais autores inferiram que a interação MO-argila governou as reduções mais do que outras interações como as com óxidos e hidróxidos contidos no solo. Os solos costumaram apresentar teores de argila superiores a 50% nestes estudos. Tietjen e colaboradores (2005) ressaltaram a maior atuação como adsorvente das argilas 2:1. Rosas (1991) ressaltou o predomínio de argilas 1:1 no solo da encosta estudada, as quais apresentam menor capacidade de adsorção do COD. Dessa forma, é provável que a menor redução de concentração em profundidade no solo no presente estudo observada seja fruto do caráter arenoso do solo, com baixos teores de argila. Marques e colaboradores também encontraram, em solos argilosos na Amazônia, maior redução do que a observada no presente estudo ($\cong 50,0$ e $10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para 10 e 100 cm, respectivamente). Estes autores ressaltaram que a redução na concentração foi diretamente proporcional aos teores de argila, ao comparar diferentes áreas.

Antes de serem realizadas afirmações sobre algum comportamento de aumento de concentração em profundidade no presente estudo, faz necessário destacar que tais médias são compostas por um número diferentes de amostras, e que não foram originadas nos mesmos eventos necessariamente, o que altera a concentração de chegada ao horizonte mineral (P_S). As coletas da solução do solo em 25 cm de profundidade (SS_{25}) só ocorreram em FV, e em duas oportunidades ($n=2$), 4° e 6° eventos. Nas demais parcelas não houve sucesso na coleta nesta profundidade em nenhum evento. Em 50 cm de profundidade (SS_{50}), a média geral ($n=7$) é composta por 04 (quatro) amostras em DV (1°, 3°, 4° e 6° eventos) e 03 (três) amostras em FV (2°, 3° e 4° eventos). Em 100cm de profundidade (SS_{100} , $n=6$) foram coletadas 03 (três) amostras (3°, 4° e 6° eventos), tanto em DV, quanto em FV. Dessa forma, a análise do comportamento da concentração de COD no solo exige uma avaliação evento a evento, levando-se em conta as concentrações anteriores (na P_S ou

profundidades menores). O 5º evento foi o único onde não houve a coleta de nenhuma amostra.

A figura 68 apresenta as concentrações do COD na P_s e nas diferentes profundidades do solo, para cada evento, em DV e FV. É possível notar diferenças de comportamento entre DV e FV, o que inclui dinâmicas singulares entre os eventos para cada parcela. De forma parecida ao observado por Fröberg e colaboradores (2006), há no solo uma menor variação na concentração de COD entre eventos, em relação ao que ocorre na serrapilheira. Estes autores encontraram pouca variação na concentração de COD em cerca de 20 cm de profundidade, mesmo com a duplicação do estoque de serrapilheira (em relação a um estoque controle), que apresentou forte variação no lixiviado (controle vs duplicado). Tal resultado seria fruto de forte controle interno, originado pelas dinâmicas de dessorção, mineralização e adsorção de nova MO. No presente estudo, a concentração média entre os eventos de 38.0 mg.L^{-1} para a profundidade de 50 cm em DV, apresenta desvio padrão relativamente baixo ($\pm 5,69$) em comparação ao observado na P_s ($39,7 \pm 10,87 \text{ mg.L}^{-1}$). Tal fato se ancora, em parte, na tendência de aumento na concentração no topo do solo nos eventos de menor concentração na P_s .

Em DV, foi possível notar no 3º e no 6º eventos, comportamento de incremento de concentração ao invés do comportamento de sorção esperado, em relação ao COD nos primeiros 50cm. Alguns trabalhos em florestas boreais apontaram resultado similar (Bockheim e Langley-Turnbaugh, 1997; Hongve, 1999). Estes autores ressaltaram a grande quantidade de MO incorporada ao solo em seus respectivos sítios amostrais.

Embora o aumento encontrado em DV tenha ocorrido nos dois eventos de menor concentração em P_s , é difícil estabelecer uma relação teórica entre concentração em P_s e comportamento da concentração no solo. É mais provável que este fenômeno ocorra por influência das maiores intensidades de precipitação destes eventos, as maiores entre todos os eventos, assim como pelos maiores totais precipitados. No percolar da água pelo solo, há uma “competição” entre as interações físicoquímicas MO-água e MO-solo (fase móvel vs fase estacionária), de forma que o incremento na intensidade da precipitação (ou do total precipitado) favorece a fase móvel, através da capacidade de eluição da água. Uma maior quantidade de água pode mobilizar (por dessorção) mais MO para perfis mais profundos do solo, ocupando, a água, temporariamente os sítios de adsorção antes ocupados pela MO.

Ganter (2007), assim como Chaplot e Robolzi (2014), foram alguns dos autores que reportaram incremento na dessorção de MO dos solos em condição de saturação hídrica.

A contribuição dos exsudatos das raízes seria uma outra possibilidade de explicação para este aumento, uma vez que a parcela DV é marcada pela presença de uma malha intensa de raízes finas, a qual chega a apresentar-se acima do horizonte mineral, o que só foi observado em DV. Todavia, sem negar a influência dos exsudatos radiculares para a dinâmica de COD na encosta, não há base para esperar-se uma influência mais intensas em determinados eventos apenas. A explicação pelo total precipitado e/ou intensidade do evento parece mais pertinente para explicar a variação no comportamento entre os eventos.

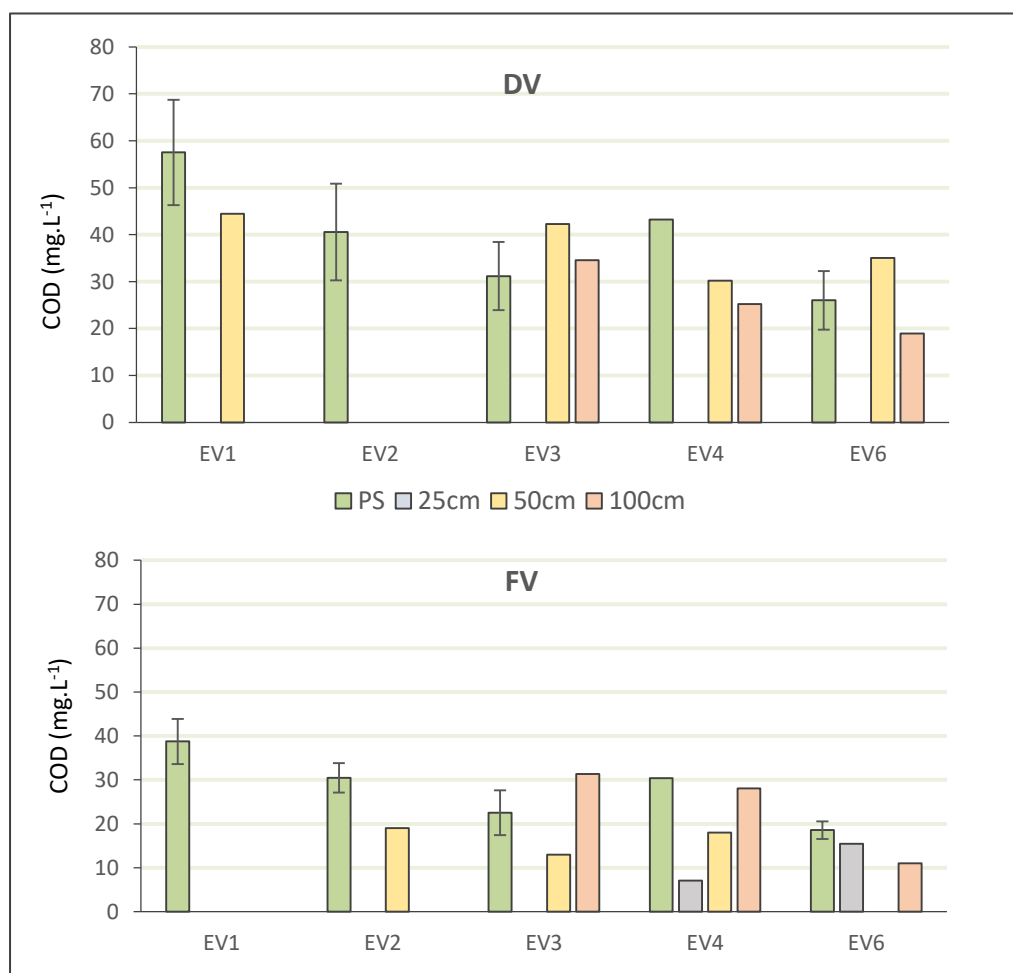


Figura 68: Concentração de COD em diferentes profundidades (25, 50 e 100 cm) e na Precipitação Atravessada pela Serrapilheira (P_S), para cada evento, no Divisor (DV) e o Fundo de Vale (FV).

No geral, as concentrações aos 50cm de profundidade em DV apresentaram associação moderada e diretamente proporcional em relação aos totais precipitados (figura 69). É provável que isto ocorra pelo processo supracitado sobre a capacidade de eluição da água. Mais água significa mais dessorção e maior mobilidade de MO no perfil do solo. Já foi citado que os eventos de maior intensidade foram os mesmo que apresentaram comportamento de aumento da concentração no solo (50cm) em relação ao encontrado na P_s . Tal fato indicaria que quanto maior a intensidade, menor a adsorção da MO ao solo, podendo chegar a inversão de tendência, com mobilização de MO pela fase móvel. Contudo, é necessário frisar o melhor ajuste da concentração na SS_{50} ao total precipitado.

Este comportamento de aumento da concentração em SS_{50} , em comparação ao encontrado na P_s , não ocorreu em nenhum dos eventos, na parcela FV. É provável que tal fenômeno (mobilização pela capacidade de eluição da água) ocorra com mais intensidade em solos com mais MO incorporada. Miranda (2013), avaliou os conteúdos de C_{org} incorporados ao solo na mesma encosta, observando tendência de maiores valores no sentido encosta acima, tanto no conteúdo total do solo, quanto na sua presença nos agregados maiores (4 – 2 mm). O citado estudo não constatou diferença significativa de agregação entre o divisor e o fundo de vale, mas o conteúdo total de C_{org} foi cerca de 50% maior neste primeiro do que o observado no segundo.

É provável que a maior eficiência na mineralização no fundo de vale incorpore menor conteúdo de C_{org} ao solo, reduzindo a influência da dessorção de MO pela água, e por conseguinte, reduzindo também a capacidade de controle do total precipitado sobre as concentrações na SS_{50} nesta parcela. Aparentemente, esse processo pode ter influência em FV em menores profundidades. Foi possível coletar em 25 cm de profundidade (SS_{25}) em apenas duas ocasiões (4° e 6° eventos), as quais variaram significativamente em relação ao total precipitando e intensidade de precipitação, sendo ambos maiores no 6° evento. É possível observar que a concentração de COD em SS_{25} é bem mais próxima à concentração em P_s neste mesmo evento, quando comparado ao 4°.

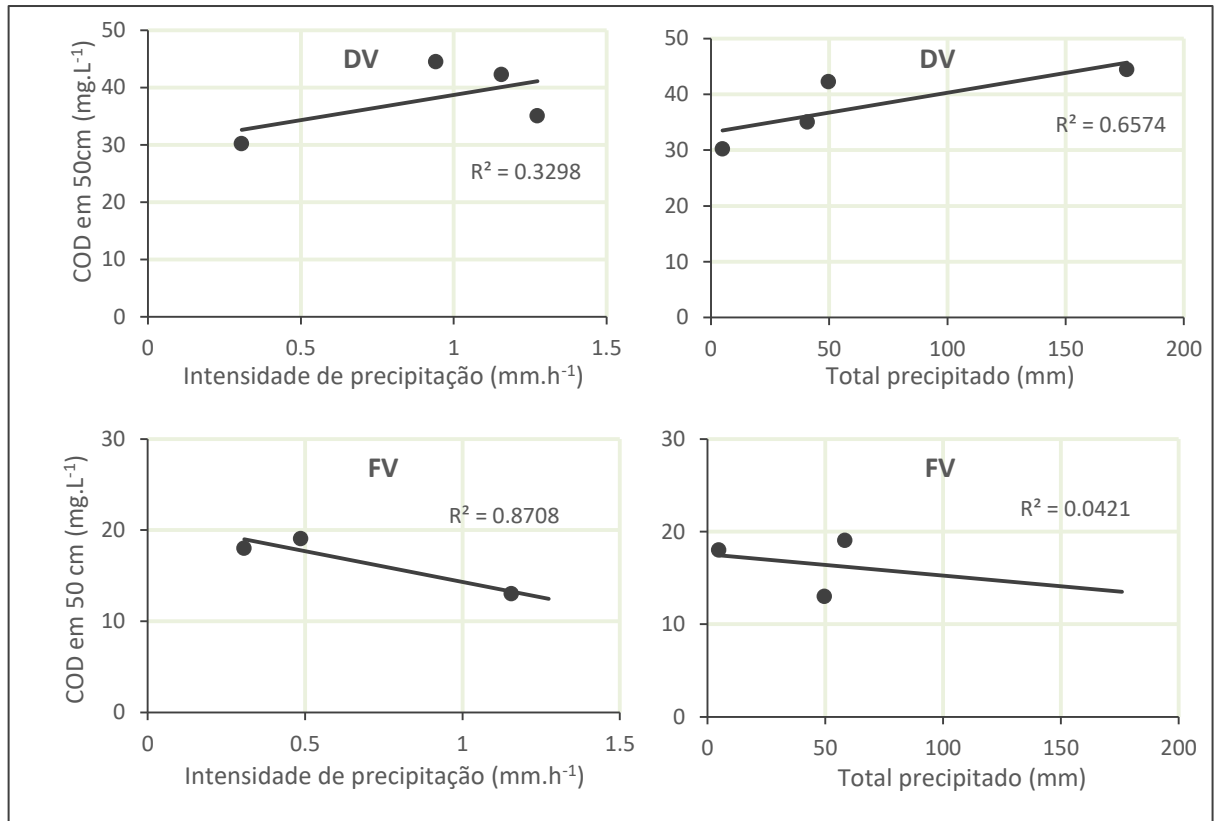


Figura 69: Dispersão dos valores de concentração de COD em 50cm de profundidade em relação à intensidade da precipitação e ao total precipitado, no Divisor (DV) e Fundo de Vale (FV). Tendências lineares e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

A intensidade da precipitação apresentou, em FV, forte relação inversa com a concentração na SS_{50} , corroborando a ideia de ausência do efeito da eluição da água nesta parcela. Entretanto, é difícil explicar esta relação. Uma opção de explicação seria a possível ascensão do lençol freático nos eventos de maior intensidade, que tende a apresentar concentrações de COD mais baixas, próximas às encontradas no canal (KAISER et al. 1996). Contudo, seria de se esperar, neste caso, também a redução de concentração em SS_{100} de forma similar, o que não foi observado.

Em DV, a SS_{100} apresentou sempre valores menores do que o encontrado na SS_{50} nos respectivos eventos, indicando a tendência de adsorção da MO às partículas do solo, entre estas profundidades. Ao contrário, em FV, foi observado o comportamento de aumento da concentração na SS_{100} em comparação ao encontrado na SS_{50} , nos dois eventos (3° e 4°) quando se conseguiu coletar nas duas profundidades. Assumindo-se a hipótese de

que este possa ser um comportamento comum em FV, quatro possíveis explicações podem ser abordadas.

Zhou e colaboradores (2016), encontraram aumento na concentração de COD na zona de influência das raízes. Estes autores destacaram a solubilidade de boa parte dos exsudatos destas raízes, de forma a explicar este aumento. A associação simbiótica entre as raízes finas e microorganismos, conhecida como micorrizas, típica das florestas tropicais, ocorre, basicamente, pela liberação de exsudatos pela rizosfera, como parte do provimento de condição propícia ao desenvolvimento fúngico. Os principais compostos exsudatos são carboidratos, ácidos orgânicos e aminoácidos, sendo estes importantes fontes de carbono para os microorganismos (SILVA, 2011; MONTEIRO et al., 2012). Considera-se que a atuação das micorrizas dificilmente alcançaria profundidade maior que 40 cm. Inclusive, os exsudatos devem contribuir mais em superfície e mais intensamente na parcela DV, que apresentou densa malha de raízes finas, sendo pouco provável como explicação a um comportamento diferente em FV.

Outra possível explicação seria a descontinuidade na macroporosidade. A percolação da água pelos macroporos costuma apresentar maiores concentrações de COD do que no conteúdo nos microporos. Assim, a redução da macroporosidade em subsuperfície altera o equilíbrio de forças entre água e solo, favorecendo o solo (fase estacionária) e gerando acúmulo de MO em profundidade. Castro Jr. (1991) avaliou um perfil de profundidades na parte mais alta da encosta estudada (mais próxima à DV), encontrando significativa redução da macroporosidade em cerca de 40 cm de profundidade. Não se nega o provável efeito desta redução na dinâmica de COD no solo da encosta estudada, mas parece pouco provável que este seja o fator a explicar o aumento em SS_{100} em relação SS_{50} , tanto pela profundidade já abaixo desta descontinuidade, como pelo fato desta dinâmica de aumento ser singular à FV. Todavia, uma ação coluvial mais intensa sobre a formação do solo em FV, poderia “aprofundar” mais esta zona de descontinuidade. Tal hipótese só poderia ser testada com a análise do perfil do solo em relação à porosidade no fundo de vale, correlata à análise das concentrações de COD.

Uma terceira possível explicação parece se apresentar como a mais provável, e orbita a dinâmica coluvial na encosta estudada. São comuns, não só na encosta laboratório, mas no Maciço da Tijuca como um todo, movimentos de massa em ocasiões tempestuosas.

Rosas (1991) destaca a forte dinâmica de formação de colúvio na conformação dos solos na parte mais alta da ensosta, encontrando acúmulos de matéria orgânica soterrados em cerca de 70 cm de profundidade (paleo-horizonte A). Estando a parcela FV localizada no fundo de vale, no sopé de uma encosta íngreme, é presumível que esta parcela possa ter recebido, em um ou alguns momentos, aporte de material de origem montante, soterrando o antigo horizonte A e também a biomassa outrora viva, gerando algum acúmulo de MO em subsuperfície. Embora não tenha sido realizada a análise dos horizontes minerais em termos de seu conteúdo de MO, o processo de instalação dos lisímetros evidenciou a presença de solo com coloração mais escura, típica de maior presença de MO, em cerca de 70 cm de profundidade em FV (figura 70).

Ainda é possível abordar uma quarta possível explicação, associada às vias de fluxos subsuperficiais de encosta, mais diretamente aos fluxos subsuperficiais rasos. Em condições de precipitação mais intensa, a água percolaria, preferencialmente, a camada de maior condutividade hidráulica ($\cong 40,0$ cm de profundidade) na medida que este sub-horizonte sature, em seu percurso ao fundo de vale, em encostas íngremes. A maior contribuição desta via poderia ocasionar uma menor adsorção de MO ao solo uma vez que este horizonte possui mais MO incorporada (favorecimento da fase móvel). Contudo, o 4º evento apresentou baixa intensidade na precipitação, aparentando não ser suficiente para favorecer este fluxo, ao tempo que reproduziu o citado aumento de concentração em profundidade. Embora com apenas três amostras para a avaliação, é possível observar que a concentração de COD em SS_{100} parece não responder de forma significativa à intensidade do evento.

Assim, acredita-se que a ação gravitacional seja responsável pelo soterramento de MO pela dinâmica de movimentos de massa, e que este acúmulo seja o responsável pelo aumento da concentração de COD na SS_{100} em comparação ao encontrado na SS_{50} , em FV. Destaca-se a possibilidade de uma atuação mais local deste acúmulo em subsuperfície, uma vez que acúmulo semelhante foi reportado por Rosas (1991) em área bem próxima à parcela DV (menos de 100 m de distância), a qual não apresentou este aumento na concentração em SS_{100} . Assim, talvez este aumento seja espacialmente limitado, o que só poderia ser comprovado com a reprodução desta coleta em diferentes pontos nesta parcela.



Figura 70: Solo de coloração mais escura encontrado em cerca de 70 cm de profundidade durante o procedimento de instalação do lisímetro de sucção, em FV.

A concentração de COD no solo parece decair mais nos primeiros 50 cm de solo em FV, em comparação à DV. Esta segunda parcela é marcada pela maior presença de MO incorporada (MIRANDA, 2013). Kaiser e colaboradores (1998) ressaltam que o conteúdo de MO incorporada ao solo é um dos principais fatores (junto ao teor de argila) influentes no potencial de sorção do COD às partículas minerais. Quanto mais MO incorporada, menos sítios de adsorção estão disponíveis e, assim, menor a tendência de sorção.

Em termos gerais, FV apresenta um decaimento mais acentuado das concentrações de COD nos primeiros 50 cm de solo, e um considerável aumento em 100 cm de profundidade. O decaimento mais rápido deve ser originado pela mais eficiente mineralização típica do ambiente, ocasionando menor incorporação de MO ao solo e, assim, apresentando mais sítios de adsorção disponíveis. O aumento em profundidade foi associado ao provável acúmulo de MO em subsuperfície, fruto da formação coluvial pela atuação dos movimentos de massa. DV apresentou aumento na concentração de COD nos

primeiros 50 cm do solo em alguns eventos. As concentrações em SS_{50} nesta parcela foram associadas aos totais precipitados em uma relação direta. Esta associação ocorre pela força de eluição da água, de forma que uma maior quantidade de água incrementar a desorção de MO do solo.

5.2.5 Concentração de COD no canal de drenagem

A concentração de COD média encontrada no canal de drenagem (Rio do Archer) foi de $1,89 (\pm 0,47) \text{ mg.L}^{-1}$. É importante ressaltar que todas as coletas ocorreram em condição de fluxo de base no referido canal, uma vez que as amostras foram coletadas sempre com mais de 30h após o término da chuva. Antes das coletas, era possível consultar a altura do nível d'água através do site sistema de Alerta de Cheias, estação Capela Mayrink (<http://alertadecheias.inea.rj.gov.br/alertadecheias/BE70E16620.html>), do Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ). A citada estação situa-se no Rio Tijuca, para o qual conflui o Rio do Archer. A altura da coluna d'água costuma permanecer entre 38 e 40 cm no ponto de medição em condição de fluxo de base, condição essa prevalescente em todos os momentos de coleta.

Hilton e colaboradores (1998) compararam as concentrações de COD na água em canais de drenagem em condições de fluxo de tempestade (stormflow) e fluxo de base (baseflow), em 07 (sete) pontos distribuídos em duas sub-bacias adjacentes, com cobertura florestal em Ontario, Canadá. Os resultados obtidos por esses autores indicaram o aumento da concentração de COD em condição de fluxo de tempestade, fato associado por eles à contribuição de fluxos superficiais na área de captação. As concentrações de COD acompanharam as curvas de vazão. Similaridade entre as modulações da vazão e da concentração de COD no canal também foi observada em bacia de cobertura florestal e uso agrícola, na Espanha (FIGUEIREDO et al., 2014). No estudo de Hilton e colaboradores (op cit.), os resultados reportados para condição de fluxo de base se concentraram entre 4,0 e $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Tais concentrações parecem superiores às encontradas no presente trabalho, com destaque para o fato das concentrações obtidas no fluxo de serrapilheira serem consideravelmente menores nesta Floresta Temperada ($\cong 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Isto demonstra a

capacidade do solo da Floresta da Tijuca de reter (e mineralizar) o C_{org} originado pela elevada produtividade do ambiente.

A análise das concentrações de COD na solução do solo não indicou de forma direta uma grande redução das concentrações de COD até 100 cm de profundidade, visto que as concentrações encontradas nesta profundidade ($\cong 20,0 \text{ mg.L}^{-1}$) são maiores do que as geralmente reportadas em outros ambientes onde os valores iniciais (lavagem da serrapilheira) eram similares. Contudo, a baixa concentração média no canal indica eficiência nesta redução. Acredita-se que a eficiente mineralização da MO no solo disponibilize os sítios de adsorção com relativa rapidez, conformando uma zona de maior presença de MO relativamente delgada (Rosas, 1991). Assim, a mineralização parece controlar mais as concentrações no canal do que os teores de argila do solo, para o ambiente estudado. A fraca contribuição proporcional de escoamento superficial na bacia do Rio Archer (Coelho Netto, 1987; Rosas, 1991) é outro fator que explica as baixas concentrações de COD encontradas no canal.

Redução de concentração – entre topo do solo e canal – similar à do presente trabalho foi reportada por McDowell e colaboradores (1984), cerca de $33,0 \text{ mg.L}^{-1}$ no topo do solo (horizonte A2) e $2,0$ no canal de drenagem. Os autores ressaltaram a atuação do horizonte B do solo para a redução acentuada da concentração, encontrando entre $2,0$ e $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ neste horizonte. A atuação do horizonte B na adsorção de MO é a responsável pela pouca variação em termos temporais do COD em profundidade no solo (horizonte B) e no canal de drenagem.

Não houve variação significativa na concentração de COD no canal entre os diferentes eventos (figura 71). Isto reforça a ideia de consistente atuação do solo, principalmente de seu horizonte B, no controle do COD que chega ao canal de drenagem. Cabe destacar que os eventos que apresentaram concentrações médias de COD um pouco maiores (sem relevância estatística) foram os mesmos que apresentaram maior concentração na chuva inicial: 2º e 5º. Tal fato pode demonstrar a influência de fatores extrínsecos ao ecossistema para as variações de COD no canal de drenagem, que por sua vez, tenderiam a ser suavizadas pela dinâmica intrínseca, a qual envolve o enriquecimento da concentração na lavagem das biomassas viva e morta, e, principalmente, a sorção e mineralização no solo.

As variações sazonais em Florestas Temperadas ocorrem pela entrada massiva de MO no solo pela caducifolia, e como reflexo da ocorrência de eventos tempestuosos nas estações chuvosas. O efeito positivo da maior intensidade de precipitação sobre as concentrações de COD no canal tende a se ampliar na medida que a bacia apresente outros tipos de cobertura, como o uso agrícola por exemplo CHAPLOT e RIBOLZI, 2014; FIGUEREIDO et al. 2014). Este efeito está associado ao aumento da contribuição de fluxos superficiais na dinâmica de drenagem. No presente estudo, não foi observada uma variação sazonal no aporte de detritos que justificasse a espera de um comportamento resposta no COD do canal. Acredita-se que a concentração de COD ao longo do ano não apresente grandes variações em condição de fluxo de base. Todavia, é provável um aumento em condição de fluxo de tempestade, correlato ao aumento da descarga (HILTON et al., 1998; FIGUEREIDO et al. 2014). Cleverário Jr (1988) analisou o conteúdo de macronutrientes no canal de drenagem em relação às variações na hidrógrafa em um evento de precipitação na Floresta da Tijuca, encontrando similaridades entre ambos. Este autor indicou a chegada inicial de água edáfica, onde a composição química no canal se aproximou à contida na solução do solo.

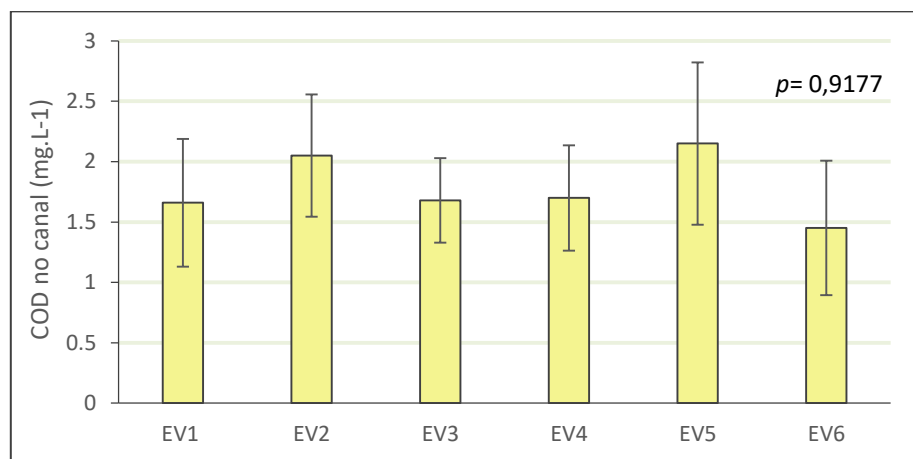


Figura 71: Média e desvios padrão da concentração de COD no canal de drenagem (Rio Archer) em cada evento. Probabilidade de hipótese nula pelo teste Kruskal-Wallis.

Com o objetivo de verificar se há alguma relação entre o contexto de umidade prevalente (estiagem antecedente e característica dos eventos) e a concentração de COD apresentado no canal após seu retorno ao fluxo de base (pós-eventos), foi avaliada a dependência entre tais variáveis (controles e resposta, respectivamente). O resultado foi

similar ao encontrado na P_A , com pouca influência do total precipitado e uma relação inversa com a intensidade (figura 72). Isto pode indicar que o incremento em intensidade é mais atuante em gerar algum efeito de diluição do que o o volume total precipitado. Tendo em vista que este efeito foi mais pronunciado na precipitação atravessada, estando praticamente ausente no lixiviado da serrapilheira, é provável que esta tendência esteja associada à precipitação que inside diretamente sobre o canal de drenagem, ou ao possível maior transporte de MO para horizontes mais profundos do solo.

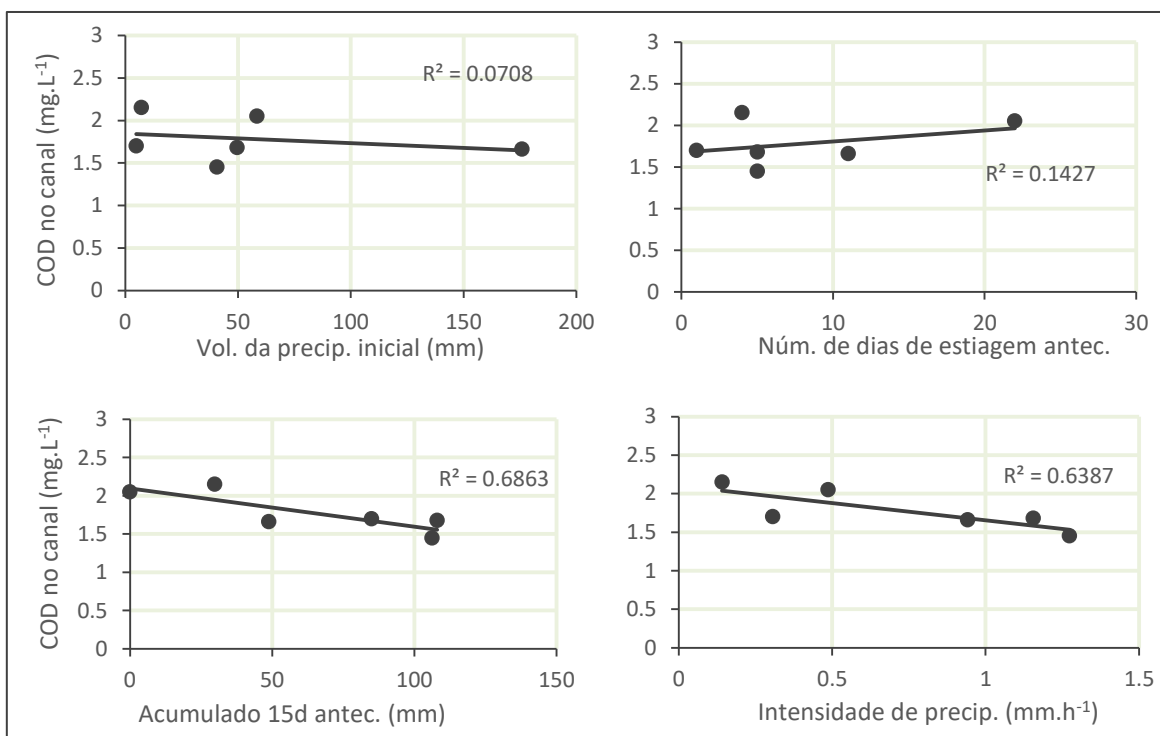


Figura 72: Dispersão dos valores de concentração de COD no Rio do Archer (fluxo de base) em relação ao volume de precipitação acumulado nos 15 (quinze) dias antecedêntes e intensidade de precipitação dos eventos. Tendência linear e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Discutindo estas hipóteses, é difícil propôr que o efeito da diluição em relação à lavagem das copas exerça forte efeito, e por tempo prolongado após o término do evento. Considerando a ausência de diluição no lixiviado da serrapilheira e no solo, estes compartimentos atuariam no sentido de um “amortecimento” do efeito da diluição encontrada na precipitação atravessada sobre ambiente terrestre. Por outro lado, ao assumir a possibilidade do aumento da intensidade dos eventos fortalecer o transporte de

MO para perfis mais profundos do solo, após eventos mais intensos a MO estaria “melhor estabilizada”, em condição de maior dificuldade de dessorção ao fim do evento (favorecimento da fase estacionária), de forma que, na medida que os fluxos de subsuperfície forem retornando à condição normal (de base), a capacidade de eluição da água teria uma maior resistência das forças de sorção ao solo.

Outro resultado encontrado foi a influência do acumulado de 15 (quinze) dias de antecedência, em uma relação inversa. Demonstrando a complexidade das interrelações do COD com o a biota e o solo, este resultado também aponta a influência do processo de lavagem das copas para a concentração no canal, gerando uma discussão similar a dos resultado quanto à intensidade de precipitação. Seguindo a mesma linha de raciocínio, evitando considerar o comportamento observado na P_A como se refletindo no canal, seria a precipitação antecedente também relevante para o aumento da “estabilidade” espacial da MO no solo? Considerando a ideia de nova MO chegando ao solo de forma quase constante em superfície, e que a MO é transportada para perfis mais profundos do solo pela infiltração da água, é plausível considerar que o contexto antecedente de precipitação influencie o “locus” de adsorção no perfil do solo. Sendo a MO transportada para perfis mais profundos, onde a macroporosidade diminui e a densidade do solo aumenta favorecendo a fase estacionária, os eventos logo posteriores encontrariam maior dificuldade em dessorver a MO do solo. Por hora, estas são hipóteses que necessitam ser melhor investigadas.

É importante ressaltar que não houve diferença significativa entre os eventos, o que diminui a relevância destas análises de dependência. As variações encontradas no canal são muito sutis, com pouca ou nenhuma relevância ecológica. Contudo, uma primeira análise pode ajudar a desenvolver hipóteses no caso de ser observado, no futuro, algum comportamento anômalo. O estudo das variações temporais na concentração de COD no canal, para pesquisas futuras, deve estar munido de coletas de um número de maior de eventos. Outro viés interessante é avaliar o COD em fluxos de tempestade, coletando amostras temporalmente distribuídas durante os eventos.

Em suma, o ambiente estudado apresenta pouca contribuição de fluxos superficiais na drenagem da água da chuva, com amplo predomínio da infiltração. A tendência a uma mineralização eficiente da MO diminui seu tempo de residência no solo, o

que favorece a disponibilidade de sítios de adsorção. Assim, mesmo apresentando baixos teores de argila, o solo apresentou boa capacidade de reter o COD que infiltra. O predomínio da infiltração associado à atuação eficiente do solo na retenção de COD, se refletem em concentrações no canal que se apresentam menores do que as encontradas na precipitação inicial (figura 73). Reforça-se assim, a importância do solo como compartimento de filtragem da água, capaz de garantir baixas concentrações de MO de origem terrestre nos corpos hídricos, favorecendo, tanto a estabilidade de ecossistemas aquáticos, quanto a qualidade da água para o uso humano.

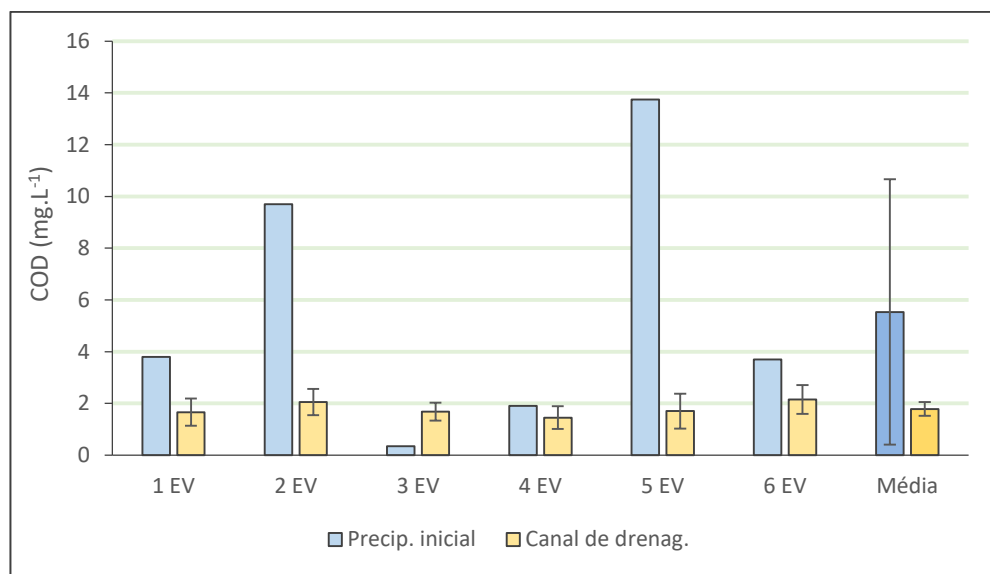


Figura 73: Concentração de COD na precipitação inicial e o canal de drenagem (médias e desvios padrão) em cada evento e da média entre estes.

6 CONCLUSÕES

A encosta estudada se apresenta como um ambiente típico de Mata Atlântica secundária de sucessão tardia, com dois estratos arbóreos bem definidos e árvores emergentes que se erguem a mais de 20 metros de altura. O gradiente ambiental de encosta parece afetar de forma suave a estrutura da vegetação, ocasionando maior densidade de indivíduos no divisor (DV), a qual reduz gradualmente em direção ao fundo de vale (FV). No divisor também se observou um maior número de árvores mortas e de palmeiras. Acredita-se que tal quadro esteja associado às condições microambientais típicas dos divisores de drenagem, como maior insolação e menor tempo de permanência de umidade. Contudo, não foram reconhecidas maiores diferenças entre a estrutura da vegetação das parcelas.

Neste contexto, o aporte de serrapilheira não variou significativamente entre as parcelas. Temporalmente, houve uma leve tendência de aumento de aporte de tecidos foliares no segundo semestre do ano 2016, em relação ao primeiro semestre deste mesmo ano, principalmente, nas parcelas mais altas (DV e AE). Tal comportamento foi oposto ao encontrado para os tecidos reprodutivos, que foram depositados de forma mais intensa no primeiro semestre. O mês de agosto (2016) foi marcado pelo maior aporte de tecidos lenhosos, o que foi associado à possível ocorrência de alguma ventania mais forte neste mês, uma vez que este comportamento foi comum às quatro parcelas. Este maior aporte de material lenhoso foi responsável pelo fato do mês de agosto se apresentar como o de maior deposição de detritos. A deposição se mantém elevada no segundo semestre por conta do maior aporte de folhas citado.

O gradiente ambiental ao longo da encosta parece exercer influência mais pronunciada sobre a dinâmica de decomposição da serrapilheira, comparado ao observado na estrutura da vegetação e na produção de detritos. O divisor de drenagem (DV) apresentou um maior estoque de serrapilheira, com considerável acúmulo de fragmentos de folhas assim como colônias fúngicas visíveis nas camadas mais profundas do estoque. As parcelas de encosta (AE e BE) apresentaram estoques bem parecidos entre si em termos de massa e estrutura, com manta menos espessa em comparação o encontrado em DV, principalmente, em relação aos fragmentos de folhas. No fundo de vale (FV) o estoque se apresenta com menos acúmulo de material e a camada de fragmentos de folhas é delgada,

por vezes, quase inexistente. Considerando-se o fato de que o aporte de detritos foi similar entre as parcelas, o acúmulo diferenciado entre estas é reflexo de taxas de decomposição diferenciadas, com provável influência da disponibilidade de umidade, que tende a ser maior no sentido encosta abaixo. A decomposição mais eficiente no fundo de vale ocasiona o rápido desaparecimento do material, enquanto uma decomposição mais lenta no divisor de drenagem se reflete em maior acúmulo. As parcelas de encosta, ao apresentarem estoques semelhantes, indicam ambiente de decomposição similar, com característica intermediária em relação aos “extremos geomorfológicos”, divisor e fundo de vale.

Em relação ao COD, a figura 74 apresenta um esboço-síntese de sua dinâmica na encosta estudada. A intensa urbanização, característica da matriz espacial na qual está inserida a Floresta da Tijuca, condiciona concentrações de COD na precipitação inicial um pouco superiores ao observado em ambientes mais afastados de centros urbanos. Parece haver alguma variabilidade temporal nesta concentração, com a ocorrência de “picos” que podem estar associados à ocorrência de queimadas e/ou outros fatores de caráter singular. Não foi possível explicar tais variações do ponto de vista da sazonalidade.

Ao encontrar a floresta, os fluxos de atravessamento apresentam aumento na concentração de COD pela lavagem das copas. Variações nesta concentração, encontradas entre os eventos, ocorreram de forma correlata às variações na precipitação inicial, indicando a origem atmosférica do C_{org} fonte (deposição seca) neste processo. Em relação às condições de umidade antecedente, o volume de chuva acumulado nos 15 dias anteriores aparentou exercer alguma influência, inversamente proporcional, sobre este enriquecimento, mais do que o tempo de estiagem. A correlação entre as concentrações de COD e o total precipitado não indicaram efeito de diluição, todavia, a intensidade de precipitação dos eventos aparentou alguma capacidade neste sentido, com moderada relação inversa entre intensidade e concentração de COD. A lavagem de COD das copas se apresentou heterogênea no espaço, porém, não houve diferença significativa entre as parcelas. O controle deste processo parece ser local, não apresentando variação em relação ao gradiente ambiental na escala de encosta, visto que todas as parcelas foram marcadas pela alta variabilidade interna na concentração de COD nos fluxos de atravessamento.

A serrapilheira é o principal compartimento fonte de COD ao solo. As concentrações de COD no lixiviado da serrapilheira apresentaram, na encosta estudada,

valores similares aos reportados em florestas temperadas e boreais. O processo de enriquecimento de COD na água ao percolar este compartimento aparentou certa independência em relação às condições de umidade antecedente e às características do evento de precipitação. Não foi observado efeito da diluição em relação aos volumes totais precipitados, e algum fraco efeito em relação à intensidade de precipitação dos eventos. O controle do processo de lixiviação de COD da serrapilheira parece ser mais interno, associado à dinâmica de MO no ecossistema. Acredita-se que a eficiência da ação biodregadativa sobre a MO no ambiente estudado, seja responsável pela disponibilização relativamente constante de solúveis orgânicos, na medida que as frações menos lábeis da MO são retrabalhadas pela microbiota decompositora. O gradiente ambiental na escala de encosta apresentou-se relevante em relação a esta lixiviação. Os estoques de serrapilheira nas áreas de encosta se apresentaram como fontes mais eficientes de COD, em comparação ao maior estoque no divisor e ao menor no fundo de vale. A proposta do presente estudo é que a mineralização mais eficiente no fundo de vale reduz consideravelmente a massa de estoque fonte, limitando a quantidade de C_{org} lixiviável, enquanto no divisor, a lixiviação pode ser limitada pela menor eficiência no retrabalhamento da MO, formando subprodutos solúveis em menor quantidade. Os estoques de encosta, com taxas de decomposição intermediárias em relação ao divisor e ao fundo de vale, apresentam, aparentemente, um equilíbrio entre acúmulo e mineralização da MO mais propício à lixiviação de COD.

A concentração de COD na solução do solo apresentou variação temporal menos pronunciada do que nos compartimento acima adjacentes. A redução da concentração de COD em profundidade ocorreu de forma mais lenta do que o reportado para outros ambientes. Tal fato deve estar associado à textura arenosa do solo, com baixos teores de argila, fração essa com maior potencial adsorvente. Os volumes totais e a intensidade das precipitações parecem exercer alguma influência sobre a concentração de COD na solução do solo em 50 cm de profundidade, porém essa influência pode ocorrer de forma diferente no divisor e no fundo de vale, provavelmente, em razão do conteúdo de MO incorporada ao solo em cada área. No divisor, onde os estoques são mais espessos e há tendência de maior conteúdo de MO no solo, precipitações mais intensas e/ou volumosas parecem apresentar maior capacidade de mobilizar e deslocar C_{org} para perfis mais profundos do solo. Tal fato foi associado à capacidade de eluição da água, de forma que mais água aumenta a capacidade de dessorção da MO das partículas do solo. O resultado é que, na

condição citada, os primeiros centímetros do solo possam se apresentar como fonte de C_{org} para os perfis mais profundos, ao invés de ser um ambiente de sorção, de forma a ocorrer o aumento da concentração em 50 cm de profundidade em relação ao encontrado no lixiviado da serrapilheira. Tal aumento ocorreu nos dois eventos de maior intensidade de precipitação, entretanto, as concentrações nesta profundidade, e nesta parcela, se correlacionaram de forma mais pronunciada aos totais precipitados. Ao contrário, no fundo de vale, onde há menos MO no solo, foi observada uma forte dependência desta concentração em relação inversa à intensidade de precipitação. Acredita-se que a menor presença de MO favoreça algum efeito de diluição. No fundo de vale, foi observado o aumento da concentração de COD em 100 cm de profundidade, em comparação ao obtido em 50 cm. Tal fato foi associado ao possível acúmulo de MO em profundidade, o qual teria origem na dinâmica de evolução da encosta, com a formação de colúvio e o possível soterramento de biomassa e do horizonte A pretéritos.

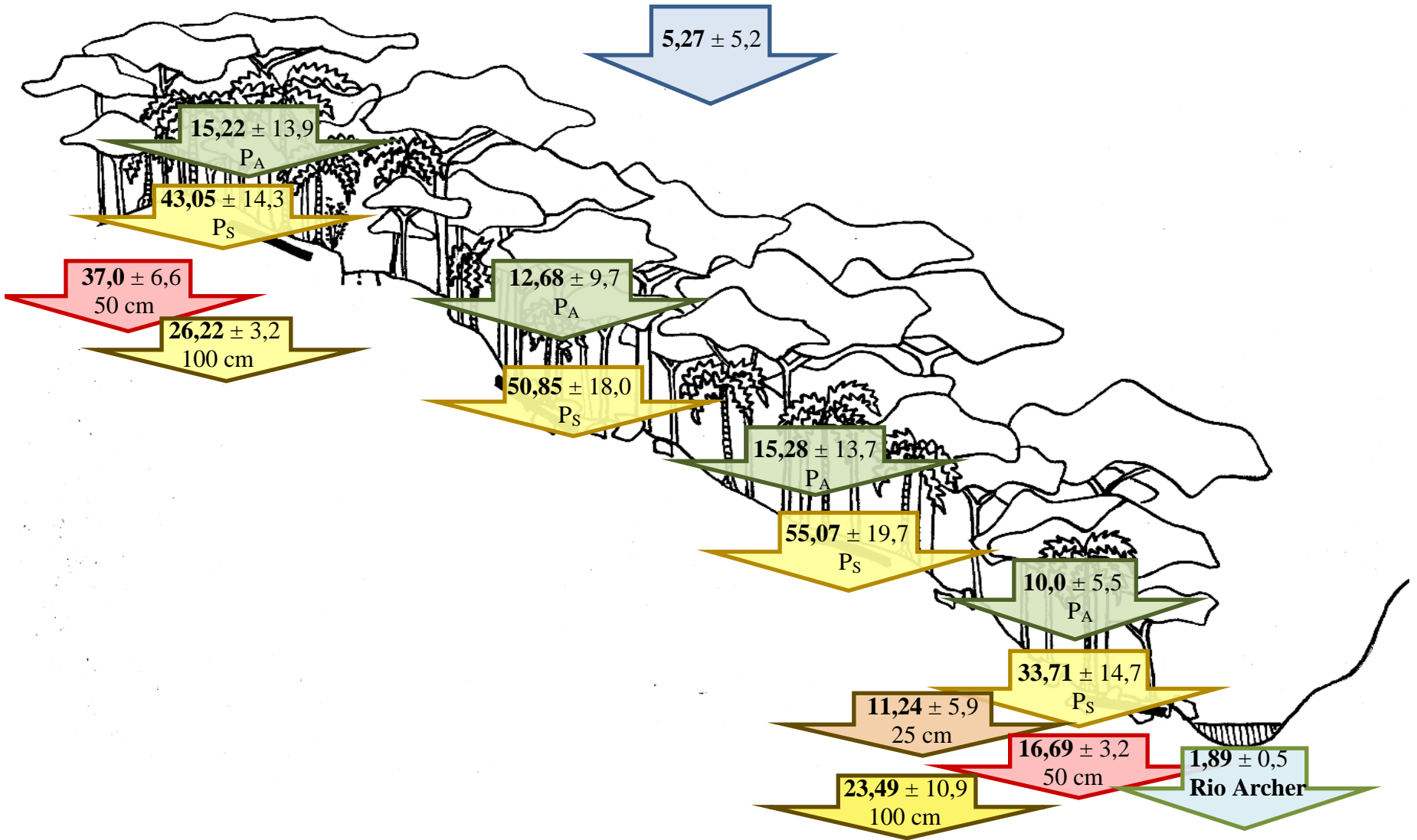
Ao retornar ao fluxo de base após os eventos de precipitação, o canal de drenagem, Rio do Archer, apresentou concentração de COD similar em todas as oportunidades. Mesmo a matriz do solo sendo relativamente pobre em argila, o Rio Archer apresenta concentrações de COD menores (e menos variantes) do que as encontradas na precipitação inicial. O predomínio do escoamento subsuperficial da água é um fator relevante para que o horizonte B do solo possa controlar a quantidade de MO que chega ao canal de drenagem. A eficiência na mineralização da C_{org} atua de forma positiva para a retenção de COD ao solo, ao disponibilizar os sítios de adsorção, parecendo fundamental para o ambiente estudado, onde a produtividade é grande e os solos rasos. Assim, o solo é capaz filtrar a MO da água e suavizar as oscilações encontradas nos compartimentos superiores ao longo do tempo, resultando em relativa estabilidade das concentrações de COD no canal de drenagem em de fluxo de base. O controle da exportação de COD via canal aparenta ser interno, em relação ao funcionamento do sub-sistema de decomposição, sendo o solo um compartimento fundamental para a retenção de C_{org} da água.

Em relação às hipóteses que nortearam o presente estudo, é possível indicar que: (1) A umidade antecedente e a intensidade de precipitação podem exercer alguma influência sobre a concentração de COD nos fluxos de atravessamento na Floresta da Tijuca, com tendência inversamente proporcional, representando os da pré-lavagem e da diluição, respectivamente. A pré-lavagem parece um pouco mais pronunciada do que a diluição, e

esta segunda não ocorreu em relação ao volume total precipitado, mas sim em relação à intensidade de precipitação. A lixiviação da serrapilheira apresentou considerável independência em relação à umidade antecedente ou características dos eventos; (2) As variações espaciais nos estoques de serrapilheira ao longo da encosta se refletiram em concentrações de COD diferenciadas no lixiviado deste compartimento. Os estoques de encosta se apresentaram como fontes mais eficientes de COD ao horizonte mineral, ao apresentar equilíbrio entre acúmulo e mineralização mais propício à lixiviação de COD. O estoque delgado do fundo do vale apresentou as menores concentrações. (3) O divisor apresentou menos redução das concentrações de COD na solução do solo nos 50 cm mais superficiais do solo, em comparação ao fundo de vale.

Por fim, afirma-se que: (1) Em valores aproximados, ao lavar a biomassa viva e a biomassa morta, a precipitação terminal alcança o horizonte mineral com concentração de COD de aproximadamente 45 mg.L^{-1} . A média desta concentração para a encosta pode variar entre 55 e 30 mg.L^{-1} entre os diferentes eventos de precipitação, dependendo da umidade antecedente e da intensidade da chuva. Já a concentração média obtida no tempo de pesquisa pode variar espacialmente ao longo da encosta entre aproximadamente 55 e 25 mg.L^{-1} , na encosta e no fundo de vale, respectivamente. (2) O solo se apresenta como compartimento chave para a retenção de C_{org} no ambiente terrestre. Quaisquer processos que venham a diminuir a infiltração da água no solo, terá como provável resultado, o aumento das concentrações de COD médias e de suas flutuações no ambiente aquático, o que afetaria de forma negativa a estabilidade seus ecossistemas e a qualidade do recurso hídrico para a sociedade.

Figura 74: Esquema síntese da distribuição das diferentes concentrações de COD ao longo da encosta sul do Morro do Archer, PARNA-Tijuca. Ilustração sem escala.



7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDOLALAH, L.; SCHJØNNING, P.; ELMHOLT, S.; MUNKHOLM, L. J., The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. **Soil & Tillage Research**, v.136, p28-37. 2014.
- AITKENHEAD, J. A.; McDOWELL, W. H., Soil C:N ratio as a predictor of annual riverine DOC flux at local and global scales. **Global Biogeochemical Cycles**, v.14(1), p.127-138. 2000.
- BANCO MUNDIAL, Relatório sobre desenvolvimento – Desenvolvimento e mudança climática. Ed. Banco Mundial, Washington, D. C. 2010.
- BORÉM, R. A. T.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.. Fitossociologia do estrato arbóreo em uma topossequência alterada de mata atlântica, no município de Silva Jardim-RJ, Brasil. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.727-742, 2002.
- CÂMARA, I. B., Extinção e o registro fóssil. **Anuário do Instituto de Geociências**. v. 30(1). p123-134. 2007.
- CANELLAS, L. P. e SANTOS G. A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. UENF, Campos dos Goytacazes, 309p., 2005.
- CAO, G. L.; ZHANG, X. Y.; ZHENG, F. C.. Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China. **Atmospheric Environment**, v.34, 6516-6527, 2006..
- CASTRO JÚNIOR, E., O papel da fauna endopendônica na estruturação física do solo e seu significado para a hidrologia de superfície. Dissertação de mestrado PGG/ UFRJ. 150p. 1991.
- CHAPLOT, V.; RIBOLZI, O., Hydrograph separation to improve understanding of Dissolved Organic Carbon Dynamics in Headwater catchments. **Hydrological Process**, v.28, p 5354-5366. 2014.
- CHIROL, A. A. Relações solo-fauna durante sucessão florestal em cicatrizes de movimento de massa, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, 148p. 2003.
- CLEVELARIO JUNIOR, J., Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serapilheira da bacia do Alto rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes. UFF, Tese de Doutorado. 1988.

- COELHO NETTO, A. L., Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro. PhD tese University of Leuven, Bélgica, 181p. 1985.
- COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of litter cover. **Catena**, v 14, p. 213-231. 1987.
- COELHO NETTO, A. L., Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos. 7ª Ed., Rio de Janeiro, Bertrand do Brasil, p.93-148. 2007.
- CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. Mosaico de Unidades de Conservação do Corredor da Serra do Mar. Caderno 32 in Série de Conservação de Áreas Protegidas, 2007.
- COSTA, D. P.; YANO, O., Hepáticas talosas do Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 1 (2.): 73-82. 1988.
- COSTA, E. N. D.; SOUZA, J. C.; PEREIRA, M. A.; SOUZA, M. F. L.; SOUZA, W. F. L.; SILVA, D. M. L., Influence of hydrological pathways on dissolved organic carbon fluxes in tropical streams. **Ecology and Evolution**, v.7, p.228-239, 2017.
- CREED, I. F.; SANFORD, S. E.; BEALL, F. D.; MOLOT, L. A.; DILLON, P. J., Cryptic wetlands: integrating hidden wetlands in regression models of the export of dissolved organic carbon from forested landscapes. **Hydrological Processes**, v.17, n. 18, p. 3629-3648, 2003.
- CRONAN, C. S., AIKEN R. G., Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of the Adirondack Park, New York. **Geochimistry and Cosmochimistry Acta**, v.49 p.1697–1705. 1985.
- CUNHA, U. S., Dendrometria e Inventário Florestal. Série técnica adaptada para atender ao módulo de dendrometria e inventário no curso técnico em manejo florestal. Escola Agrotécnica Federal de Manaus. Manaus. 2004.
- CURRIE, W. S.; ABER, J. D.; MCDOWELL, W. H.; BOONE, R.D.; MAGILL, A. H., Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. **Biogeochemistry**, v. 80. P.1-35, 1996.
- D'ARROCHELLA, M. L. G., Relação entre Pluviosidade Efetiva e Estoque de Matéria Orgânica de Superfície na Ciclagem de Nutrientes em Floresta Ombrófila Urbana: Parque Nacional da Tijuca (RJ). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2013.
- DALVA, M; MOORE, T. R.. Sources and sinks of dissolved organic carbon in a forested swamp catchment. **Biogeochemistry**. v.15(1), p.1-19. 1991.

- DAVID, M., B.; DRISCOLL, C. T.. Aluminum speciation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack Mountains (New York, U.S.A.). **Geoderma**. V.33(4). 297-318. 1984.
- DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B., Lixiviação de nutrientes da serapilheira recém-depositada em sucessão ecológica na Floresta Atlântica, litoral do Paraná. **Floresta**, v. 39, n. 1, 2008.
- DRUMOND, J. A., O jardim dentro da máquina: breve história ambiental da Floresta da Tijuca. **Estudos Históricos**, Rio de Janeiro, v 1, p. 276-298. 1988.
- DUAN, S.; DELANEY-NEWCOMB, K.; KAUSHAL, S. S., Potential effects of leaf litter on water quality in urban Watersheds. **Biogeochemistry**, v.121, p.61–80. 2014.
- EDMONDS, R. L.; THOMAS, T. B.; BLEW, R. D., Biogeochemistry of an old-growth forested watershed, Olympic National Park, Washington. **Water Resources Research**. Bull. v.31, p409-419, 1995.
- EMBRAPA, Manual de métodos de análise do solo. 2a Ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.
- FERNANDES, M. do C., Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas, Tese – UFRJ, IGEO, Rio de Janeiro. 263 p. 2004.
- FERRY, L. A Nova Ordem Ecológica: a árvore, o animal e o homem. Ed. DIFEL, Rio de Janeiro, 2009.
- FIGUEIREDO, J. A.; MENOR, E. A.; TABOADA-CASTRO, M. T.; TABOADA-CASTRO, M. M.; RODRÍGUEZ-BLANCO, M. L.; BRAGA, E. S., Using hydrogeochemical signatures of stream water to assess pathways for rainfall events: toward a predictive model. **Hydrological Process**, v.28, p2301-2311. 2014.
- FRANZLUEBBERS, A. J., Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil & Tillage Research**, v.66, p197-205. 2002.
- FRÖBERG, M., BERGGREN, D., BERGKVIST, B., BRYANT, C., & MULDER, J., Concentration and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in three Norway spruce stands along a climatic gradient in Sweden. **Biogeochemistry**, 77(1), 1-23. 2006.
- FRÖBERG, M., HANSSON, K., KLEJA, D. B., & ALAVI, G., Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden. **Forest ecology and management**, v. 262, n. 9, p. 1742-1747, 2011.
- GANTER, C., Stabilization of soil organic matter by mineral surfaces. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais, Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, 13p. 2007.

- GARAY, I. & SILVA, B. A. O.Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. In: ESTEVES, F., ed **Oecologia Brasiliensis: Simpósio Sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas**. Rio de Janeiro, p.19-46. 1995.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CALLIPO, A.; BARROS, M.E.O. & JESUS, R.M. (1995) Formas de húmus em ecossistemas de Floresta Costeira Intertropical. I. A Mata Atlântica de Tabuleiros. In: ESTEVES, F., ed. *Oecologica Brasiliensis: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas*. p.1-18.
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. B.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A., Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Rev. Bras. Ciências do Solo**, v.34, p.1069-1079. 2010.
- GOLLEY, F. B., Ciclagem de nutrientes em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo: EDUSP, 256p. 1978.
- GOTELLI, N. J. e ELLISON, A. M., Princípios de estatística em ecologia. Ed. Artmed, RS, 527p.. 2011.
- GOUVEIA NETO, S. C., Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e pastagem. Dissertação de Mestrado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 2006.
- GUERRA, A. J. T., O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.13, p43-52. 1990.
- GUERRA, A. J. T., Processos erosivos em encostas. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA,S.B. (org) *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. 7ª Ed., Rio de Janeiro, Bertrand do Brasil, p.149-209. 2007.
- GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Dissolved organic carbon control in acid forest soils of the Fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition analyses. **Geoderma**, v. 59, n. 1, p. 109-129, 1993.
- HAFNER, S. D.; GROFFMAN, P. M.; MITCHELL, M. J. Leaching of dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen, and other solutes from coarse woody debris and litter in a mixed forest in New York State. **Biogeochemistry**, v. 74, n. 2, p. 257-282, 2005.
- HARR, R. D., Water flux in soil and subsoil on steep forested slope. **Journal of Hydrology**, v 33, p.37-58. 1977.
- HEIJDEN, G.; LEGOUT, A.; POLLIER, B.; BRÉCHET, C.; RANGER, J.; DAMBRINE, E., tracing and modeling preferential flow in a forest soil – Potential impact on nutrient leaching. **Geoderma**, v.155-156, p.12-22. 2013.

- HINTON, M. J.; SCHIFF, S. L.; ENGLISH, M. C., Sources and flowpaths of dissolved organic carbon during storms in two forested watersheds of the Precambrian Shield. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.41, n.2, p.175-197. 1998.
- HONGVE, D., Production of dissolved organic carbon in forested catchments. **Journal of Hydrology**, n. 224, p. 91-99. 1999.
- HOPE, D.; BILLET, M. F.; CRESSER, M. S., A review of the export of carbon in river water - fluxes and processes. **Environmental Pollution**, London, v.84, n.3, p.301-324. 1994.
- JANSEN, R. C. (2001) Distribuição dos Sistemas Radiculares em Encostas Florestadas e sua Influência sobre a Infiltração, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, 150p.
- JARDIM, F.C. da S.; SENA, J.R.C.; MIRANDA, I. de S. Dinâmica e estrutura da vegetação com DAP ≥ 5 CM em torno de clareiras da exploração florestal seletiva, em Moju, Pará. **Revista Ciências Agrárias**, n. 49, p. 41 – 52, jan./jun., 2008.
- JAYAKODY, P.; PARAJULI, P. B.; CATHCART, T., Impacts of climate variability on water quality with best management practices in sub-tropical climate of USA. **Hydrological Process**, v.28, p5776-5790. 2014.
- JOHNSON, D. W., Progressive N limitation in forests: review and implications for long-term responses to elevated CO₂. **Ecology**, v. 87, n. 1, p. 64-75, 2006.
- JIANG, R.; HATANO, R.; ZHAO, Y.; KURAMOCHI, K.; HAYAKAWA, A.; WOLI, K. P.; SHIMIZU, M., Factors controlling nitrogen and dissolved organic carbon exports across timescales in two watersheds with different land uses. **Hydrological Process**, v.28, p5105-5121. 2014.
- KAISER, K. and GUGGENBERGER, G., Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. **European Journal of Soil Science** 58(1): 45-59. 2007.
- KAISER, K.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W., Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils. **Geoderma**, v74, p.281-303. 1996.
- KAISER, K.; KAUPENJOHANN, M.; ZECH, W., Sorption of dissolved organic carbon in soils: effect of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature. **Geoderma**, v.99, p317-328. 2001.
- KIEBER R. J.; PEAKE B.; WILLEY J. D.; BROOKS A. G.. Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater. **Atmos Environment**. v.36. p.3557–3563, 2002.

- KINDEL, A. A., fragmentação Real: Heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.
- KUSHWAHA, C. P.; TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P., Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, v.16, p229-241. 2001.
- LACERDA, M. S.. Composição florística e estrutura da comunidade arborea num gradiente altitudinal da Mata Atlântica. Tese de Doutorado, UNICAMP, 136p. 2001.
- LIU, C. P.; SHEU, B. H.. Dissolved organic carbon in precipitation, throughfall, stemflow, soil solution, and stream water at the Guandaoshi subtropical forest in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v.173 (2-3). p.315-325. 2003.
- MAGILL, A. H.; ABER, J. D., Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions. **Soil biology and biochemistry**, v. 32, n. 5, p. 597-601, 2000.
- MAYORGA, E.; AUFDENKAMPE, A. K., Processing of bioactive elements in the Amazon River system. In: McClain, M.E. (Ed.), **The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands**. p.1–24. 2002.
- MCCLAIN, Michael E. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the Central Amazon Basin of Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 11, n. 3, p. 295-311, 1997.
- MCDOWELL, W. H., Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v.14(4), p521-536. 1998.
- MCDOWELL, W. H.; LIKENS, G. E., Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. **Ecological monographs**, p. 177-195, 1988.
- MENGISTU, S. G.; CREED, I. F.; WEBSTER, K. L.; ENANGA, E.; BEALL, F. D., Searching for similarity in topographic controls on carbon, nitrogen and phosphorus export from forested headwater catchments. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 8, p. 3201-3216, 2014.
- MEYER, J.L.; MCDOWELL, W. H.; BOTT, T. L.; ELWOOD, J. W.; ISHIZAKI, C.; MELACK, J. M.; PECKARSKY, B. L.; PETERSON, B. J.; RUBLEE, P. A. Elemental dynamics in streams. **Journal of the North American Benthological Society**, Washington, v.7(4), p.410-432, 1988.
- MICHALZIK, B.; KALBITZ, K.; J.-H. PARK; SOLINGER, S.; MATZNER, E.. Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen – a synthesis for temperate forests. **Biogeochemistry**. v.52(2), p.173–205. 2001.

- MIRANDA, J. C. (1992) Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ, UFRJ, IGEO, dissertação de mestrado, 1992.
- MIRANDA, F. S. M., Dinâmica da serapilheira em encosta florestada do PARNA-Tijuca: a posição na encosta e declividade como fatores condicionante à formação dos estoques. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 2013.
- MIRANDA, F.S.M.; BARBOSA, L.S.; CASTRO JUNIOR, E.; AVELAR, A.S. Estrutura da vegetação condicionada por fatores topográficos em floresta de encosta no PARNA – Tijuca, RJ. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.10, p.247–253, 2014.
- MØLLER, J.; MILLER, M.; KJØLLER, A. Fungal-bacterial interaction on beech leaves: influence on decomposition and dissolved organic carbon quality. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, p.367-374. 1999.
- MONITORAR-RIO, Qualidade do ar na cidade do Rio de Janeiro – âmbito 2011/2012. Relatório da Rede MonitorAr-rio. Prefeitura do Rio de Janeiro, 2012.
- MONTEIRO, P. F.; PACHECO, L. P.; LORENZETTI, E. R.; ARMESTO, C.; SOUZA, P. E.; ABREU, M. S., Exsudatos radiculares de plantas de cobertura no desenvolvimento de *Sclerotinia sclerotiorum*. **BioScience Journal**. v.8(1), p.87–93. 2012.
- MONTEZUMA, R. C. M. (2005) Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareira de deslizamento, Parque Nacional da Tijuca, RJ, Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, 294p.
- MOORE, T. R.; JACKON, R. J. Dynamics of dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand. **Water Resources Research**. v. 25, p.1331-1339, 1989.
- MULHOLLAND, P.J.; WILSON, G.V.; JARDINE, P.M. Hydrogeochemical response of a forested watershed to storms - Effects of preferential flow along shallow and deep pathways. **Water Resources Research**, Washington, v.26, n.12, p.3021-3036, 1990.
- NEFF, J. C.; ASNER, G. P. Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model. **Ecosystems**, v.4, n. 8, p. 29-49. 2001.
- NEGREIROS, A. B. Recuperação de Floresta Atlântica e Resultante Hidro-Erosiva em Clareiras de Deslizamentos nas Encostas Íngremes do Maciço da Tijuca, RJ. Tese de Doutorado IGEO/UFRJ Rio de Janeiro, 145p. 2011.
- NOSRATI, K.; GOVERS, G.; SMOLDERS, E., Dissolved organic carbon concentrations and fluxes correlate with land use and catchment characteristics in a semi-arid drainage basin of Iran. **Catena**, v.95, p.177-183. 2012.

- ODUM, E. P. (2004) Fundamentos de Ecologia. 6ª ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian. 823p..
- OLIVEIRA, R. R., Produção e decomposição de serrapilheira no Parque Nacional da Tijuca. Dissertação de Mestrado, UFRJ/IGEO. 1987.
- OLIVEIRA, R. R.; LACERDA, L. D. Contaminação por chumbo na serrapilheira do Parque Nacional da TIJUCA-RJ. **Acta bot. bras.** 1(2):165-169. 1987.
- OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; SILVA, D. F.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O.; SAMPAIO, P. D. Significado ecológico da orientação de encostas do Maciço da Tijuca, rio de Janeiro. **Oecologia Brasilienses**, v 1, p. 523-541. 1995.
- OLSON, J. S., Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44. p.322- 331. 1963.
- ONI, S. K.; FUTTER, M.N.; MOLOT, L. A.; DILLON, P. J. (2014) Adjacent catchments with similar patterns of land use and climate have markedly different dissolved organic carbon concentration and runoff dynamics. **Hydrological Process**, v.28, p1436-1449.
- ORLOVIC-LEKO, P.; PLAVSIC, M.; BURA-NAKIC, E.; KOZARAC, Z.; COSOVIC, B., Organic matter in the bulk precipitations in Zagreb and Sibenik, Croatia. **Atmospheric Environment**, v.4, p.805-811.
- OVALLE, A. R. C., Estudo Geoquímico de Águas Fluviais da Bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca. Dissertação de Mestrado, Geoquímica – UFF. Rio de Janeiro. 1985.
- PAN, Y.; WANG, Y.; XIN, J.; TANG, G.; SONG, T.; WANG, Y.; LI, X.; WU, F., Study on dissolved organic carbon in precipitation in Northern China. **Atmospheric Environment**, v.44, p.2350-2357, 2010.
- PANHOTA, R. S., Utilização e destino do carbon orgânico dissolvido em um reservatório eutrotófico (Barra Bonita, SP) Tese de Doutorado, UFSCar. 106p. 2007.
- PERALTA-TAPIA, A.; SPONSELLER, R. A.; TETZLAFF, D.; SOULSBY, C.; LAUDON, H., Connecting precipitation inputs and soil flow pathways to stream water in contrasting boreal catchments. **Hydrological Process**. 2014.
- PARK, J.; MATZNER, E., Controls on the release of dissolved organic carbon and nitrogen from a deciduous forest floor investigated by manipulations of aboveground litter inputs and water flux. **Biogeochemistry**, v. 66, n. 3, p. 265-286, 2003.

- PETERSON, B.; DUBAYAH, R. O.; HYDE, P.; HOFTON, M.; BLAIR, J. B.; FITES-
KAUFMAN, J., Use of LiDAR for forest inventory and forest management
application. Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis
Symposium, 193-200, 2005.
- PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J. S. C., Use of humic substances as
soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, v.75, p.267-277.
1997.
- QUALLS, R. G.; HAINES, B. L., Biodegradability of dissolved organic matter in forest
throughfall, soil solution, and stream water. **Soil Science Society of America
Journal**, v. 56, n. 2, p. 578-586, 1992.
- QUALLS, R. G.; HAINES, B. L.; SWANK, W. T. Fluxes of dissolved organic nutrients
and humic substances in a deciduous forest. **Ecology** v.72, p.254–266. 1991.
- RICHTER, D.D.; MARKEWITZ, D.. Carbon Changes During the Growth of Loblolly
Pine on Formerly Cultivated Soil: The Calhoun Experimental Forest, U.S.A.
Evaluation of Soil Organic Matter Models v.38, p. 397-407. 1996.
- SATO, A. M., Resposta geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de
eucalipto no médio vale do Rio Paraíba do Sul: a interface solo-biota-água.
Dissertação de Mestrado, UFRJ/IGEO. 2008.
- SCHEINER, T. C. H., Ocupação humana no Parque Nacional da Tijuca: aspectos gerais.
Brasil Florestal, v.7, p.327-342. 1976.
- SCHMIDT, B. H. M.; WANG, C. CHANG, S; MATZNER, E., High precipitation causes
large fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a subtropical montane
Chamaecyparis forest in Taiwan. **Biogeochemistry**, n101, p.243-256. 2010.
- SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E., Aggregate stability kit for soil quality assessments.
Catena, v.44, p37-45. 2001.
- SILVA, E. R., Exsudação radicular e sua utilização por rizobactérias. Dissertação de
Mestrado, Instituto Agrônomo. Campinas, São Paulo. 2011.
- SINGH, S.; INAMDAR, S.; MITCHELL, M., Changes in dissolved organic matter (DOM)
amount and composition along nested headwater stream locations during baseflow
and stormflow. **Hydrological Process**. 2014.
- SIUDEK, P.; FRANKOWSKI, M.; SIEPAK, J., Seasonal variations of dissolved organic
carbon in precipitation over urban and forest sites in central Poland. **Environment
Science Pollution Research**. v.22. p.11087-11096, 2015.
- SMOLANDER, A.; KITUNEN, V.; MÄLKÖNEN, E., Dissolved soil organic nitrogen and
carbon in a Norway spruce stand and an adjacent clear-cut. **Biology and Fertility
of Soils**, v. 33, n. 3, p. 190-196, 2001.

- SONG, X.; JIANG, H.; ZHANG, Z.; ZHOU, G.; ZHANG, S.; PENG, C., Interactive effects of elevated UV-B radiation and N deposition on decomposition of Moso bamboo litter. **Soil Biology & Biochemistry**, v.69, p11-16. 2014.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R., A natureza da geografia física na Geografia. **Terra Livre**, n. 17, p. 11-24. 2001.
- SWIFT, M. J., HEAL, O.W. & ANDESON, J. M., Decomposition in Terrestrial Ecosystems. University of California Press, Berkley, Los Angeles, 327p. 1979.
- TIETJEN, T.; VÄHÄTALO, A. V.; WETZEL, R. G. Effects of clay mineral turbidity on dissolved organic carbon and bacterial production. **Aquatic sciences**, v. 67, n. 1, p. 51-60, 2005.
- TOGASHI, H.F.; MONTEZUMA, R. C. M.; LEITE, A. F.. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de Floresta Atlântica no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.907-917, 2012.
- TRUMBORE, S.E.; SCHIFF, S.L.; ARAVENA, R.; ELGOOD, R., Sources and transformation of dissolved organic-carbon in the harp lake forested catchment - the role of soils. **Radiocarbon**, New Haven, v.34(3), p.626-635. 1992.
- TURGEON, J. M. L.; COURCHESNE, F., Hydrochemical behaviour of dissolved nitrogen and carbon in a headwater stream of the Canadian Shield: relevance of antecedent soil moisture conditions. **Hydrological Process**, v.22, p.327-339. 2008.
- WANG, F.; TONG, Y. A. ZHANG, J. S.; GAO, P. C.; COFFIE, J. N., Effects of various organic materials on soil aggregate stability and soil microbiological properties on the Loess Plateau of China. **Plant Soil Environment**, v.59(4), p162-168. 2013.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, Eduardo Fávero. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 2, p. 190-203, 2008.
- ZHANG, Q.; JIMENEZ J. L.; CANAGARATNA J. M. R.; ALLAN D.; COE H.; ULBRICH I.; ALFARRA M. R.; TAKAMI A.; MIDDLEBROOK A. M.; SUN Y. L.; DZEPINA K.; DUNLEA E.; DOCHERTY K.; DECARLO P. F.; SALCEDO D.; ONASCH T.; JAYNE J. T.; MIYOSHI T.; SHIMONO A.; HATAKEYAMA S.; TAKEGAWA N.; KONDO Y.; SCHNEIDER J.; DREWNICK F.; BORRMANN S.; WEIMER S.; DEMERJIAN K.; WILLIAMS P.; BOWER K.; BAHREINI R.; COTTRELL L.; GRIFFIN R. J.; RAUTIAINEN J.; SUN J. Y.; ZHANG Y. M.; WORSNOP D. R., Ubiquity and dominance of oxygenated

species in organic aerosols in anthropogenically-influenced Northern Hemisphere midlatitudes. **Geophysical Research Letters**, v.34, p.138-151, 2007.

ZHOU, W.; LU, H. Z.; ZHANG, Y. P.; SHA, L. Q.; SCHAEFER, D. A.; SONG, Q. H.; DENG, Y.; DENG, X. B., Hydrologically transported dissolved organic carbon influences soil respiration in a tropical rainforest. **Biogeosciences**, v.13, 5487–5497. 2016.