

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS
RENOVÁVEIS

MARCELLE TEODORO LIMA

**FUNÇÕES ECOHIDROLÓGICAS DO ESCOAMENTO PELO TRONCO EM
ESPÉCIES FLORESTAIS EM AMBIENTES URBANOS**

SOROCABA - SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS
RENOVÁVEIS

MARCELLE TEODORO LIMA

**FUNÇÕES ECOHIDROLÓGICAS DO ESCOAMENTO PELO TRONCO EM
ESPÉCIES FLORESTAIS EM AMBIENTES URBANOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Doutora em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kelly Cristina Tonello
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Julieta Bramorski

Sorocaba - SP

2021

Lima, Marcelle Teodoro

Funções ecohidrológicas do escoamento pelo tronco em espécies florestais em ambientes urbanos / Marcelle Teodoro Lima - 2021.

152f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Kelly Cristina Tonello

Banca Examinadora: Aparecido Junior de Menezes, Herly Carlos Teixeira Dias, Manuel Enrique Gamero Guandique, Maria Virginia Urso Guimaraes

Bibliografia

1. Hidrologia florestal. 2. Fluxo de nutrientes. 3. Enriquecimento do solo. I. Teodoro Lima, Marcelle. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Marcelle Teodoro Lima Cunha, realizado em 26/11/2021.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello (UFSCar)

Profa. Dra. Julieta Bramorski (UNIFAP)

Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias (UFV)

Prof. Dr. Aparecido Junior de Menezes (UFSCar)

Profa. Dra. Maria Virginia Urso Guimaraes (UFSCar)

Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero Guandique (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

DEDICATÓRIA

Dedico essa Tese ao meu esposo Daniel Cunha que foi o meu “esteio” e não mediu esforços para ajudar a manter firme no meu propósito. À minha Pequena Nanda, filha amada, presente de Deus e meu maior motivo para a busca da minha melhor versão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que foram um “tijolinho” na construção desta Tese. O sentimento é gratidão a todos, que de alguma forma me ajudaram a completar essa fase de tanto aprendizado, em especial:

Primeiramente a Deus, que mesmo em meio a tantas dificuldades, me fortaleceu a cada instante, colocando em meu coração e pensamentos a capacidade e sabedoria.

À minha Orientadora Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello, por sempre me compreender e incentivar a ser melhor como pesquisadora e educadora. Por me motivar quanto tudo estava difícil, e me potencializar acreditando na minha capacidade quando nem eu mesma acreditava. À Coorientadora Julieta Bramorski, que direcionou-me de tal maneira a contribuir para a construção desta pesquisa.

Aos membros da Banca, os Profs. Drs. Aparecido Junior de Menezes, Herly Carlos Teixeira Dias, Manuel Enrique Gamero Guandique e Maria Virginia Urso Guimaraes, que gentilmente aceitaram fazer parte e assim contribuírem para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba, ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis e a todos envolvidos. Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo aporte.

À parceria com a Universidade Estadual Paulista (UNESP), em especial ao Prof. Manuel Enrique Guandique e Pedro Bartholo que muito contribuíram para análises laboratoriais.

Aos colegas do grupo de pesquisa sobre Hidrologia em Ecossistemas Florestais (Hidrolef) que foram de imensa importância para a conclusão deste estudo, e se dispuseram a ajudar nas coletas de campo, análises de dados e troca de experiências, em especial: Márcia Arruda, Grégorio Matus, Leonardo Balbinot, Luara Pereira e Gabriele Boa. Ao pai Fernando Lima e marido Daniel Cunha que tanto me auxiliaram em campo.

“Faça o seu melhor, nas condições
que você tem, enquanto você não tem
condições melhores para fazer melhor
ainda”.

Mario Sérgio Cortella

...Eis o meu melhor!

RESUMO

LIMA, Marcelle Teodoro. Funções ecohidrológicas do escoamento pelo tronco em espécies florestais em ambientes urbanos. 2021. 152 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

As árvores têm um papel importante para o ciclo hidrológico e ciclagem de nutrientes, desempenhando uma importante função ecossistêmica. Ainda que represente uma pequena proporção da precipitação total, o escoamento pelo tronco tem a significativa contribuição ecohidrológica para o ambiente, ofertando para o solo quantidades adicionais de água e nutrientes. Este estudo tem por objetivo apresentar os papéis ecohidrológicos da água escoada pelo tronco de árvores pertencentes a área urbana, a fim de verificar a contribuição química, hidrológica e microbiótica para o solo. Como método, inicialmente realizou-se uma revisão sistemática da literatura baseada na seleção dos artigos mais relevantes sobre o escoamento pelo tronco e fluxo de nutrientes. Logo, partiu-se para o experimento, o qual foi conduzido na Universidade Federal de São Carlos - campus Sorocaba, São Paulo. Durante o período de outubro de 2019 à setembro de 2020 foram monitorados a precipitação e o escoamento pelo tronco em oito (8) espécies florestais presente em ambiente urbano, juntamente foram estudados os fatores que influenciam o escoamento pelo tronco, tais como, as características dendrométricas e morfológicas das espécies; a abundância e transporte de metazoários; o fluxo de nutrientes; e a alteração sobre propriedades químicas dos solos na base das árvores. Os resultados deste estudo denotam que as pesquisas sobre o efeito do escoamento pelo tronco na ciclagem biogeoquímica e na dinâmica do solo permanecem escassas e o entendimento completo ainda requer muitos estudos adicionais. De maneira geral, comprovou-se que o escoamento pelo tronco é um importante meio para a manutenção nutritiva da própria árvore e vizinhança vegetal, contribuindo para a arborização urbana. Observou-se que o rendimento do escoamento pelo tronco das espécies florestais tiveram diferentes influências das características dendrométricas e morfológicas, além de ser capaz de transportar metazoários para o solo e não necessariamente altos volumes de água escoada pelo tronco correspondem sua maior abundância e transporte. O mesmo foi observado para o fluxo de nutrientes, em que o enriquecimento na água escoada pelo tronco das espécies evidenciou sua função como fonte de nutrientes para os solos próximos a base das árvores para a maior parte dos íons analisados. Dessa forma, verifica-se a existência das funções ecohidrológicas do escoamento pelo tronco, agregando água, nutrientes e microorganismos nos solos em ambientes urbanos.

Palavras-chave: Hidrologia florestal. Fluxo de nutrientes. Enriquecimento do solo.

RESUMO EM LINGUA ESTRANGEIRA

LIMA, Marcelle Teodoro. Ecohydrological functions of stemflow in forest species in urban environments. 2021. 161 f. Thesis (Ph.D. in Planning and Use of Renewable Resources - PPGPUR) – Federal University of São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2020.

Trees play an important role in the hydrological cycle and nutrient cycling, playing an important ecosystem function. Even though it represents a small proportion of total precipitation, the stemflow has a significant ecohydrological contribution to the environment, providing the soil with additional amounts of water and nutrients. This study aims to present the ecohydrological roles of the stemflow of trees belonging to urban areas, in order to verify its chemical, hydrological and microbiotic contribution to the soil. As a method, a systematic review of the literature was initially carried out based on the selection of the most relevant articles on stemflow and nutrient fluxes. Then, the experiment was carried out at the Federal University of São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo. During the period from October 2019 to September 2020, rainfall and stemflow were monitored in eight (8) forest species present in an urban environment, together with the study of factors influencing stemflow, such as dendrometric characteristics and morphological species; the abundance and transport of metazoans; the nutrient fluxes; and the change in chemical properties of soils at the base of trees. The results of this study show that research on the effect of stemflow on biogeochemical cycling and soil dynamics remains scarce and full understanding still requires many additional studies. In general, it was proven that the stemflow is an important means for the nutritional maintenance of the tree itself and its vegetal surroundings, being an important process for urban afforestation. It was observed that the yield of stemflow of the analyzed species had different influences from dendrometric and morphological characteristics, in addition to being able to transport metazoa to the soil and not necessarily high volumes of stemflow the trunk correspond to its greater abundance and transport. The same was observed for the nutrient fluxes, in which the enrichment in the stemflow water of the species showed its function as a nutrient source for the soils close to the base of the trees for most of the analyzed ions. In this way, the existence of the ecohydrological functions of the stemflow , adding water, nutrients and microorganisms in the soils in urban environments.

Keywords: Forest hydrology. Nutrient fluxes. Soil enrichment.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1 - Distribuição do número de publicações por ano. _____	29
Figura 2 - Distribuição do número de publicações por continente. _____	300
Figura 3 - Conjunto de palavras-chave de pesquisas sobre o efeito do SF sobre o fluxo de nutrientes do solo, com base na análise de coocorrência. _____	311
Figura 4 - Cinco espécies mais avaliadas com base no fluxo de tronco e ciclagem de nutrientes. _____	33
Figura 5 - Nuvem de palavras mostrando os principais tópicos associados à dinâmica de nutrientes orientada por SF. _____	377

Capítulo II

Figura 6 - Mapa da localização da área em estudo em Sorocaba - SP. _____	47
Figura 7 - Pluviômetro instalado na área de estudo para monitoramento da precipitação em aberto. Sorocaba-SP, 2020. _____	48
Figura 8 - Instalação do escoamento pelo tronco. _____	49
Figura 9 - Variação mensal do volume da precipitação (a) e S_y médio anual das oito (8) espécies estudadas (b-i) entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020. _____	533
Figura 10 - Relação entre a precipitação total e o volume total escoado pelo tronco das espécies em análise entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020. _____	544
Figura 11 - Scree Plot das variáveis morfológicas: formato da copa; tortuosidade do tronco; inclinação do tronco; textura da casca; presença de briófitas. _____	57
Figura 12 - Gráfico de Loading (Cargas Fatoriais) das características morfológicas. _____	58
Figura 13 - Dendrograma de dispersão dos indivíduos estudados composta pelos Fatores 1 e 2. _____	59

Capítulo III

Figura 14 - Filtragem de amostra de metazoários. _____	72
Figura 15 - Tipos de casca observados para todas as oito espécies de árvores investigadas. _____	744
Figura 16 - Taxa de precipitação mensal [mm]; (a) correlação linear do volume do caule do tronco [$SF, L y^{-1}$] e taxa de precipitação [P, mm] registrada para as espécies de árvores investigadas (b-i). _____	75

Figura 17 - Regressão entre o volume de amostra de SF (L) coletado de espécies de árvores e abundância de metazoários. r = coeficiente de correlação (correlação de Spearman); p = nível de significância. _____	76
Figura 18 – (a) Abundância média de metazoários [ind L^{-1}], (b) transporte médio de metazoários [ind m^{-2}], (c) transporte médio anual de metazoários [$\text{ind m}^{-2} \text{y}^{-1}$] e (d) transporte anual de metazoários por hectare [ind ha y^{-1}] registrados para oito espécies de árvores. _____	78
Figura 19 - Transporte anual de Arachnida, Collembola e Insecta [$\text{ind ha}^{-1} \text{y}^{-1}$] por SF em oito espécies de árvores. _____	79
Figura 20 - Espécimes de metazoários transportados no escoamento pelo tronco. A. Aranea, B. Acari, C–D. Collembola, E–I. Hymenoptera, J. Hemiptera. _____	800

Capítulo IV

Figura 21 - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba -SP e a localização das respectivas espécies estudadas. _____	94
Figura 22 - Pluviômetro instalado na área de estudo para monitoramento da precipitação em aberto. Sorocaba-SP, 2020. _____	95
Figura 23 - Instalação do sistema de monitoramento do escoamento pelo tronco, Sorocaba-SP, 2019. _____	96
Figura 24 - Amostras de chuva e escoamento pelo tronco (a), obtenção das alíquotas (b) e Cromatógrafo líquido METROHM ECO IC utilizado para a determinação das concentrações (c). _____	97
Figura 25 - Mensuração da profundidade média (a) e números de sulcos (b) da espécie <i>Pinus taeda</i> . _____	99
Figura 26- Precipitação mensal referente aos meses analisados. _____	101
Figura 27- Regressão linear entre a precipitação e a média do escoamento pelo tronco das oito espécies estudadas. _____	101
Figura 28 - Média do total anual do escoamento pelo tronco SF (L y^{-1}) “a” e S_y (mm y^{-1}) “b” de oito (8) espécies florestais entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020. _____	1022
Figura 29 - Boxplots da razão de enriquecimento por área basal (E_{AB}) dos ânions baseadas no SF para cada espécie. ⁴ _____	1044
Figura 30 - Boxplots do enriquecimento CS:CP dos ânions baseadas no SF para cada espécie. ⁴ _____	105

Figura 31 - Boxplots da razão de enriquecimento por área basal (E_{AB}) dos cátions baseadas no SF para cada espécie. ⁴	106
Figura 32 - Boxplots do enriquecimento CS:CP dos cátions baseadas no SF para cada espécie.	106
Figura 33 - Entrada iônica (a e b) média por hectare [kg ha ⁻¹] e total anual [kg ha ⁻¹ y ⁻¹] (c e d) por hectare para um período de 12 meses registrados para 8 espécies florestais.	109

Capítulo V

Figura 34 - Análise da molhabilidade superficial da casca externa. Detalhe da casca e seringa (a) e registro da imagem em software (b); detalhe da gota interagindo com a casca (c).	1277
Figura 35 - Análise química da casca externa. Amostragem de casca externa das árvores selecionadas (a), Cadinhos com amostras de casca na mufla (b), processamento em microscopia eletrônica de varredura – MEV (c).	1288
Figura 36 - Análise química da água escoada pelo tronco. Fluxo do escoamento pelo tronco livre (SF_{livre}) até o solo em meia circunferência do tronco (A) e instalação da mangueira na outra metade da circunferência do tronco com a condução da água para o coletor (SF_{int}) (B).	13030
Figura 37 - Preparação das amostras de solos para análise no cromatógrafo de íons. (a) Filtragem da amostra de solos em peneira, (b-c) alíquotas de 5 ml de amostra e diluição em 50 ml de água ultrapura, (d) amostra filtrada em filtro de celulose de 0,45 μ m.	13131
Figura 38 - Comportamento do ângulo de contato (CA) em função do tempo nas cascas externas das espécies em estudo.	13333
Figura 39 - Enriquecimento na água do escoamento pelo tronco após a interação com a estrutura da árvore.	14444

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros da consulta realizada nas bases de dados Scopus e ScienceDirect. _____ 25

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 - Artigos listados publicados (2015 - 2019) em bancos de dados selecionados. _____ 26

Tabela 2 - Espécies pesquisadas com base nas palavras-chave aqui apresentadas. ____ 33

Capítulo II

Tabela 3 - Características dendrométricas das espécies estudadas em Sorocaba-SP entre os meses de outubro de 2020 a setembro de 2019. _____ 50

Tabela 4 - Características morfológicas das espécies estudadas em Sorocaba-SP entre os meses de outubro de 2020 a setembro de 2019. _____ 51

Tabela 5 - Escoamento pelo tronco (Sy - mm) mensal das oito espécies analisadas entre os períodos de outubro de 2019 a setembro de 2020. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao erro padrão. _____ 513

Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características dendrométricas e o escoamento pelo tronco - Sy (mm); e Spearman entre as características morfológicas e o escoamento pelo tronco - Sy (mm) das espécies analisadas em conjunto. _____ 55

Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características dendrométricas e o escoamento pelo tronco (Sy, mm) das espécies analisadas. ____ 55

Tabela 8 - Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax) e itens comuns das variáveis morfológicas. _____ 57

Tabela 9 - Coeficientes da correlação de Spearman entre o escoamento pelo tronco - Sy (mm) dos scores fatoriais da Estrutura do tronco; Estrutura da copa e Estrutura da casca por diferentes morfologias da casca. _____ 60

Capítulo III

Tabela 9 - Média anual registrada para volume do fluxo do tronco [SF, L], rendimento [Sy, mm], fração [Sf, %], diâmetro à altura do peito (DAP) e relação altura / largura do dossel (H:W). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao erro padrão. _____ 75

Tabela 10 - Abundância anual de metazoários [Di, ind L-1] no escoamento pelo tronco de oito espécies florestais. _____ 77

Tabela 11 - Abundância e transporte de metazoários e SF (L) com base em grupos estruturais. _____ 81

Capítulo IV

Tabela 12 - Tamanho médio do DAP, Apc e H:W das 8 espécies. Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão. _____	95
Tabela 13. Classes de profundidade média de sulco (PMS) e número de sulcos (NS). _____	99
Tabela 14. Modelos de regressão linear entre a precipitação total [P, mm] e a média do escoamento pelo tronco [Sy, mm] das oito espécies estudadas. r = correlação de Pearson. _____	102
Tabela 15. Média ponderada (VWM) da concentração de íons presente na precipitação (P) e escoamento pelo tronco das espécies estudadas, outubro de 2019 à setembro de 2020. _____	103
Tabela 16. Média ponderada da concentração (VWM) de ânions e cátions com base aos resultados de morfologia da casca. _____	108

Capítulo V

Tabela 17 - Espécies monitoradas, e suas respectivas características morfológicas: diâmetro à altura do peito (DAP), geometria da copa (H:W) e textura da casca. Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão. _____	126
Tabela 18. Média (erro padrão) do ângulo de contato inicial (CA _{in}), taxa de decaimento (CA _{rate}), escoamento pelo tronco (SF) e classificação de molhabilidade. _____	134
Tabela 19. Concentração elementar média (%) presente nos teores de cinza das cascas externas das espécies em estudo referente aos meses de outubro de 2019 e abril de 2020. _____	134
Tabela 20. Média da concentração de íons (mg L ⁻¹) do escoamento pelo tronco (SF) das espécies estudadas e da precipitação (P). _____	135
Tabela 21. Concentração de íons (mg L ⁻¹) no solo presente na base das árvores analisadas: escoamento pelo tronco livre (SF _{livre}) e interceptado (SF _{int}). _____	136
Tabela 22. Correlação de Pearson entre as propriedades de molhabilidade da casca e a concentração elementar presente nos teores de cinza das cascas externas por grupos de molhabilidade. _____	137
Tabela 23. Correlação de Pearson / Spearman entre a concentração elementar da casca e concentração de íons no escoamento pelo tronco das espécies. _____	138
Tabela 24. Correlação entre a concentração de íons do escoamento pelo tronco das espécies estudadas e solos onde a água não foi interceptada (SF _{livre}) na base do tronco das árvores. _____	139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1 Objetivos.....	20
1.2 Apresentação dos Capítulos.....	20
CAPÍTULO I : PANORAMA DOS ESTUDOS ACERCA DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO ESCOAMENTO PELO TRONCO SOBRE O SOLO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	22
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1 Análise do tópico principal com base no ano de publicação e continente de origem.....	29
3.2 Análise das palavras-chave.....	30
4 CONCLUSÃO.....	37
5 REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO II : ESCOAMENTO PELO TRONCO E A INFLUÊNCIA DOS FATORES BIOTICOS DAS ÁRVORES EM ÁREA ANTROPIZADA	44
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1 Localização da área em estudo	47
2.2 Variáveis hidrológicas analisadas.....	48
2.3 Fatores bióticos: caracterização dendrométrica e morfológica.....	50
2.4 Análises estatísticas	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4 CONCLUSÃO.....	61
5 REFERÊNCIAS	62
CAPÍTULO III : COMO OS TRAÇOS ESTRUTURAIS DAS ÁRVORES SE RELACIONAM COM O TRANSPORTE DE METAZOÁRIOS ATRAVÉS DO ESCOAMENTO PELO TRONCO?	67
1 INTRODUÇÃO.....	68

2 MATERIAIS E MÉTODOS	70
2.1 Variáveis hidrológicas	71
2.2 Amostragem dos Metazoários	72
2.3 Traços estruturais da árvore.....	73
2.4 Estatísticas dos dados	74
3 RESULTADOS	74
3.1 Abundância de metazoários no escoamento pelo tronco	76
3.2 Comunidade de metazoários no escoamento pelo tronco.....	77
3.3 Metazoários transportados no escoamento pelo tronco (MT).....	78
3.4 Associações entre morfometria de árvore, escoamento pelo tronco e metazoários.....	80
4 DISCUSSÃO.....	81
5 CONCLUSÃO.....	84
REFERENCIAS	85

CAPÍTULO IV : A CASCA COMO COMPONENTE DO ESCOAMENTO PELO TRONCO E FLUXO DE NUTRIENTES: UM ESTUDO PRELIMINAR EM ÁRVORES URBANAS NO BRASIL		90
1 INTRODUÇÃO.....		91
2 MATERIAL E MÉTODOS.....		93
2.1 Localização da área em estudo		93
2.2 Variáveis hidrológicas		95
2.3 Análise química da chuva e escoamento pelo tronco		96
2.4 Entrada de nutrientes e enriquecimento.....		97
2.5 Análise da casca.....		99
2.6 Análises estatísticas		100
3 RESULTADOS		100
3.1 Fluxo hidrológico.....		100
3.2 Fluxo de nutrientes		103
3.3 Associação entre a morfologia da casca e concentrações iônicas		106
3.4 Entrada de nutrientes via escoamento pelo tronco.....		108
4 DISCUSSÃO.....		109
5 CONCLUSÕES.....		115

REFERÊNCIAS	115
CAPÍTULO V : A CASCA COMO ELEMENTO EXPORTADOR DE NUTRIENTES	
VIA ESCOAMENTO PELO TRONCO E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO	122
1 INTRODUÇÃO.....	123
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	125
2.1 Localização da área de estudo	125
2.2 Caracterização física e química da casca externa	126
2.3 Variáveis hidrológicas analisadas	128
2.4 Análise dos solos	130
2.5 Análise química da precipitação, escoamento pelo tronco e solos	130
2.6 Análise dos dados	132
3 RESULTADOS	132
3.1 Ângulo de contato (CA) e molhabilidade da casca	132
3.2 Caracterização química da casca externa.....	134
3.3 Caracterização química da precipitação e escoamento pelo tronco.....	135
3.4 Química do solo na base das árvores	136
3.5 Integração casca-escoamento pelo tronco-solo.....	137
4. DISCUSSÃO.....	139
4.1 A casca como componente do escoamento pelo tronco	139
4.2 Muito além da água: íons também são transferidos para a zona de infiltração do escoamento pelo tronco.	143
5 CONCLUSÃO.....	145
REFERÊNCIAS	146
CAPÍTULO VI: CONCLUSÃO	
GERAL.....	14651

1 INTRODUÇÃO GERAL

As árvores em áreas urbanas têm um efeito significativo para a ecologia integrada do sistema água-florestas-solos das cidades. Sua presença é fundamental para o ciclo da água, além de contribuir para a redução do escoamento superficial, facilitando através da condução das raízes, a infiltração de água no solo e a própria retenção do solo.

A vegetação pode alterar a distribuição espacial vertical e horizontal de água da chuva, dividindo-a em interceptação (I), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (SF) (LLORENS; DOMINGO, 2007), sendo os dois últimos reconhecidos como importantes impulsionadores de processos ecológicos, particularmente para a ciclagem de nutrientes (AUBREY, 2020), além de serem as principais “vias hidrológicas” para o tráfego de partículas que se encontram no dossel das árvores (VAN STAN *et al.*, 2021).

Em especial, o escoamento pelo tronco, expresso como volume de água por unidade de área, geralmente representa uma pequena proporção da precipitação bruta e tem sido frequentemente negligenciada em estudos hidrológicos, podendo variar entre 0,2 a 10% da chuva externa em florestas brasileiras heterogêneas (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013).

O SF é influenciado por um conjunto de fatores bióticos e abióticos. Ainda assim, devido as interações complexas entre esses fatores, o volume de água no escoamento pelo tronco e a sua eficiência ainda são abstrusos (ZHANG *et al.*, 2020). Os principais fatores bióticos que influenciam o SF são a morfologia das árvores, como formato da folha, estrutura e ângulo de inclinação do galho, cobertura por epífita, textura da casca e sua capacidade de retenção de água (LEVIA; GERMER, 2015; ZHANG *et al.*, 2017). Grandes áreas de copa projetadas e maiores copas expostas com ramos inclinados, contribuem para o maior volume do SF (ABOAL *et al.*, 2002; MCKEE; CARLYLE-MOSES, 2017; ZIMMERMANN *et al.*, 2015) da mesma forma, espécies com casca lisa tendem a reter menos água nas cascas, aumentando o seu fluxo (CARLYLE-MOSES; PRICE, 2006; KOICHIRO *et al.*, 2001; REID; LEWIS, 2009).

A água que é canalizada para a base das árvores, tem uma maior concentração de solutos em relação a precipitação interna, representando importante insumo mineral que afeta as propriedades físico-químicas da solução do solo (CHANG; MATZNER, 2000; FALKENGREN-GRERUP, 2000), vegetação rasteira (WITTIG; NEITE, 1985), húmus e sua decomposição (DESCHASEAUX; PONGE, 2001) e micorrizas (HEYSER, 1986). Além disso, a química da água que percorreu o tronco também demonstrou influenciar a composição e

comunidades de fauna e flora presente no tronco das árvores (PARADISE; DUNSO, 1997; SCHMULL *et al.*, 2002). As concentrações de solutos particulados, células microbianas e esporos de fungos transportados pelo caule para o solo estão fortemente ligados à capacidade do dossel em drenar eficientemente as chuvas para o tronco das árvores (LEVIA; GERMER 2015).

Também o escoamento pelo tronco é enriquecido com bactérias presentes nas superfícies das árvores, atmosfera e até a pedosfera (Bittar *et al.*, 2018) e ainda ao conectar habitats de árvores (cascas, musgos, líquens ou orifícios cheios de água) com o solo, o SF pode influenciar a composição de metazoários no solo através da mediação da dispersão orgânica intensiva (PTATSCHECK; MILNE; TRAUNSPURGER, 2018).

O SF é o caminho que a gota de chuva pode percorrer até atingir a superfície do solo, exigindo uma interação entre a chuva e a superfície da casca. Como resultado de muitos mecanismos que podem trocar solutos e partículas entre o dossel e a chuva, o SF pode ser mais quimicamente enriquecido do que a maioria dos outros caminhos da água pelo o dossel (LEVIA; GERMER, 2015).

Interações complexas entre as variáveis que influenciam no escoamento pelo tronco geram grandes dificuldades em determinar como uma única variável afeta a água escoada no tronco nas árvores (LEVIA; GERMER, 2015) de tal maneira que, estudos devem ser realizados com o intuito de entender os mecanismos de captação de água da chuva de espécies florestais em área urbanizada.

Diante do exposto, essa tese busca compreender as seguintes questões:

- (i) Como as características bióticas das árvores urbanas afetam a dinâmica do escoamento pelo tronco?
- (ii) Além da participação no reparticionamento de água da chuva, o escoamento pelo tronco carrega organismos pluricelulares para o solo?
- (iii) Seria a dinâmica de transferência de nutrientes da atmosfera para o solo afetada pela morfologia das espécies florestais?
- (iv) Existe a incorporação de nutrientes pela casca do tronco na água do escoamento pelo tronco e deste para o solo próximo a base das árvores?

Hipóteses testadas:

1. A quantidade de água escoada pelo tronco depende dos componentes morfológicos das espécies estudadas.

2. O escoamento pelo tronco promove o transporte de organismos pluricelulares para o solo e a sua constituição varia de acordo com a morfologia da espécie florestal.
3. O escoamento pelo tronco possui uma participação significativa no transporte de elementos químicos da atmosfera para o solo que, ainda, varia com a constituição química da casca das espécies florestais estudadas.

1.1 Objetivos

Este estudo tem por objetivo geral apresentar os papéis ecohidrológicos da água escoada pelo tronco de árvores pertencentes a área urbana, a fim de verificar a contribuição química, hidrológica e microbiótica para o solo.

São objetivo específicos:

- a) Compreender o padrão do escoamento pelo tronco em 8 espécies arbóreas em função de suas características morfológicas e dendrométricas;
- b) Relacionar o transporte de metazoários através do escoamento pelo tronco com os traços estruturais das espécies arbóreas;
- c) Explorar o entendimento da morfologia de casca para o fluxo de nutrientes no escoamento pelo tronco de árvores urbanas;
- d) Analisar a contribuição física e química da casca das árvores para a química da água que é escoada pelo tronco e sua influência com a química do solo próximos a base do tronco.

1.2 Apresentação dos Capítulos

Os capítulos abaixo se preocupam com os diversos processos que são influenciados no escoamento pelo o tronco, principalmente com as maneiras pelas quais as propriedades químicas e biológicas dos solos são afetadas pela água escoada pelo tronco das árvores contidas em áreas urbanas, tendo a casca como elemento influenciador. Para tanto, o trabalho está dividido em 5 capítulos, sendo eles:

Capítulo I: Panorama dos estudos acerca da influência da composição do escoamento pelo tronco sobre o solo: revisão sistemática da literatura.

Capítulo II: Escoamento pelo tronco e a influência dos fatores bióticos das árvores em área antropizada.

Capítulo III: Como os traços estruturais das árvores se relacionam com o transporte de metazoários através do escoamento pelo tronco?

Capítulo IV: A casca como componente do escoamento pelo tronco e fluxo de nutrientes: um estudo preliminar em árvores urbanas no Brasil.

Capítulo V: A casca como elemento exportador de nutrientes via escoamento pelo tronco e seus efeitos na química do solo.

CAPÍTULO I: PANORAMA DOS ESTUDOS ACERCA DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO ESCOAMENTO PELO TRONCO SOBRE O SOLO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA¹

RESUMO

O estudo analisa sistematicamente a literatura com o intuito de identificar as principais contribuições do estudo de escoamento pelo tronco sobre o fluxo de nutrientes no solo nos últimos anos. A revisão contemplou 47 publicações entre 2015 e 2019. A partir das palavras-chave das publicações encontradas aplicou-se a análise de similitude através do software Iramuteq com auxílio do software R. Foi observado que há uma tendência geral de crescimento de pesquisa nesse tema, principalmente na Ásia, que tiveram um aumento de publicações nos últimos anos. Através do mapa de concorrência das palavras, as palavras “stemflow” e “throughfall” aparecem como termos principais que cria relações de ocorrência com demais palavras, caracterizado com forte relação com as palavras “concentration composition”, “biogeochemical cycle”, “nutrient cycling” e “dissolved organic matter” que, por sua vez, trazem diversas palavras que se relacionam e coocorrem com elas, sendo “soil”, “nitrogen”, “water chemistry”, “nutrient dynamics” e “cations”. Tais resultados demonstram a importância da melhor compreensão sobre as interações entre o escoamento pelo tronco e o fluxo de nutrientes para a manutenção dos solos, sabendo que poucos estudos foram publicados na região neotropical.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Concentração e composição de nutrientes. Hidrologia florestal. Enriquecimento de nutrientes.

OVERVIEW OF STUDIES ON STEMFLOW CHEMISTRY EFFECT ON SOIL: SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT

The study systematically analyses the literature in order to identify the main contributions of the trunk runoff study on the soil nutrient fluxes in recent years. The review included 47 articles published from 2015 to 2019. The aim of the present study is to correlate the main stemflow research subtopics that have contributed to chemical soil enrichment. Correlation analysis was performed in Iramuteq software with the aid of R software, based on keywords in the selected articles. There has been an overall upward trend in research related to stemflow impact on soil nutrient fluxes, mainly in Asia, whose publications have significantly increased over the latest years. Based on the keyword co-occurrence map, “stemflow” and “throughfall” were the main used terms because they established strong correlation to other keywords, mainly to “concentration”, “composition”, “biogeochemical cycle”, “nutrient cycling” and “dissolved organic matter”. These terms, in their turn, were correlated to and co-occurred with several

¹ Artigo no prelo: LIMA, M. T.; TONELLO, C. K.; BRAMORSKI, J.; ARRUDA, M. M.; MATUS, G. N. Overview of studies on stemflow chemistry effect on soil: Systematic review of the literature. Revista Brasileira de Ciências Ambientais - RBCIAMB, v. 57, 2022, ISSN 2176-9478.

other keywords, such as “soil”, “nitrogen”, “water chemistry”, “nutrient dynamics” and “cations”. Such results have demonstrate the importance of a better understanding of the interactions between the stemflow and the the nutrientes flow for soil maintenance, knowing that few studies have been published in the neotropical region.

Keywords: Nutrient cycling. Nutrient concentration and composition. Forest hydrology. Nutrient enrichment.

1 INTRODUÇÃO

Em áreas florestadas, os dosséis desempenham um papel importante na partição da chuva. Durante este processo, há também uma redistribuição do material particulado que é depositado da atmosfera nas superfícies vegetativas e transportado para as camadas do solo por queda direta e fluxo de tronco (CAYUELA *et al.*, 2019). A química do dossel das árvores sofre mudanças quantitativas e qualitativas à medida que interceptam a chuva incidente e reagem com ela. Essas mudanças são causadas principalmente por processos de lavagem de deposição seca e de troca de dossel devido à lixiviação e absorção de folhas (LIU *et al.*, 2019). Precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (SF) são dois caminhos de fluxo de precipitação derivados do dossel à medida que são transferidos para o solo da floresta. O SF tem sido historicamente considerado um componente menor dos balanços hídricos do dossel da floresta em comparação com a precipitação, e foi negligenciado nos primeiros estudos de balanços de água e nutrientes da floresta (LLORENS; DOMINGO, 2007). Tonello *et al.* (2021) resumiram as principais contribuições dos estudos do escoamento pelo tronco nos últimos anos por meio de uma revisão sistemática da literatura, incluindo 375 artigos científicos publicados entre 2006 e 2019. Os autores identificaram que poucos estudos relacionaram os efeitos do escoamento pelo tronco no ciclo biogeoquímico de forma mais ampla. O SF é de importância biogeoquímica em ecossistemas florestados porque é um ponto de entrada espacialmente localizado de água e nutrientes no caule da planta (LEVIA; HERWITZ, 2000; LEVIA; FROST, 2003). O conhecimento das diversas interações do SF no ciclo biogeoquímico, conduz a ações de conservação e restauração mais assertivas.

SF é a chuva absorvida pela copa da floresta e canalizada através de superfícies lenhosas até atingir o solo da floresta. O processo hidrológico de conexão do dossel ao solo tem forte impacto no ciclo biogeoquímico dos ecossistemas florestais. O SF é indiscutivelmente o caminho mais longo que uma gota de chuva pode percorrer para atingir a superfície do solo, exigindo longa interação entre a chuva e as superfícies do dossel (VAN STAN; GORDON, 2018), além de permanecer muito mais tempo nas superfícies das árvores do que outros

processos de chuva; portanto, é uma etapa importante da ciclagem de nutrientes (LEVIA; GERMER, 2015).

A capacidade do SF de lavar a deposição seca e estimular a capacidade de troca iônica leva a fluxos de água mais ricos em nutrientes do que aqueles impulsionados pela precipitação em área aberta (SU *et al.*, 2019). Kumar Gautam, Lee e Song (2017) argumentam que tal processo ajuda a repor os reservatórios de nutrientes do solo, que são uma zona de biodisponibilidade para as plantas.

As propriedades edáficas variam em diferentes áreas de infiltração abaixo do dossel (ABOAL; SAAVEDRA; HERNÁNDEZ-MORENO, 2015) dessa forma, a água interceptada por caules ou troncos de plantas pode contribuir para o crescimento de “ilhas férteis” devido ao seu efeito na área ao redor da base do tronco. SF pode lixiviar grandes concentrações de nutrientes sob certas condições ou não fazer contribuições significativas para o fluxo de nutrientes. Os componentes atmosféricos tendem a se acumular nas copas e caules durante os períodos de seca. Com base na precipitação total e na precipitação interna, o primeiro evento de chuva faz com que os componentes acumulados fluam pelo tronco e aumentem sua concentração (ZHANG *et al.*, 2016).

Uma pesquisa conduzida por Suescún *et al.* (2019) na Colômbia concluiu que mudanças nas condições climáticas, como secas, aumento e piora da degradação florestal natural, podem afetar os ciclos ecohidrológicos e biogeoquímicos das copas das florestas tropicais. Chen *et al.* (2019) estudando a hidrologia do caule e o fluxo de matéria orgânica dissolvida em florestas perenes em uma área urbana no Japão concluíram que o tamanho da árvore é um fator importante que influencia a heterogeneidade dos padrões espaciais de solução química perto dos troncos das árvores.

Portanto o objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura, comparando os principais subtópicos da pesquisa sobre as contribuições do SF para o enriquecimento de nutrientes do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo é uma revisão sistemática da literatura baseada na análise minuciosa da literatura correspondente e na seleção dos artigos mais relevantes sobre o tema avaliado (GUITART; PICKERING; BYRNE, 2014). Palavras-chave “stemflow” (fluxo de água interceptado no tronco ou caule das plantas); “nutrients”; “nutrients fluxe”; “nutrient cycling”, foram inseridas nos bancos de dados ScienceDirect e Scopus a fim de analisar artigos que

associaram stemflow com fluxo de nutrientes (Quadro 1). Foram selecionados artigos científicos, artigos de revisão, livros e capítulos de livros publicados de 2015 a 2019. A consulta foi limitada a publicações em inglês. Os artigos selecionados foram triados, sendo excluídos da pesquisa os que tratavam do SF de plantas agrícolas. Foram identificados os artigos publicados em ambas as bases de dados.

Quadro 1. Parâmetros da consulta realizada nas bases de dados Scopus e ScienceDirect.

<p>Scopus: (TITLE-ABS-KEY (stemflow) AND TITLE-ABS-KEY (nutrients) OR TITLE-ABS-KEY (nutrient AND fluxes) OR TITLE-ABS-KEY (nutrient AND cycling)) AND LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrient Cycling") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Leaching") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrients") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Atmospheric Deposition") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrient Dynamics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Biogeochemistry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Precipitation Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Chemical Composition") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Nutrient") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Soil Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrient Fluxes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Water Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Positive Ions") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Interception") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrient Leaching") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Ions") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Stemflow Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Nutrient Enrichment") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cations")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")).</p> <p>ScienceDirect: "stemflow" AND "nutrients" OR "nutrient fluxes" OR "nutrient cycling"</p>

Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

O tema principal de cada pesquisa foi definido com base nas seções Título, Palavras-chave e Resumo. A análise das palavras-chave de cada artigo selecionado foi realizada no software Iramuteq com auxílio do software R (R Core Team, 2018). Os dados estatísticos foram tratados para mostrar a correlação entre as palavras-chave dos artigos - esta correlação foi representada pela distância espacial, em que cada palavra é um ponto no espaço. Portanto, palavras-chave separadas por distâncias mais curtas e conectadas por linhas mais grossas apresentaram a correlação mais forte. As palavras-chave mais representativas foram destacadas em uma nuvem de palavras apresentando palavras menores ao lado delas (Iramuteq, 2013).

A frequência das palavras-chave de cada artigo foi resumida em uma nuvem de palavras, em que o tamanho das palavras foi proporcional à frequência com que as palavras foram identificadas como tópico principal. Os artigos duplicados encontrados nas duas bases de dados foram considerados apenas uma vez.

Os artigos foram posteriormente agrupados e avaliados com base no ano de publicação e no continente de origem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quarenta e sete (47) artigos foram publicados entre 2015 e 2019: 37 no Scopus e 10 nas bases de dados do Science Direct. Cinco (5) artigos estão listados nas bases de dados Scopus e Science Direct. Assim, o número total de artigos distintos é de 42 artigos: 32 artigos em Scopus e 5 artigos em bancos de dados ScienceDirect (Tabela 1).

Tabela 1 - Artigos listados publicados (2015 - 2019) em bancos de dados selecionados.

	Authors	Title	Periodic
Scopus			
1	Álvarez-Sánchez <i>et al.</i> (2016)	Inorganic nitrogen and phosphorus in stemflow of the palm <i>Astrocaryum mexicanum</i> Liebm. located in Los Tuxtlas, Mexico	<i>Tropical Ecology</i>
2	Bade <i>et al.</i> (2015)	Chemical properties of decaying wood in an old-growth spruce forest and effects on soil chemistry	<i>Biogeochemistry</i>
3	Bigelow and Canham (2017)	Neighborhood-Scale Analyses of Non-additive Species Effects on Cation Concentrations in Forest Soils	<i>Ecosystems</i>
4	Bittar <i>et al.</i> (2018)	Estimation of throughfall and stemflow bacterial flux in a subtropical oak-cedar forest	<i>Geophysical Research Letters</i>
5	Cayuela <i>et al.</i> (2019)	Particulate matter fluxes in a Mediterranean mountain forest: interspecific differences between throughfall and stemflow in oak and pine stands	<i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>
6	Chen <i>et al.</i> (2019)	Mediation of stemflow water and nutrient availabilities by epiphytes growing above other epiphytes in a subtropical forest	<i>Ecohydrology</i>
7	Chen <i>et al.</i> (2019)	Stemflow hydrology and DOM flux in relation to tree size and rainfall event characteristics	<i>Agricultural and Forest Meteorology</i>
8	Deng <i>et al.</i> (2017)	Effects of canopy interception on epikarst water chemistry and its response to precipitation in Southwest China	<i>Carbonates Evaporites</i>
9	Duval (2019)	Rainfall partitioning through a mixed cedar swamp and associated C and N fluxes in Southern Ontario, Canada	<i>Hydrological Processes</i>
10	Fukushima <i>et al.</i> (2015)	Influence of strip thinning on nutrient outflow concentrations from plantation forested watersheds	<i>Hydrological Processes</i>

11	Levia and Germer (2015)	A Review of Stemflow Generation Dynamics and Stemflow-Environment Interactions in Forests and Shrublands.	<i>Reviews of Geophysics</i>
12	Li et al. (2017)	Abiotic processes are insufficient for fertile island development: A 10-year artificial shrub experiment in a desert grassland	<i>Geophysical Research Letters</i>
13	Limpert and Siegert (2019)	Interspecific Differences in Canopy-Derived Water, Carbon, and Nitrogen in Upland Oak-Hickory Forest	<i>Forests</i>
14	Liu et al. (2019)	Base Cation Fluxes from the Stemflow in Three Mixed Plantations in the Rainy Zone of Western China	<i>Forests</i>
15	Lombardo et al. (2018)	Organic carbon fluxes by precipitation, throughfall and stemflow in an olive orchard in Southern Spain	<i>Plant Biosystems</i>
16	Lu et al. (2016)	Nutrient characteristics of throughfall and stemflow in the natural forest of <i>Pinus densata</i> in the Tibetan plateau	<i>Phyton</i>
17	Lu et al. (2017)	Nutrient Fluxes in Rainfall, Throughfall, and Stemflow in <i>Pinus densata</i> Natural Forest of Tibetan Plateau	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
18	Michalzik et al. (2016)	Effects of aphid infestation on the biogeochemistry of the water routed through European beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) saplings	<i>Biogeochemistry</i>
19	Rehmus et al. (2017)	Aluminum cycling in a tropical montane forest ecosystem in southern Ecuador	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
20	Rice et al. (2016)	Role of riparian areas in atmospheric pesticide deposition and its potential effect on water quality	<i>Journal of the American Water Resources Association</i>
21	Rosier et al. (2016)	Seasonal dynamics of the soil microbial community structure within the proximal area of tree boles: Possible influence of stemflow	<i>European Journal of Soil Biology</i>
22	Rossi e Ares (2016)	Overland flow from plant patches: Coupled effects of preferential infiltration, surface roughness and depression storage at the semiarid Patagonian Monte	<i>Journal of Hydrology</i>
23	Siegert et al. (2017)	Do storm synoptic patterns affect biogeochemical fluxes from temperate deciduous forest canopies?	<i>Biogeochemistry</i>
24	Su et al. (2019)	Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest	<i>Forests</i>
25	Suescún et al. (2018)	ENSO and rainfall seasonality affect nutrient exchange in tropical mountain forests	<i>Ecohydrology</i>
26	Sun et al. (2015)	Variation characteristics of nitrogen concentrations through forest hydrologic subcycles in various forests across mainland China	<i>Environmental Technology</i>
27	Thieme et al. (2019)	Dissolved organic matter characteristics of deciduous and coniferous forests with variable management: different at the source, aligned in the soil	<i>Biogeosciences</i>
28	Türtscher et al. (2019)	Reconstructing Soil Recovery from Acid Rain in Beech (<i>Fagus sylvatica</i>) Stands of the Vienna Woods as Indicated by Removal of Stemflow and Dendrochemistry	<i>Water Air Soil Pollut</i>
29	Van Stan e Stubbins (2018)	Tree-DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow	<i>Limnology and Oceanography Letters</i>

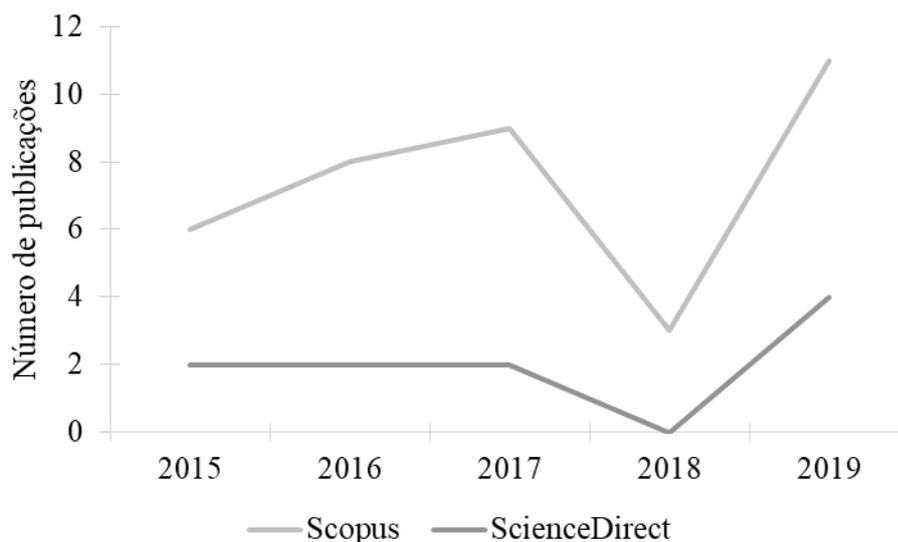
30	Vandecar <i>et al.</i> (2015)	Phosphorus input through fog deposition in a dry tropical forest	<i>Journal of Geophysical Research: Biogeosciences</i>
31	Yuan <i>et al.</i> (2017)	Comparisons of stemflow and its bio-/abiotic influential factors between two xerophytic shrub species	<i>Hydrology and Earth System Sciences</i>
32	Zhang <i>et al.</i> (2016)	Variations of Nutrients in Gross Rainfall, Stemflow, and Throughfall Within Revegetated Desert Ecosystems	<i>Water, Air, and Soil Pollution</i>
ScienceDirect			
1	Attarod <i>et al.</i> (2019)	Replacing an oriental beech forest with a spruce plantation impacts nutrient concentrations in throughfall, stemflow, and O layer	<i>Forest Systems</i>
2	Rosier <i>et al.</i> (2015)	Forest canopy precipitation partitioning: an important plant trait influencing the spatial structure of the symbiotic soil microbial community	<i>Science of the Total Environment</i>
3	Shengqi <i>et al.</i> (2019)	Retracted: Study on the throughfall, stemflow, and interception of two shrubs in the semiarid Loess region of China	<i>Agricultural and Forest Meteorology</i>
4	Wilcke <i>et al.</i> (2019)	Temporal Trends of Phosphorus Cycling in a Tropical Montane Forest in Ecuador During 14 Years	<i>Journal of Geophysical Research: Biogeosciences</i>
5	Wang <i>et al.</i> (2019)	Dissolved Organic Matter Characteristics and Important Site Factors in a Subtropical Mountain Forest in Central China	<i>Forest Science</i>
Scopus and ScienceDirect			
1	Berger <i>et al.</i> (2016)	A slight recovery of soils from Acid Rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (<i>Fagus sylvatica</i>) at 97 forest stands of the Vienna Woods	<i>Environmental Pollution</i>
2	Schooling <i>et al.</i> (2017)	Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada	<i>Urban Forestry & Urban Greening</i>
3	Schwendenmann e Michalzik (2019)	Dissolved and particulate carbon and nitrogen fluxes along a <i>Phytophthora agathidicida</i> infection gradient in a kauri (<i>Agathis australis</i>) dominated forest	<i>Fungal Ecology</i>
4	Türtscher <i>et al.</i> (2017)	Declining atmospheric deposition of heavy metals over the last three decades is reflected in soil and foliage of 97 beech (<i>Fagus sylvatica</i>) stands in the Vienna Woods	<i>Environmental Pollution</i>
5	Van Stan II e Pypker (2015)	A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation	<i>Science of the Total Environment</i>

Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

3.1 Análise do tópico principal com base no ano de publicação e continente de origem.

Embora tenha havido tendência de aumento nos artigos da Scopus de 2015 a 2017, ela caiu drasticamente em 2018. Ainda assim, o número de artigos publicados aumentou em 2019. O número de artigos da ScienceDirect permaneceu estável de 2015 a 2017; foi seguido de queda em 2018 e aumento no último ano analisado (2019) (Figura 1).

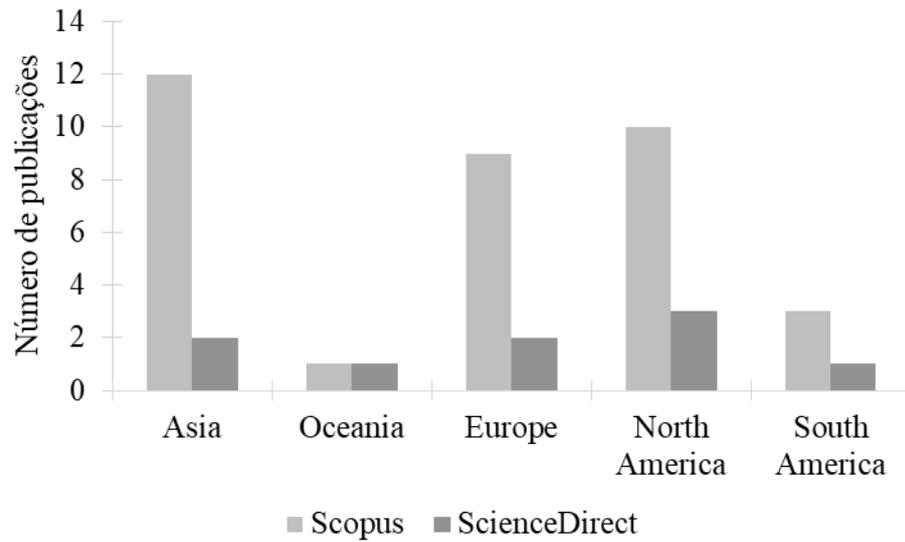
Figura 1 - Distribuição do número de publicações por ano.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

Além disso, as bases de dados Scopus e ScienceDirect mostraram que a Ásia foi o continente responsável pelo maior número de publicações sobre o tema aqui abordado nos últimos 5 anos; seguido pela América do Norte (Figura 2). Por outro lado, Oceania e América do Sul registraram o menor número de artigos publicados. Sabendo que a América do Sul é pertencente a região neotropical a qual possui alta biodiversidade, esta informação revelou a importância de se estudar as interações entre o escoamento pelo tronco e o fluxo de nutrientes para a manutenção da biodiversidade já que poucos estudos foram publicados nessa região.

Figura 2 - Distribuição do número de publicações por continente.

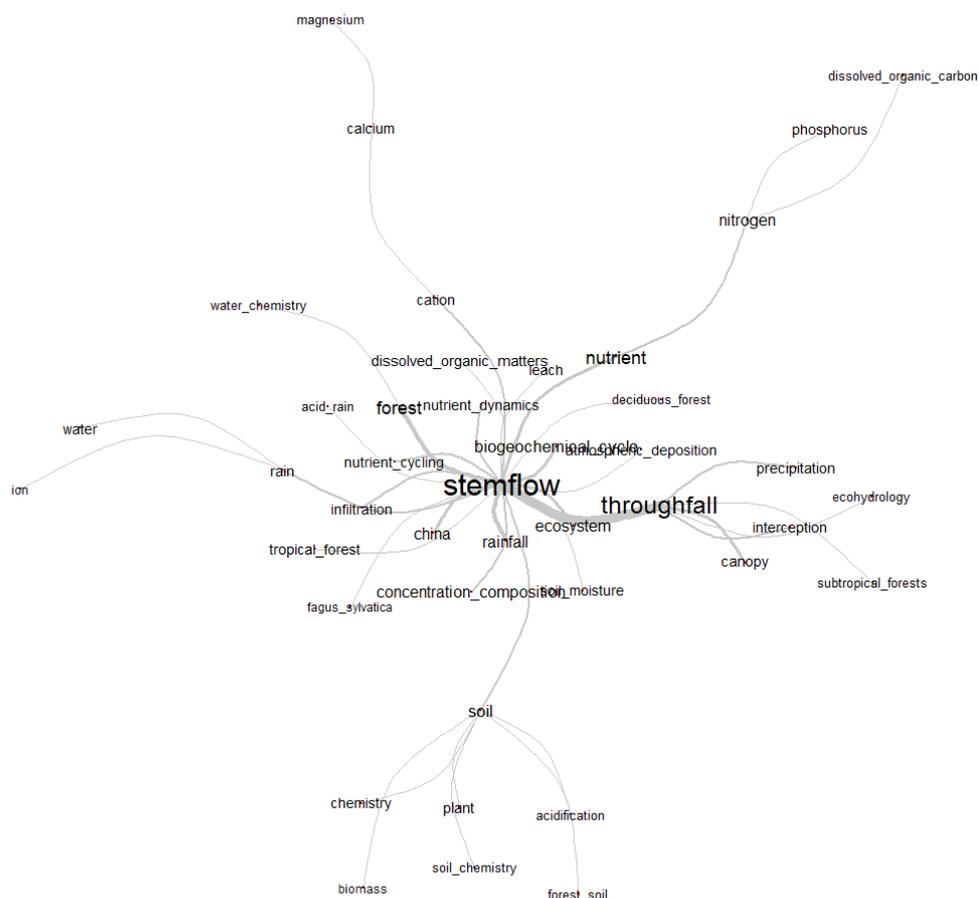


Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

3.2 Análise das palavras-chave

A análise de palavras-chave baseada na Teoria dos Grafos permite identificar a frequência de uma determinada palavra e os sinais de conectividade entre as palavras, o que ajuda a identificar a estrutura do conteúdo do corpus do texto (Figura 3). “Stemflow” e “Throughfall” foram as duas palavras que mais se destacaram entre os artigos selecionados e estão destacadas no meio desta estrutura. Eles se ramificam na estrutura por serem altamente correlacionados com outros termos, como “forest” e “nutrient”.

Figura 3 - Conjunto de palavras-chave de pesquisas sobre o efeito do SF sobre o fluxo de nutrientes do solo, com base na análise de coocorrência.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

De forma geral, pode-se inferir que a literatura aqui discutida, além de apresentar referências inerentes ao SF ao processo de precipitação interna, também reconheceu o SF como importante canal de entrada de nutrientes no solo florestal. Ainda assim, existem outros aspectos essenciais para a ampla compreensão do tema aqui abordado. O cluster “stemflow” foi correlacionado a termos como “concentration”, “chemistry”, “biogeochemical cycle” e “nutrient dynamics”, enquanto o cluster “throughfall” englobou palavras como “ecohydrology” e “interception”.

Assim, tanto o SF quanto a Pi participam da dinâmica dos nutrientes, uma vez que alteram a química da água da chuva que desce pelas copas das árvores contribuem para a ciclagem biogeoquímica ao transportar nutrientes para o solo. Schooling *et al.* (2017) e Zhang *et al.* (2016) mostraram que os ciclos de água da Pi e do SF são os principais impulsionadores

dos processos do ecossistema, principalmente da ciclagem de nutrientes. Su *et al.* (2019) argumentam que a chuva é uma das principais fontes de insumos químicos nos ecossistemas florestais; portanto, compreender a ciclagem de nutrientes e os fluxos hidroquímicos dos ecossistemas florestais é essencial para gerenciar sua dinâmica. Attarod *et al.* (2019), demonstrou que a mudança de uma floresta natural de faias para uma plantação de abetos altera significativamente os fluxos de nutrientes lixiviados do dossel e fornece informações essenciais sobre como o plantio de espécies exóticas afeta os ciclos de nutrientes.

O cluster “stemflow” também foi composto por palavras como “leach”, “ion” e “water chemistry”, uma vez que SF é rico em soluções de lixiviado de folhas, ramos e caules (ABOAL; SAAVEDRA; HERNÁNDEZ-MORENO, 2015). Além disso, seu tempo de residência na água na superfície das árvores é muito mais longo do que o de outros processos de interceptação. Portanto, SF é um processo chave na ciclagem de nutrientes (LEVIA; GERMER, 2015).

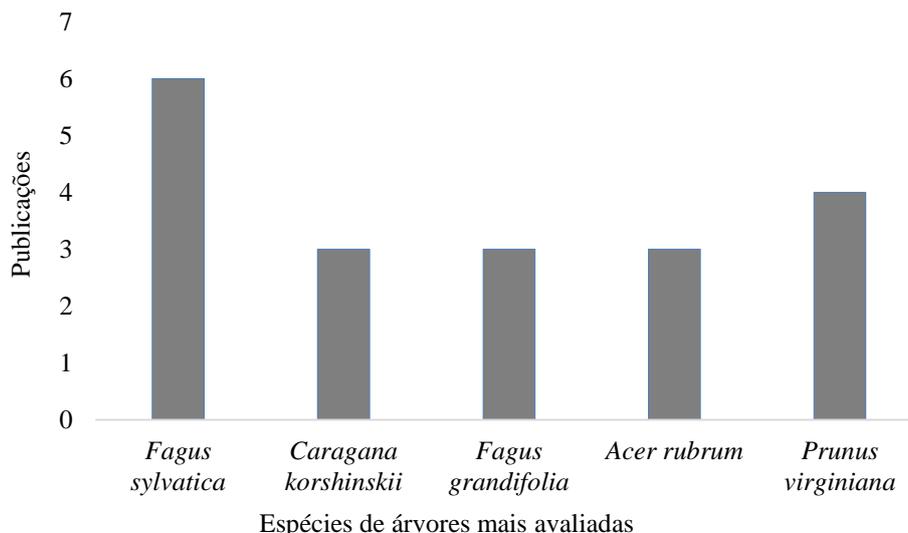
Vários fatores podem afetar a concentração e o fluxo de nutrientes das copas das árvores e caules para o solo, tais como: volume e intensidade da chuva; estações secas anteriores às chuvas; sazonalidade. Esses fatores são importantes porque podem alterar os processos de diluição e lixiviação dos minerais acumulados nas copas das árvores e caules (SIEGERT *et al.*, 2017). No entanto, a química do solo também pode afetar a ciclagem de nutrientes pelas árvores e, conseqüentemente, afetar as taxas de lixiviação dos mesmos nutrientes no tecido vegetal (ABOAL; SAAVEDRA; HERNÁNDEZ-MORENO, 2015). Chen *et al.* (2019), sugerem que o tamanho da árvore também é um fator importante que afeta a heterogeneidade dos padrões espaciais da química da solução do solo perto dos troncos das árvores.

O cluster “stemflow” compreende o subaglomerado “soil”, que é composto por palavras que validam a importância do SF para a entrada de nutrientes no solo, como “chemistry”, “soil chemistry”, entre outras. Deng *et al.* (2019) demonstram que a precipitação mostra um fenômeno de enriquecimento de ácido e nutrientes após a interceptação pelo dossel. Levia e Germer (2015) afirmam que o SF tem sido cada vez mais reconhecido como um processo importante para o fornecimento de água e nutrientes a áreas espaciais de solo florestal. As partículas de SF permanecem nas superfícies das árvores por muito mais tempo do que as partículas transportadas por outros processos de interceptação de chuva; portanto, é o caminho chave na ciclagem de nutrientes.

O termo “*Fagus sylvatica*” também se destaca das palavras interconectadas pertencentes ao cluster “stemflow”. *Fagus sylvatica*, *Fagus grandifolia*, *Prunus virginiana*, *Caragana korshinskii* e *Acer rubrum* (Figura 4) foram as cinco espécies mais avaliadas associadas à

ciclagem de nutrientes; no entanto, os artigos selecionados concentraram-se principalmente nas espécies *Fagus sylvatica* (THIEME *et al.*, 2019; BERGER *et al.*, 2016; MICHALZIK *et al.*, 2016; TÜRTSCHER; GRABNER; BERGER, 2019). *Fagus sylvatica*, também conhecida como faia europeia, é uma das espécies de árvores mais comuns na Europa; é distribuído na Europa Central e Ocidental.

Figura 4 - Cinco espécies mais avaliadas com base no fluxo de tronco e ciclagem de nutrientes.



Fonte: Lima *et al.* (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

Não houve nenhum estudo que fornecesse uma visão geral da importância do SF para a ciclagem de nutrientes nas espécies de plantas brasileiras existentes e na diversidade do bioma. *Tabebuia chrysantha*, *Cedrela odorata*, *Ocotea aciphylla* e *Larrea divaricata* foram as espécies mais amplamente distribuídas no Brasil; ainda, as outras espécies estavam ausentes ou difíceis de encontrar (Tabela 2).

Tabela 2 - Espécies pesquisadas com base nas palavras-chave aqui apresentadas.

Autores	Espécies
Cayuela <i>et al.</i> (2019)	<i>Quercus pubescens</i> , <i>Pinus sylvestris</i>
Chen S. <i>et al.</i> (2019)	<i>Castanopsis cuspidata</i>
Duval (2019)	<i>Thuja occidentalis</i> , <i>Abies balsamea</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Fraxinus nigra</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Alnus glutinosa</i>
Limpert e Siegert (2019)	<i>Quercus alba</i> , <i>Quercus stellata</i> , <i>Quercus pagoda</i> , <i>Quercus shumardii</i> , <i>Carya ovata</i> , <i>Carya glabra</i>

Liu <i>et al.</i> (2019)	<i>Cryptomeria fortunei</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Phoebe zhennan</i> , <i>Camptotheca acuminata</i> , <i>Padus racemosa</i> , <i>Pterocarya stenoptera</i> , <i>Michelia wilsonii</i> , <i>Cryptomeria fortune</i> , <i>Alnus remastogyne</i>
Schwendenmann e Michalzik (2019)	<i>Agathis australis</i>
Su <i>et al.</i> (2019)	<i>Cyclobalanopsis multinervis</i> , <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i> , <i>Fagus engleriana</i> , <i>Quercus serrata</i>
Suescún <i>et al.</i> (2019)	<i>Quercus humboldtii</i>
Türtscher <i>et al.</i> (2019)	<i>Fagus sylvatica</i>
Attarod <i>et al.</i> (2019)	<i>Fagus orientalis</i> , <i>Picea abies</i>
Thieme <i>et al.</i> (2019)	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pinus sylvestris</i>
Jian <i>et al.</i> (2019)	<i>Caragana korshinskii</i> , <i>Hippophae rhamnoides</i>
Chen L. <i>et al.</i> (2019)	<i>Phoebe formosana</i> , <i>Machilus zuihoensis</i> , <i>Neolisteia konishii</i> , <i>Pasania hancei</i>
Bittar <i>et al.</i> (2018)	<i>Quercus virginiana</i> , <i>Juniperus virginiana</i>
Bigelow e Canham (2017)	<i>Acer saccharum</i> , <i>Fraxinus americana</i> , <i>Fagus grandifolia</i> , <i>Acer rubrum</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Tsuga canadensis</i> , <i>Acer pensylvanicum</i> , <i>Malus pumila</i> , <i>Carpinus caroliniana</i> , <i>Crataegus brainerdii</i> , <i>Ostrya virginiana</i> , <i>Hamamelis virginiana</i> , <i>Prunus virginiana</i> , <i>Carya ovata</i> , <i>Prunus serotina</i> , <i>Picea rubens</i> , <i>Pinus strobus</i> , <i>Betula populifolia</i> , <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>Betula papyrifera</i>
Lu <i>et al.</i> (2017)	<i>Pinus densata</i>
Rehmus <i>et al.</i> (2017)	<i>Purdiaea nutans</i> , <i>Alchornea pearcei</i> , <i>Graffenrieda emarginata</i> , <i>Podocarpus oleifolius</i> , <i>Alazatea verticilata</i> , <i>Clusia ducoides</i> , <i>Hyeronima moritziana</i> , <i>Ocotea aciphylla</i> , <i>Ocotea bentamiana</i> , <i>Miconia</i> , <i>Elaeagia</i> , <i>Matayba inelegans</i> , <i>Prunus opaca</i> , <i>Cedrela odorata</i> , <i>Heliocarpus americanus</i> , <i>Tabebuia chrysantha</i>
Siegert <i>et al.</i> (2017)	<i>Fagus grandifolia</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>
Schooling <i>et al.</i> (2017)	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>Prunus virginiana</i> , <i>Acer rubrum</i> , <i>Fraxinus pennsylvanica</i> , <i>Quercus macrocarpa</i> , <i>Acer freemanii</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Quercus palustris</i>
Türtscher <i>et al.</i> (2017)	<i>Fagus sylvatica</i>
Kaushal <i>et al.</i> (2017)	<i>Morus alba</i>
Michalzik <i>et al.</i> (2016)	<i>Fagus sylvatica</i>
Zhang <i>et al.</i> (2016)	<i>Caragana korshinskii</i> , <i>Artemisia ordosica</i>
Rice <i>et al.</i> (2016)	<i>Acer rubrum</i> , <i>Symplocarpus foetidus</i> , <i>Impatiens pallida</i>
Alvarez-Sanchez <i>et al.</i> (2016)	<i>Astrocaryum mexicanum</i>
Berger <i>et al.</i> (2016)	<i>Fagus sylvatica</i>
Lu <i>et al.</i> (2016)	<i>Pinus densata</i>
Rosier <i>et al.</i> (2016)	<i>Fagus grandifolia</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>

Rossi e Ares (2016)	<i>Schinus johnstonii</i> , <i>Pappostipa speciosa</i> , <i>Chuquiraga avellaneda</i> , <i>Larrea divaricata</i>
Fukushima <i>et al.</i> (2015)	<i>Chamaecyparis obtuse</i> , <i>Cryptomeria japonica</i>
Aboal <i>et al.</i> (2015)	<i>Morella faya</i> , <i>Laurus novocanariensis</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Persea indica</i> , <i>Ilex perado</i>
Bade <i>et al.</i> (2015)	<i>Picea abies</i>

Fonte: Lima *et al.* (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

O termo “atmospheric deposition” se destacou no agrupamento de palavras “stemflow”. Cayuela *et al.* (2019) argumenta que o material particulado atmosférico é redistribuído e depositado nas folhas das plantas antes de serem transportados para as camadas do solo através de SF e TF (throughfall), o artigo ainda avaliou os componentes e características dos solutos SF e TF da floresta de *Pinus densata* no Platô do Tibete; seus resultados sugerem que a deposição atmosférica desempenha um papel importante no fornecimento de nutrientes ao solo ao redor das árvores. Türtscher *et al.* (2017) usaram SF para estudar o legado da deposição de metais pesados na atmosfera. Os resultados das medições feitas a partir da contaminação por metais pesados em árvores *Fagus sylvatica* em Viena mostraram níveis críticos de metais pesados em microlocais afetados por SF.

Ainda, o termo “soil moisture” no “stemflow” indica que SF se torna uma fonte de umidade para o solo. A pesquisa de Jian *et al.* (2019) em regiões áridas confirmou que o SF tem efeito positivo no balanço de umidade do solo na zona radicular; além disso, pode melhorar a umidade e a estrutura do solo em camadas mais profundas. Estudos realizados por Rosier *et al.* (2016) sugerem que o SF aumenta e altera as condições edáficas do solo ao redor dos troncos de árvores individuais, como umidade, pH e nutrientes minerais (Al, Cu, K, Mn) disponíveis para as plantas. No entanto, os efeitos do SF podem variar especificamente entre as espécies e espécimes. Este fato explica supostamente as diferenças estruturais na comunidade microbiana do solo ao redor dos troncos das árvores.

A análise dos artigos que abordam matéria orgânica dissolvida (DOM) foi baseada tanto no cluster “stemflow” e em seus subclusters, principalmente “cátions”, “calcium” e “magnesium”. O carbono orgânico dissolvido (DOC) faz parte do subclusters “nitrogênio”. DOM é importante para o transporte vertical e horizontal de nutrientes em ecossistemas florestais (WANG *et al.*, 2019). Os recursos do DOM durante a lixiviação podem variar muito, dependendo do tipo de floresta; esta variabilidade é mais evidente quando há mudanças nas folhas sazonais e nas condições de chuva (VAN STAN; STUBBINS, 2018; CHEN *et al.*, DUVAL, 2019). O DOM faz parte dos ciclos biogeoquímicos do carbono e dos nutrientes, pois carrega íons e estimula o crescimento do solo. Tanto a concentração química quanto suas

propriedades no caminho do fluxo de água dos ecossistemas florestais dependem do local de amostragem e dos processos de transformação (THIEME *et al.*, 2019).

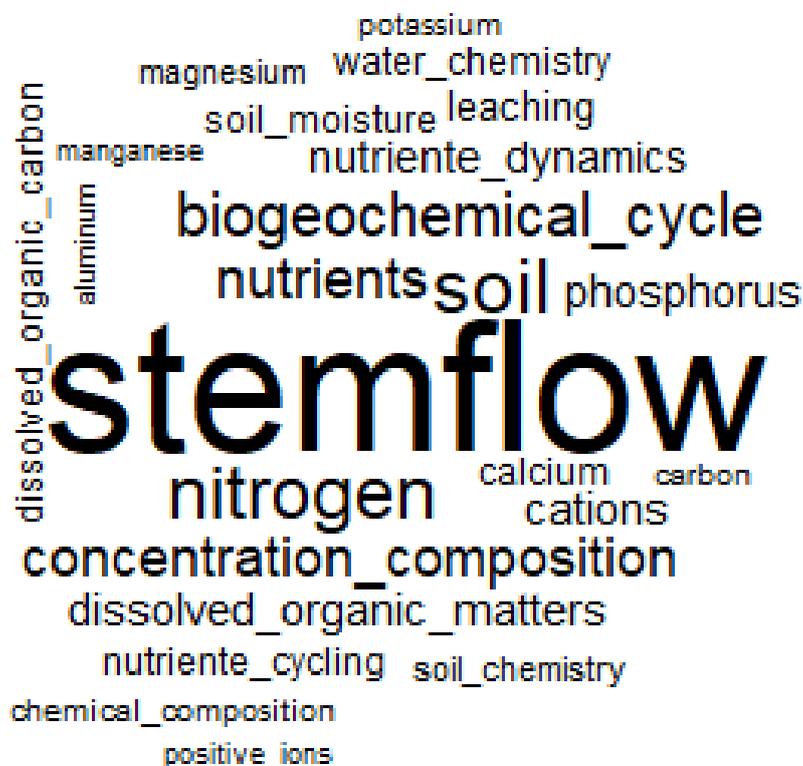
Uma pesquisa conduzida por Schwendenmann e Michalzik (2019) demonstrou que os seguintes dados também são medidos para avaliar o status do ciclo de nutrientes durante os processos de restauração florestal: entrada e saída de água no ecossistema; coeficientes de lixiviação e migração de água DOC; fluxo de nitrogênio.

A palavra “phosphorus” se destaca no subcluster “nitrogen”. A deposição atmosférica pode aumentar significativamente a quantidade de fósforo (P) disponível no solo de muitas florestas tropicais - o fósforo é considerado um nutriente limitante. Esse efeito ocorre devido ao aumento da deposição de partículas de aerossol ricas em P (deposição seca) e gotículas de névoa (deposição úmida) na superfície da folha (VANDECAR *et al.* 2015). Os resultados da pesquisa realizada por Álvarez-Sanchez (2016) sobre a palmeira *Astrocaryum mexicanum* implicaram que seu SF é uma via importante para a entrada de P e nitrogênio no solo.

Os termos “subtropical forests” e “tropical forest” constituem o subclusters “throughfall” e “stemflow”, respectivamente, e a palavra “China” é destacada perto do cluster “stemflow”. Apesar do crescente número de publicações sobre o tema aqui abordado, a maior parte delas provém da China, cuja vegetação é constituída em sua maioria por florestas subtropicais. Assim, o número de estudos realizados em florestas tropicais ainda é insuficiente. Esta afirmação é corroborada pelo fato de que as palavras-chave inseridas não apresentaram resultados de estudos realizados no Brasil, apenas no Equador e na Colômbia. Assim, permanece a lacuna de conhecimento sobre o papel desempenhado por diferentes espécies no ciclo biogeoquímico - principalmente no processo de escoamento do tronco - das florestas tropicais.

A nuvem de palavras gerada a partir de artigos publicados principalmente com foco em FS foi analisada a fim de fundamentar a análise anterior. Os resultados mostraram que as palavras-chave mais comuns foram “stemflow”, “nitrogen”, “concentration”, “composition”, “biogeochemical cycle”, “dissolved organic matter”, “soil nutrients” e “atmospheric deposition”. Tais resultados enfatizam a importância do fluxo do caule para a lixiviação de nutrientes, uma vez que o SF melhora a disponibilidade de íons no solo (Figura 5).

Figura 5 - Nuvem de palavras mostrando os principais tópicos associados à dinâmica de nutrientes orientada por SF.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

4 CONCLUSÃO

O escoamento pelo tronco é um componente fundamental para a lixiviação de nutrientes, uma vez que melhora a disponibilidade de íons no solo. Poucos estudos forneceram uma visão geral da importância do escoamento pelo tronco para a ciclagem de nutrientes nas espécies de plantas brasileiras e na diversidade dos biomas pertencentes a região neotropical. Com base nas bases de dados pesquisadas, quarenta e sete (47) artigos foram publicados entre 2015 e 2019, trinta e sete (37) em bases de dados Scopus e 10 em bases de dados Science Direct. Cinco (5) artigos estão listados nas bases de dados Scopus e Science Direct. A Ásia foi responsável pela maior parte das publicações relacionadas ao referido tema de acordo aos anos estudados, enquanto as pesquisas sul-americanas sobre o papel de diferentes espécies no escoamento pelo tronco - principalmente durante o ciclo biogeoquímico - ainda são escassas. A pesquisa sobre o efeito do SF na ciclagem biogeoquímica e na dinâmica do solo permanece escassa e o entendimento completo ainda requer muitos estudos adicionais.

REFERÊNCIAS

- ABOAL, J. R.; SAAVEDRA, S.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M. Edaphic heterogeneity related to below-canopy water and solute fluxes in a Canarian laurel forest, **Plant and Soil**, v. 387, n. 1–2, p. 177–188, fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2285-4>. Acesso em: 31 out. 2021.
- ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J. *et al.* Inorganic nitrogen and phosphorus in stemflow of the palm *Astrocaryum mexicanum* Liebm. Located in Los Tuxtlas, Mexico. **Tropical Ecology**, v. 57, n. 1, p. 45–55, 2016. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163001179>. Acesso em: 31 out. 2021.
- ATTAROD, P. *et al.* Replacing an oriental beech forest with a spruce plantation impacts nutrient concentrations in throughfall, stemflow, and O layer. **Forest Systems**, v. 28, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14782>. Acesso em: 31 out. 2021.
- BADE, C. *et al.* Chemical properties of decaying wood in an old-growth spruce forest and effects on soil chemistry. **Biogeochemistry**, v. 122, n. 1, p. 1–13, 7 jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-014-0015-x>. Acesso em: 31 out. 2021.
- BERGER, T. W. *et al.* A slight recovery of soils from Acid Rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (*Fagus sylvatica*) at 97 forest stands of the Vienna Woods. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 624–635, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.024>. Acesso em: 31 out. 2021.
- BIGELOW, S.; CANHAM, C. Neighborhood-Scale Analyses of Non-additive Species Effects on Cation Concentrations in Forest Soils. **Ecosystems**, v. 20, n. 7, p. 1351–1363, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0116-1>. Acesso em: 31 out. 2021.
- BITTAR, T. B. *et al.* Estimation of Throughfall and Stemflow Bacterial Flux in a Subtropical Oak-Cedar Forest. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 3, p. 1410–1418, 16 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017GL075827>. Acesso em: 31 out. 2021.
- CAYUELA, C. *et al.* Particulate Matter Fluxes in a Mediterranean Mountain Forest: Interspecific Differences Between Throughfall and Stemflow in Oak and Pine Stands. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 9, p. 5106–5116, 16 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019JD030276>. Acesso em: 31 out. 2021.
- CHEN, L. *et al.* Mediation of stemflow water and nutrient availabilities by epiphytes growing above other epiphytes in a subtropical forest. **Ecohydrology**, v. 12, n. 7, 7 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.2140>. Acesso em: 31 out. 2021.
- CHEN, S. *et al.* Stemflow hydrology and DOM flux in relation to tree size and rainfall event characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 279, p. 107753, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107753>. Acesso em: 31 out. 2021.
- DENG, Y. *et al.* Effects of canopy interception on epikarst water chemistry and its response to precipitation in Southwest China. **Carbonates and Evaporites**, v. 34, n. 2, p. 273–282, 9

jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13146-017-0379-9>. Acesso em: 31 out. 2021.

DESCHASEAUX, A. *et al.* “Changes in the composition of humus profiles near the trunk base of an oak tree (*Quercus petraea* (Mattus.) Liebl.)” **European Journal of Soil Biology** 37 (2001): 9-16. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01064-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01064-0). Acesso em: 31 out. 2021.

DUVAL, T. P. Rainfall partitioning through a mixed cedar swamp and associated C and N fluxes in Southern Ontario, Canada. **Hydrological Processes**, v. 33, n. 11, p. 1510–1524, 30 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.13414>. Acesso em: 31 out. 2021.

FALKENGREN-GRERUP, U. Soil acidification and vegetation changes in deciduous forest in southern Sweden. *Oecologia* 70, 339–347 (1986). <https://doi.org/10.1007/BF00379494>. Acesso em: 31 out. 2021.

FUKUSHIMA, T. *et al.* Influence of strip thinning on nutrient outflow concentrations from plantation forested watersheds. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 24, p. 5109–5119, 29 nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.10570>. Acesso em: 31 out. 2021.

GUITART, D. A.; PICKERING, C. M.; BYRNE, J. A. Color me healthy: Food diversity in school community gardens in two rapidly urbanising Australian cities. **Health & Place**, v. 26, p. 110–117, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.12.014>. Acesso em: 31 out. 2021.

HEYSER, R *et al.* Paxillus involutus mycorrhiza attenuate NaCl-stress responses in the salt-sensitive hybrid poplar *Populus×canescens*. *Mycorrhiza* (2007). 17. 121-31. [10.1007/s00572-006-0084-3](https://doi.org/10.1007/s00572-006-0084-3). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-006-0084-3> . Acesso em: 31 out. 2021.

JIAN, S. *et al.* The effects of stemflow on redistributing precipitation and infiltration around shrubs. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 66, n. 1, p. 79–86, 1 mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0043>. Acesso em: 31 out. 2021.

KUMAR GAUTAM, M.; LEE, K. S.; SONG, B. Y. Deposition pattern and throughfall fluxes in secondary cool temperate forest, South Korea. **Atmospheric Environment**, v. 161, p. 71–81, 1 jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.030>. Acesso em: 31 out. 2021.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, n. 1–4, p. 1–29, abr. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2). Acesso em: 31 out. 2021.

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p. 673–714, 1 set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>. Acesso em: 31 out. 2021.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 4, p. 662–666, 1 abr. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x99-244>. Acesso em: 31 out. 2021.

LI, J. *et al.* Abiotic processes are insufficient for fertile island development: A 10-year artificial shrub experiment in a desert grassland. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 5, p. 2245–2253, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2016GL072068>. Acesso em: 31 out. 2021.

LIMPERT, K.; SIEGERT, C. Interspecific Differences in Canopy-Derived Water, Carbon, and Nitrogen in Upland Oak-Hickory Forest. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1121, 9 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10121121>. Acesso em: 31 out. 2021.

LIU, Y. *et al.* Base Cation Fluxes from the Stemflow in Three Mixed Plantations in the Rainy Zone of Western China. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1101, 2 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10121101>. Acesso em: 31 out. 2021.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 8 mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.032>. Acesso em: 31 out. 2021.

LOMBARDO, L. *et al.* Organic carbon fluxes by precipitation, throughfall and stemflow in an olive orchard in Southern Spain. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 152, n. 5, p. 1039–1047, 3 set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1414082>. Acesso em: 31 out. 2021.

LU, J. *et al.* Nutrient Fluxes in Rainfall, Throughfall, and Stemflow in *Pinus densata* Natural Forest of Tibetan Plateau. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/clen.201600008>. Acesso em: 31 out. 2021.

LU, J. *et al.* Nutrient characteristics of throughfall and stemflow in the natural forest of *Pinus densata* in the Tibetan plateau Características de los nutrientes a través del follaje y del tronco en el bosque natural de *Pinus densata*. **Phyton**, v. 9457, p. 142–148, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009385508&partnerID=40&md5=5ba978ba9f5a843d9a246f37eeb50064>. Acesso em: 31 out. 2021.

MCKEE, TB *et al.* The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8 th Conference on Applied Climatology, Boston: American Meteorological Society. 1993. Acesso em: 31 out. 2021.

MICHALZIK, B. *et al.* Effects of aphid infestation on the biogeochemistry of the water routed through European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings. **Biogeochemistry**, v. 129, n. 1–2, p. 197–214, 19 ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-016-0228-2>. Acesso em: 31 out. 2021.

PARADISE, CJ, *et al.* Effects of pH and sulfate on insects and protozoans inhabiting treeholes. **Arch Environ Contam Toxicol**. 1997 Aug;33(2):182-7. Disponível em: doi: 10.1007/s002449900240. PMID: 9294246. Acesso em: 31 out. 2021.

PONGE, Jean-François *et al.* Terrestrial humus forms: ecological relevance and classification. (2010).10.13140/RG.2.1.3713.5521. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3713.5521>. Acesso em: 31 out. 2021.

PTATSCHECK, C., MILNE, P.C., & TRAUNSPURGER, W., 2018. Is stemflow a vector for the transport of small metazoans from tree surfaces down to soil? **BMC Ecology**, 18(1): 43. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0198-4>. Acesso em: 31 out. 2021.

REHMUS, A. *et al.* Aluminum cycling in a tropical montane forest ecosystem in southern Ecuador. **Geoderma**, v. 288, p. 196–203, 15 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.002>. Acesso em: 31 out. 2021.

REID, I *et al.* The Nahal Yatir bedload database: sediment dynamics in a gravel-bed ephemeral stream, **Earth Surf. Process. Landf.**, 20, 845–857, 1995. Acesso em: 31 out. 2021.

RICE, C. P. *et al.* Role of Riparian Areas in Atmospheric Pesticide Deposition and Its Potential Effect on Water Quality. **JAWRA - Journal of the American Water Resources Association**, v. 52, n. 5, p. 1109–1120, out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12444>. Acesso em: 31 out. 2021.

ROSIER, C.L. *et al.* Seasonal dynamics of the soil microbial community structure within the proximal area of tree boles: Possible influence of stemflow. **European Journal of Soil Biology**, v. 73, p. 108–118, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.02.003>. Acesso em: 31 out. 2021.

ROSIER, C. L. *et al.* Forest Canopy Precipitation Partitioning. **Advances in Botanical Research**, v. 75. p. 215–240, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2015.09.005>. Acesso em: 31 out. 2021.

ROSSI, M. J.; ARES, J. O. Overland flow from plant patches: Coupled effects of preferential infiltration, surface roughness and depression storage at the semiarid Patagonian Monte. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 603–614, fev. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.028>. Acesso em: 31 out. 2021.

SCHMULL, M., *et al.* Site factors determining epiphytic lichen distribution in a dieback-affected spruce-fir forest on Whiteface Mountain (2002)., New York: stemflow chemistry. Disponível em: DOI: 10.1139/b02-106. Acesso em: 31 out. 2021.

SCHOOLING, J. T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 1 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>. Acesso em: 31 out. 2021.

SCHWENDENMANN, L.; MICHALZIK, B. Dissolved and particulate carbon and nitrogen fluxes along a *Phytophthora agathidicida* infection gradient in a kauri (*Agathis australis*) dominated forest. **Fungal Ecology**, v. 42, p. 2–15, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.08.005>. Acesso em: 31 out. 2021.

SIEGERT, C. M. *et al.* Do storm synoptic patterns affect biogeochemical fluxes from temperate deciduous forest canopies? **Biogeochemistry**, v. 132, n. 3, p. 273–292, 1 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0300-6>. Acesso em: 31 out. 2021.

SU, L. *et al.* Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 507, 14 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10060507>. Acesso em: 31 out. 2021.

SUESCÚN, D. *et al.* ENSO and rainfall seasonality affect nutrient exchange in tropical mountain forests. **Ecohydrology**, v. 12, n. 2, p. 1–10, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.2056>. Acesso em: 31 out. 2021.

SUN, S. *et al.* Variation characteristics of nitrogen concentrations through forest hydrologic subcycles in various forests across mainland China. **Environmental Technology**, v. 36, n. 16, p. 2001–2012, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1019573>. Acesso em: 31 out. 2021.

THIEME, L. *et al.* Dissolved organic matter characteristics of deciduous and coniferous forests with variable management: different at the source, aligned in the soil. **Biogeosciences**, v. 16, n. 7, p. 1411–1432, 5 abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-16-1411-2019>. Acesso em: 31 out. 2021.

TONELLO, K. C. . *et al.* 2021. The dynamics of knowledge about stemflow: a systematic review. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 56 (1), 16-27. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200675>. Acesso em: 31 out. 2021.

TÜRTSCHER, S. *et al.* Declining atmospheric deposition of heavy metals over the last three decades is reflected in soil and foliage of 97 beech (*Fagus sylvatica*) stands in the Vienna Woods. **Environmental Pollution**, v. 230, p. 561–573, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.080>. Acesso em: 31 out. 2021.

TÜRTSCHER, S.; GRABNER, M.; BERGER, T. W. Reconstructing Soil Recovery from Acid Rain in Beech (*Fagus sylvatica*) Stands of the Vienna Woods as Indicated by Removal of Stemflow and Dendrochemistry, **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, n. 30, p. 2–24, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4065-x>. Acesso em: 31 out. 2021.

VAN STAN, J. T.; GORDON, D. A. Mini-Review: Stemflow as a Resource Limitation to Near-Stem Soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. February, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00248>. Acesso em: 31 out. 2021.

VAN STAN II, J. T.; PYPKER, T. G. A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation. **Science of the Total**

Environment, v. 536, p. 813-824, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.134>. Acesso em: 31 out. 2021.

VAN STAN, J. T.; STUBBINS, A. Tree-DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow. **Limnology and Oceanography Letters**, v. 3, n. 3, p. 199–214, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lol2.10059>. Acesso em: 31 out. 2021.

VANDECAR, K. L. *al.* Phosphorus input through fog deposition in a dry tropical forest. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, n. 12, p. 2493–2504, 2 dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015JG002942>. Acesso em: 31 out. 2021.

WANG, M. *et al.* Dissolved Organic Matter Characteristics and Important Site Factors in a Subtropical Mountain Forest in Central China. **Forest Science**, v. 66, n. 1, p. 49–57, 9 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz062>. Acesso em: 31 out. 2021.

WILCKE, W. *et al.* Temporal Trends of Phosphorus Cycling in a Tropical Montane Forest in Ecuador During 14 Years. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 5, p. 1370–1386, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018JG004942>. Acesso em: 31 out. 2021.

YUAN, C.; GAO, G.; FU, B. Comparisons of stemflow and its bio-/abiotic influential factors between two xerophytic shrub species. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 3, p. 1421–1438, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1421-2017>. Acesso em: 31 out. 2021.

ZHANG, Y. F. *et al.* Variations of Nutrients in Gross Rainfall, Stemflow, and Throughfall Within Revegetated Desert Ecosystems. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 6, p. 183, 19 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2878-z>. Acesso em: 31 out. 2021.

CAPÍTULO II : ESCOAMENTO PELO TRONCO E A INFLUÊNCIA DOS FATORES BIÓTICOS DAS ÁRVORES EM ÁREA ANTROPIZADA

RESUMO

As árvores em áreas urbanas têm um efeito significativo para a ecologia integrada do sistema água-florestas-solos. Sua presença pode melhorar o ciclo da água, de tal forma a aumentar a evaporação, além de reduzir o escoamento superficial e facilitando, por meio das raízes, a infiltração de água no solo em áreas antropizadas. Portanto, compreender as características da vegetação e os seus efeitos sobre a interceptação da chuva é importante na hidrologia urbana. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi examinar de que maneira os fatores bióticos influenciam na água escoada pelo tronco de diferentes espécies florestais presente em área antropizada. Dessa maneira, i) foi analisado o rendimento do escoamento do tronco das espécies em questão; ii) e o comportamento influente das características dendrométricas e morfológicas sobre o escoamento pelo tronco. Para isso, realizou-se o experimento com árvores localizadas em área urbana localizadas na Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo. Avaliou-se o rendimento do escoamento pelo tronco, assim como as características dendrométricas (diâmetro a altura do peito - DAP, altura total, área de projeção da copa - Apc e área basal) e morfológicas (densidade da copa, formato da copa, tortuosidade do tronco, inclinação do tronco, textura da casca e presença de briófitas). Os resultados para as espécies em conjunto da relação direta das variáveis dendrométricas apresentou a seguinte ordem: altura da copa > área basal > DAP; para as características morfológicas: densidade da copa > presença de briófitas > textura da casca > formato da copa. Relação inversa foram encontradas, sendo: tortuosidade do tronco > Apc > inclinação do tronco. Na análise interespecies, as correlações positivas para as características dendrométricas tiveram a seguinte ordem: *Eucalyptus urograndis* e *Paubrasilia echinata* para altura total; *Leucaena leucocephala* e *Moquiniastrum polymorphum* para área de projeção da copa; e *Pinus taeda* para o DAP. Em contrapartida, as espécies *Schizolobum parahyba*, *Pleroma granulatum* e *Tabebuia roseoalba* tiveram relação inversa quanto ao escoamento pelo tronco - mm (Sy) para todas as variáveis. Quanto a relação do Sy com as características morfológicas estudadas por meio da análise fatorial, as espécies que possuem casca esfoliativa melhor correlacionaram-se positivamente com a estrutura do tronco; espécies com casca sulcada foram melhor relacionadas com estrutura da copa e tronco; por fim, espécies com casca lisa, a relação positiva foi referente a estrutura da casca. Diante dos resultados analisados conclui-se que, o rendimento do escoamento pelo tronco das espécies analisadas apresenta influências distintas tanto das características dendrométricas como morfológicas, sendo específicas de cada espécie. Dessa maneira, os dados sugerem que as características de cada espécie, individuais ou associadas, influenciam no rendimento do escoamento pelo tronco.

Palavras-Chave: Hidrologia Florestal. Características Morfológicas. Características Dendrométricas. Arborização Urbana.

STEMFLOW AND THE INFLUENCE OF BIOTIC FACTORS IN TREES IN ANTHROPPED AREA

ABSTRACT

Trees in urban areas have a significant effect on the integrated ecohydrology of the water-forest-soil system. Their presence can improve the water cycle, in such a way as to increase evaporation, in addition to reducing surface runoff and facilitating, through the roots, the infiltration of water into the soil in anthropized areas. Therefore, understanding the characteristics of vegetation and its effects on rainfall interception is important in urban hydrology. In this sense, the aim of the study is to examine how biotic factors influence the stemflow of different forest species present in urban area. Thus, i) the stemflow yield of the species in question was analyzed; ii) the influencing behaviour of dendrometric and morphological characteristics on the stemflow was investigated. The experiment was carried out with individual trees in an urban area located at the Federal University of São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo. The performance of stemflow was evaluated, as well as the dendrometric characteristics (diameter at breast height - DBH, total height, crown projection area - Apc and basal area) and morphometric characteristics (canopy density, crown shape, tortuosity trunk, trunk inclination, bark texture and presence of bryophytes). The results for the species together from the direct relationship of the dendrometric variables presented the following order: crown height > basal area > DBH; for morphological characteristics: crown density > presence of bryophytes > bark texture > crown shape. An inverse relationship was found, namely: tortuosity of the trunk > Apc > trunk inclination. In the interspecies analysis, the positive correlations for the dendrometric characteristics had the following order: *Eucalyptus urograndis* and *Paubrasilia echinata* for total height; *Leucaena leucocephala* and *Moquiniastrum polymorphum* for canopy projection area; and *Pinus taeda* for DAP. On the other hand, the species *Schizolobium parahyba*, *Pleroma granulatum* and *Tabebuia roseoalba* had an inverse relationship regarding stemflow - mm (Sy) for all variables. As for the relationship of Sy with the morphological characteristics studied through factor analysis, the species that have an exfoliative bark better correlated positively with the trunk structure; species with grooved bark were better related to crown and trunk structure; finally, species with smooth bark, the positive relationship was related to bark structure. In view of the analyzed results, it is concluded that the flow yield stemflow of the analyzed species had different influences from both dendrometric and morphological characteristics, being specific to each species. Thus, it is suggested that each species has its own characteristics, whether individual or associated, which influence the yield of stemflow.

Keywords: Forest Hydrology. Morphological Characteristics. Dendrometric Characteristics. Urban afforestation.

1 INTRODUÇÃO

A presença de cobertura vegetal possui uma estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Ela desempenha uma importante função reguladora no contexto do balanço hídrico promovendo a captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do sistema, e auxilia no processo de suprimento de água para a recarga de aquíferos e nascentes (ARCOVA; CICCO; ROCHA, 2003; TONELLO; DIAS, 2018). Em ambiente urbano, com uma alta porcentagem de superfícies impermeáveis, as árvores são importantes para a hidrologia das cidades por causa da interceptação de chuva por seus dosséis e redução escoamento superficial, sendo cruciais para fazer continuar o ciclo da água

(LIVESLEY; BAUDINETTE; GLOVER, 2014). Quando a chuva entra em contato com as copas das árvores, uma parte retorna à atmosfera, por meio da interceptação, goteja através de fendas ou de superfícies do dossel (precipitação interna), ou drena pelo tronco da árvore (escoamento pelo tronco - SF) (TONELLO *et al.*, 2021).

As características do povoamento contribuem para o escoamento pelo tronco (ZHANG *et al.*, 2021). Os resultados do escoamento pelo tronco está intimamente relacionado a estrutura da árvore e alguns atributos da espécie influenciam na eficiência do escoamento pelo tronco, podendo ser desde os atributos dendrométricos como os morfométricos (XIAO; MCPHERSON, 2011; HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015), tais como, composição de espécies, área basal, densidade do caule e área foliar, (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SADEGHI; GORDON; VAN STAN II, 2020); altura e largura da copa, área basal e altura (YUE *et al.*, 2021), diâmetro a altura do peito (ABOAL *et al.*, 1999; SIEGERT; LEVIA, 2014; VAN STAN). Ainda, o formato da folha, estrutura e ângulo do galho, textura e capacidade de retenção de água pela casca, assim como cobertura por epífitas também são fatores influenciadores para acontecimento do escoamento pelo tronco (ZHANG *et al.*, 2015). Por exemplo, plantas com copa densa, grande número de ramos e alto ângulo de inserção das hastes podem proporcionar um maior volume de escoamento pelo tronco. Por outro lado, padrões opostos também foram observados (LEVIA; GERMER, 2015).

A rugosidade da casca é considerada um fator importante que afeta o SF (LEVIA; FROST, 2003; ILEK; KUCZA; MORKISZ, 2017; TANAKA *et al.*, 2017; BRANTLEY; MINIAT; BOLSTAD, 2019; SADEGHI; GORDON; VAN STAN II, 2020). Diversos estudos indicam que espécies com casca lisa apresentam-se significativamente maiores SF do que espécies com casca áspera (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; LEVIA; GERMER, 2015; MAGLIANO *et al.*, 2019; BALIEIRO *et al.*, 2021; TONELLO *et al.*, 2021b). Em pesquisa realizada sobre a relação entre o microrelevo da casca e o escoamento pelo tronco em duas espécies de folhosas de região temperada concluíram que, os diferentes microrelevos determinavam as diferenças na quantidade de água escoando pelo tronco (VAN STAN II; LEVIA, 2010). O oposto também é encontrado na literatura onde a casca caracterizada por sulcos lineares facilita o transporte vertical descendente da água atinge tronco (LEVIA; HERWITZ, 2005).

Nesse sentido, o objetivo do estudo visa examinar de que maneira os fatores bióticos influenciam na água escoada pelo tronco de diferentes espécies florestais presentes em áreas antropizadas. Dessa maneira, i) analisou-se o rendimento do escoamento do tronco das espécies

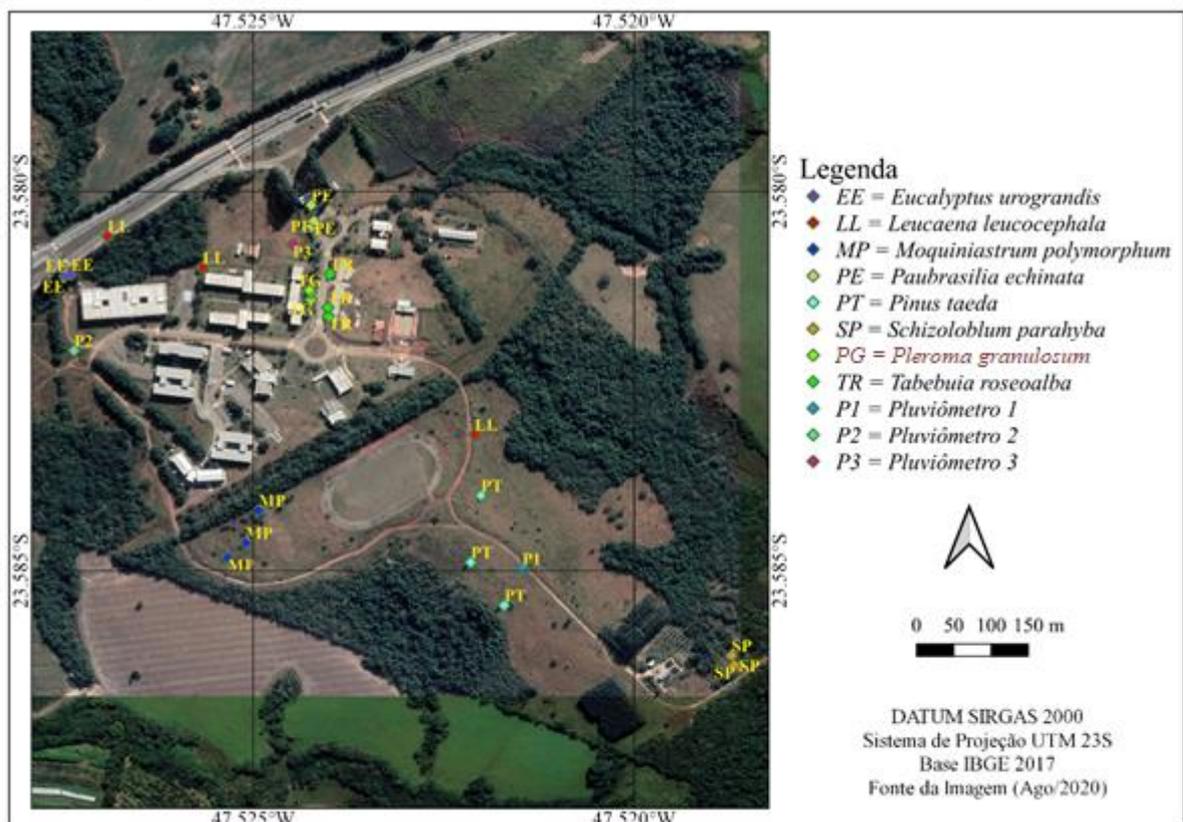
em questão; ii) investigou-se o comportamento influente das características dendrométricas e morfológicas sobre o escoamento pelo tronco. As hipóteses testadas são que: (1) cada espécie estudada possui um comportamento diferente quanto as características bióticas e o rendimento do escoamento pelo tronco, (2) apenas uma variável morfológica ou dendrométrica não é capaz de prever o rendimento do escoamento pelo tronco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área em estudo

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo, localizado entre as coordenadas geográficas de 23° 17' S e 47° 16' O, e altitude média de 580 m (Figura 6). O clima da região é classificado como Cwa (DUBREUIL *et al.*, 2019), temperado seco e quente com verão quente, onde a temperatura anual média é de 22°C e a precipitação média anual é de 1311 mm (CEPAGRI, 2020). Está inserido em uma região de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista, com solos dos tipos Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (OLIVEIRA, 1999).

Figura 6 - Mapa da localização da área em estudo em Sorocaba - SP.



Fonte: QGIS 3.10.

O escoamento pelo tronco foi monitorado durante o período de outubro de 2019 à setembro de 2020 em oito (8) espécies presente em área antropizada, sendo composta por exóticas: *Eucalyptus urograndis*², *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; *Pinus taeda* L. e espécies nativas de ampla distribuição: *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho; *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake; *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwit e espécies nativas endêmicas: *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H. C. Lima & G. P. Lewis; *Pleroma granulatum* (Desr.) D. Don. Foram estudados 3 indivíduos de cada espécie, totalizando em 24 indivíduos. A seleção das espécies em questão foi com base na escolha de indivíduos isolados, ou ainda ilhas isoladas compondo a mesma espécie.

2.2 Variáveis hidrológicas analisadas

A precipitação em aberto (P) foi monitorada por meio de três pluviômetros instalados em área aberta à 1,50 metros do solo (Figura 7). As leituras foram feitas com auxílio de baldes e provetas graduadas, logo após os eventos de chuva durante o período de outubro de 2019 à setembro 2020.

As chuvas foram calculadas pela Equação 1:

$$P = \frac{V}{A} \quad (1)$$

Onde P é precipitação em aberto (mm), V é o volume acumulado no pluviômetro (L) e A é a área de captação do pluviômetro (m²).

Figura 7 - Pluviômetro instalado na área de estudo para monitoramento da precipitação em aberto. Sorocaba-SP, 2020.



² Híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Fonte: Autora (2021).

Os pluviômetros foram confeccionados a partir de tubos e conexões de PVC com área de captação de 254,5 cm² e altura de 20 cm. Cada ocasião de amostragem tanto da precipitação em aberto como do escoamento pelo tronco consistiu em um ou mais eventos consecutivos de chuva. Um evento de chuva originalmente é definido como chuvas de pelo menos 1 mm de altura da lamina d'água e precedido por um período seco de no mínimo 12 h (ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2007).

O escoamento pelo tronco foi baseado na metodologia proposta por Hofhansl et al. (2012) e Schooling et al. (2017), por meio de mangueiras de 5/8" instaladas no tronco das árvores, à 1,30 m do solo. As mangueiras foram cortadas longitudinalmente ao meio e firmemente fixadas na circunferência dos troncos das árvores em uma inclinação de 45° para conduzir, por gravidade, a água escoada pelo o tronco até os coletores de 20 litros. As mangueiras foram fixadas e seladas com silicone para evitar perdas de água no tronco (Figura 8). Na extremidade inferior da mangueira, um trecho excedente foi deixado sem o corte longitudinal para conduzir o fluxo até o interior do recipiente de armazenamento.

Figura 8 - Instalação do escoamento pelo tronco.



Fonte: Autora (2021).

Assim, o volume do escoamento pelo tronco (mm) foi obtido por meio da (Equação 2).

$$S_y = \frac{V_t}{A_{pc}} \quad (2)$$

Onde: S_y = Escoamento pelo tronco (mm), V_t = Volume total (L), A_{pc} = Área de projeção da copa (m²).

A área de projeção de copa (A_{pc}) foi estimada a partir da elipse (Equação 3) e dos dois diâmetros da copa (maior e menor).

$$Apc = \frac{D \times d \times \pi}{4} \quad (3)$$

2.3 Fatores bióticos: caracterização dendrométrica e morfológica

O escoamento pelo tronco foi caracterizado em função das variáveis dendrométricas e morfológicas importantes no processo hidrológico. A metodologia inicialmente utilizada foi a aplicada por Honda *et al.* (2015), onde foram realizados estudos sobre o fluxo de escoamento pelo tronco em fragmentos de Cerrado. Contudo, essa metodologia foi adaptada em função da análise do escoamento pelo tronco em árvores isoladas, e assim, eliminando-se o efeito de vizinhança que se tem dentro de um fragmento florestal.

Como características dendrométricas foram consideradas conforme as especificações abaixo e os resultados médio de cada espécie, juntamente com o erro padrão são apresentados na Tabela 3, sendo:

- Diâmetro à altura do peito (*DAP*): o diâmetro do tronco foi obtido à 1,3 m do solo com auxílio de fita métrica;
- Altura total (*H Total*): medida com o equipamento TruPulse 360;
- Área de projeção da copa (*Apc*) em m²: estimada com base na fórmula da elipse a partir dos dois diâmetros da copa (maior e menor) obtido com auxílio do equipamento TruPulse 360 b ltb;
- Área basal (*AB*) em m²: calculada a partir do *DAP* (Equação 4).

$$G = \frac{\pi}{40,000} \sum_i^n DAP_i^2 \quad (4)$$

Tabela 3 - Características dendrométricas das espécies estudadas em Sorocaba-SP entre os meses de outubro de 2020 a setembro de 2019.

Espécies	DAP	H total	Apc	AB	Sy (mm)
<i>E. urograndis</i>	23,58 (2,92)	18,83 (1,64)	13,85 (5,89)	0,13	2,5 (0,6)
<i>L. leucocephala</i>	19,35 (3,17)	6,66 (0,33)	49,17 (13,37)	0,09	0,5 (0,1)
<i>M. polymorphum</i>	20,20 (1,39)	6,56 (0,29)	27,58 (3,29)	0,10	0,5 (0,2)
<i>P. echinata</i>	18,05 (1,27)	4,84 (0,40)	24,06 (2,05)	0,08	2,4 (0,5)
<i>P. granulorum</i>	20,04 (2,91)	4,27 (0,34)	30,02 (5,27)	0,10	1,6 (0,4)
<i>P. taeda</i>	27,17 (3,65)	8,50 (1,15)	21,31 (2,35)	0,18	2,2 (0,6)
<i>S. parahyba</i>	21,12 (0,83)	9,66 (0,66)	8,72 (4,43)	0,10	1,6 (0,4)
<i>T. roseo-alba</i>	21,92 (2,46)	7,94 (1,02)	28,47 (5,43)	0,12	1,9 (0,4)

Fonte: Autora (2021).

As características morfológicas foram consideradas de acordo com seus atributos. A caracterização de cada árvore foi realizada por meio da avaliação de variáveis categóricas.

Adotou-se uma avaliação visual e com base no consenso entre as observações independentes de três avaliadores. Na Tabela 4 são apresentados os resultados médios de cada espécie para as características morfológicas.

Foram consideradas como características morfológicas:

- a) Densidade da copa: (1) Rala; (2) Média; (3) Densa;
- b) Formato da copa: (1) Aberta; (2) Média; (3) Afunilada;
- c) Tortuosidade do tronco: (1) Reto; (2) Sinuoso; (3) Torto;
- d) Inclinação do tronco: (1) Ereto; (2) Inclinado; (3) Muito inclinado;
- e) Textura da casca: (1) Lisa; (2) Esfoliativa; (3) Sulcada;
- f) Briófitas na casca: (1) Nenhum; (2) Médio; (3) Muito.

Tabela 4 - Características morfológicas das espécies estudadas em Sorocaba-SP entre os meses de outubro de 2020 a setembro de 2019.

Espécies	Densidade da copa	Formato da copa	Tortuosidade do tronco	Inclinação do tronco	Textura da casca	Presença de Briófitas
<i>E. urograndis</i>	2,3 (0,3)	2,7 (0,3)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	2,0 (0,0)	2,7 (0,3)
<i>L. leucocephala</i>	1,7 (0,3)	2,7 (0,3)	1,3 (0,3)	1,3 (0,3)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)
<i>M. polymorphum</i>	2,0 (0,0)	2,0 (0,0)	2,3 (0,3)	3,0 (0,0)	3,0 (0,0)	2,3 (0,3)
<i>P. echinata</i>	2,7 (0,3)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	1,7 (0,3)	2,0 (0,0)	2,7 (0,3)
<i>P. granulatum</i>	3,0 (0,0)	3,0 (0,0)	1,3 (0,3)	1,3 (0,3)	2,0 (0,0)	2,0 (0,0)
<i>P. taeda</i>	2,0 (0,0)	3,0 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	2,0 (0,0)	1,7 (0,3)
<i>S. parahyba</i>	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	10 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	2,0 (0,0)
<i>T. roseo-alba</i>	2,3 (0,3)	3,0 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	2,0 (0,0)	3,0 (0,0)

Fonte: Autora (2021).

2.4 Análises estatísticas

Estatísticas descritivas foram combinadas com observações de campo para obter uma compreensão mais profunda e baseada no processo do diferencial rendimento do escoamento pelo tronco entre as espécies. A análise e processamento dos dados foram realizados com auxílio do software Minitab (versão 17). O nível de significância foi estabelecido em intervalo de confiança de 95% ($p = 0,05$).

A análise de correlação de Pearson foi usada para testar a importância da relação entre a precipitação total e o volume total escoado pelo tronco das espécies em análise. Correlação de Pearson também foram utilizadas a fim de identificar como as características dendrométricas se correlacionam com o escoamento pelo tronco.

Para as características morfológicas realizou-se análise fatorial exploratória com o objetivo de examinar como as variáveis se agrupam e nomear os fatores, justificando

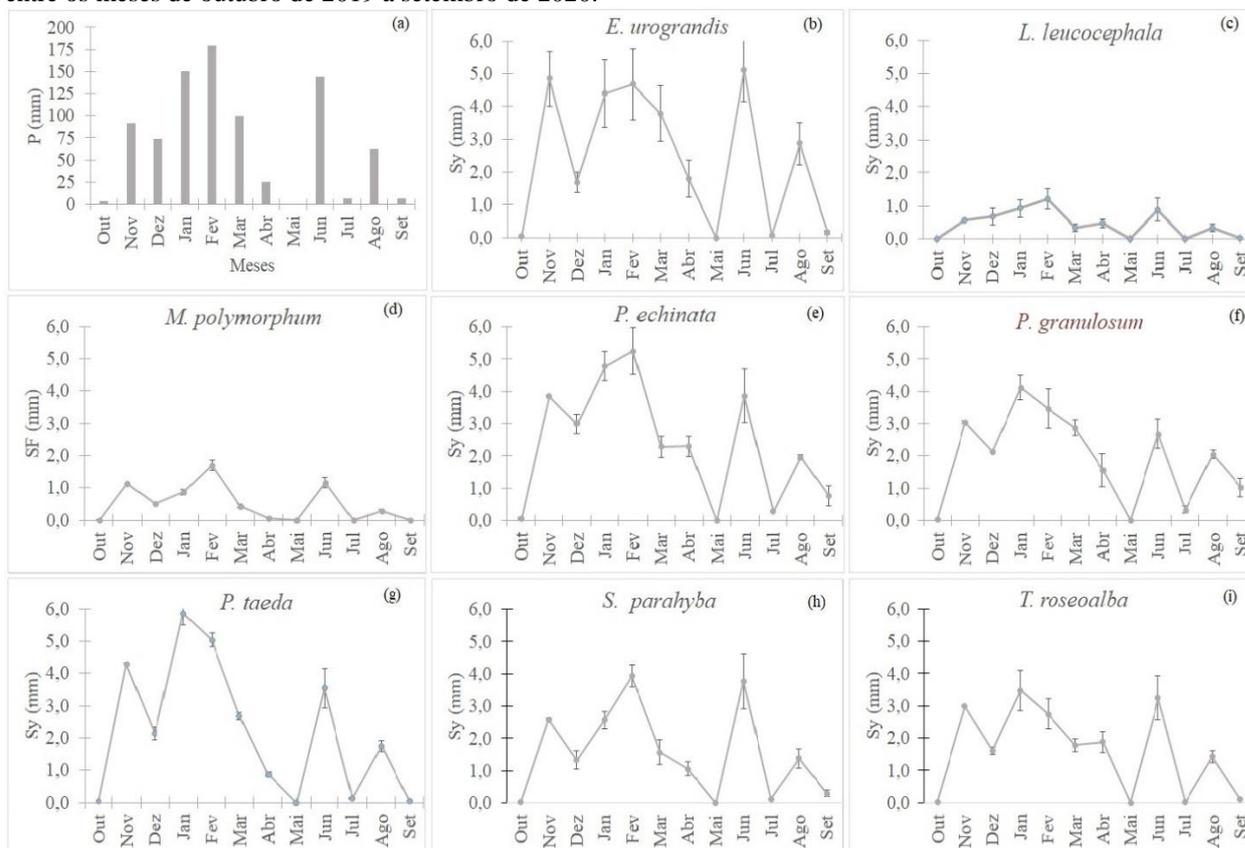
teoricamente como as variáveis se relacionam com os fatores. Aplicou-se o modelo fatorial ortogonal aos dados utilizando-se o método das componentes principais via Rotação Ortogonal do tipo Varimax, sendo o número de fatores a extrair obtidos segundo o critério de Kayser e o scree-plot. Com isso, buscou-se identificar as variáveis que mais influenciam em cada fator, ou seja, as que possuem maiores cargas fatoriais. Em seguida, com a obtenção dos escores fatoriais, substituindo-se as variáveis originais, realizou-se a correlação de Spearman entre o escoamento pelo tronco e os escores fatoriais por diferentes morfologias da casca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo, o volume total de precipitação em aberto foi de 845,4 mm. No mês de maio não houve chuva, ao passo que, outubro, julho e setembro tiveram chuvas abaixo de 7,0 mm. No entanto, os meses de junho e agosto foram atípicos para a região, correspondendo a precipitação de 144,4 e 62,7 mm, respectivamente. Fevereiro registrou o maior volume com 179,5 mm (Figura 9 a).

Ao longo do período monitorado, *P. granulosum*, *P. echinata*, *P. taeda* e *T. rosealba* tiveram os maiores volumes de escoamento pelo tronco (*SF*, *L*), ao passo que os menores valores foram registrados para *M. polymorphum* e *S. parahyba*. Ao considerar a área de projeção de copa, os maiores *Sy* (mm) médio anual foram encontrados para o *E. urograndis* com 2,45 mm, seguido do *P. echinata* (2,37 mm). Em contraponto, a *L. leucocephala* e *M. polymorphum* apresentaram os menores valores, correspondendo a 0,45 mm e 0,51 mm, respectivamente (Figura 9 b-i; Tabela 5).

Figura 9 - Variação mensal do volume da precipitação (a) e Sy médio anual das oito (8) espécies estudadas (b-i) entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020.



Fonte: Autora (2021).

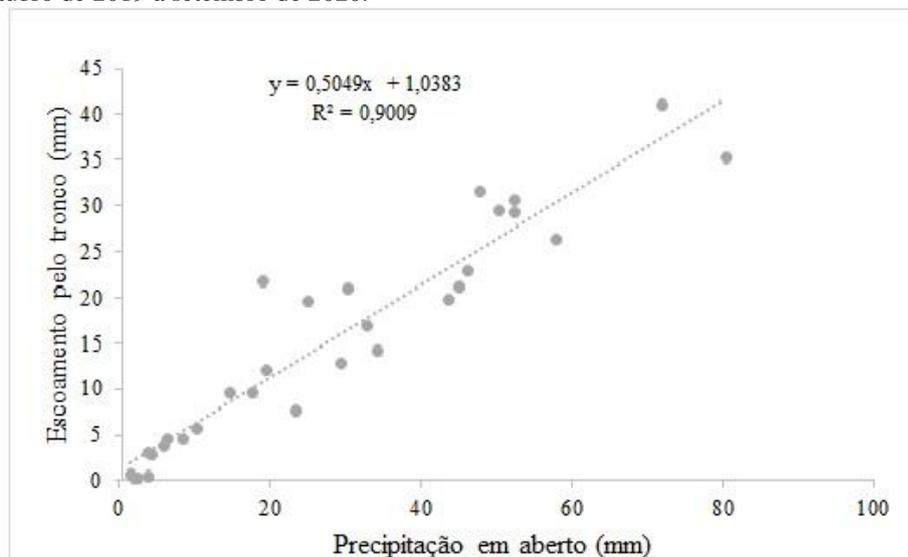
Tabela 5. Escoamento pelo tronco (Sy - mm) mensal das oito espécies analisadas entre os períodos de outubro de 2019 a setembro de 2020. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao erro padrão.

Meses	<i>E. urograndis</i>	<i>L. leucocephala</i>	<i>M. polymorphum</i>	<i>P. echinata</i>	<i>P. granulosum</i>	<i>P. taeda</i>	<i>S. Parahyba</i>	<i>T. rosealba</i>
Out	0,06 (0,0)	0,01 (0,0)	0,00 (0,0)	0,07 (0,0)	0,04 (0,0)	0,06 (0,0)	0,04 (0,0)	0,03 (0,0)
Nov	4,85 (0,4)	0,55 (0,0)	1,13 (0,0)	3,84 (0,0)	3,04 (0,0)	4,29 (0,0)	2,59 (0,0)	2,98 (0,0)
Dez	1,69 (0,3)	0,68 (0,3)	0,51 (0,0)	3,00 (0,3)	2,14 (0,0)	2,14 (0,2)	1,33 (0,3)	1,62 (0,1)
Jan	4,39 (1,0)	0,92 (0,3)	0,87 (0,1)	4,78 (0,5)	4,13 (0,4)	5,85 (0,3)	2,57 (0,3)	3,48 (0,6)
Fev	4,67 (1,1)	1,22 (0,3)	1,69 (0,2)	5,24 (0,7)	3,48 (0,6)	5,04 (0,2)	3,94 (0,3)	2,75 (0,5)
Mar	3,78 (0,8)	0,34 (0,1)	0,43 (0,1)	2,29 (0,3)	2,86 (0,2)	2,66 (0,1)	1,57 (0,4)	1,78 (0,2)
Abr	1,81 (0,6)	0,47 (0,1)	0,07 (0,0)	2,30 (0,3)	1,56 (0,5)	0,87 (0,1)	1,06 (0,2)	1,88 (0,3)
Mai	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
Jun	5,12 (1,0)	0,88 (0,4)	1,16 (0,2)	3,86 (0,8)	2,68 (0,5)	3,55 (0,6)	3,78 (0,9)	3,24 (0,7)
Jul	0,06 (0,0)	0,02 (0,0)	0,00 (0,0)	0,28 (0,0)	0,34 (0,1)	0,14 (0,0)	0,13 (0,0)	0,02 (0,0)
Ago	2,86 (0,6)	0,34 (0,1)	0,29 (0,0)	1,97 (0,1)	2,04 (0,1)	1,75 (0,2)	1,38 (0,3)	1,43 (0,2)
Set	0,16 (0,0)	0,03 (0,0)	0,01 (0,0)	0,76 (0,3)	1,02 (0,3)	0,06 (0,0)	0,30 (0,1)	0,10 (0,0)
Média	2,45 (0,5)	0,45 (0,1)	0,51 (0,0)	2,37 (0,3)	1,94 (0,2)	2,20 (0,1)	1,56 (0,2)	1,61 (0,2)

O escoamento pelo tronco foi monitorado em 30 eventos de chuva. Os dados da precipitação em aberto e o Sy (mm) foram submetidos a análise de regressão linear (Figura 10). O escoamento pelo tronco apresentou elevada relação com a precipitação em aberto, com o

valor de (R^2) igual a 0,901 para as espécies estudadas, conforme tendência linear. Esse comportamento também pode ser observado na Figura 9 b-i, o que indica que à medida que a precipitação aumenta, ocorre o aumento de água captada por meio do escoamento pelo o tronco das espécies estudadas.

Figura 10 - Relação entre a precipitação total e o volume total escoado pelo tronco das espécies em análise entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020.



Fonte: Autora (2021).

Ao longo do período monitorado, *P. granulosum*, *P. echinata*, *P. taeda* e *T. roseo-alba* tiveram os maiores volumes de escoamento pelo tronco (*SF*, *L*), ao passo que os menores valores foram registrados para *M. polymorphum* e *S. parahyba*. Ao considerar a área de projeção de copa, os maiores *Sy* (mm) médio anual foram encontrados para o *E. urograndis* com 2,5 mm, seguido do *P. echinata* (2,4 mm). Em contraponto, a *L. leucocephala* e *M. polymorphum* apresentaram os menores valores, ambas com 0,5 mm (Figura 9 b-i).

Preliminarmente realizou-se a análise das espécies em conjunto, com esse objetivo utilizou correlação de Pearson para avaliar a relação entre o escoamento pelo tronco (*Sy* mm) e as características dendrométricas, e correlação de Spearman com o intuito de conhecer a correlação existente entre o *Sy* e as características morfológicas (Tabela 6).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características dendrométricas e o escoamento pelo tronco - Sy (mm); e Spearman entre as características morfológicas e o escoamento pelo tronco - Sy (mm) das espécies analisadas em conjunto.

Variáveis dendrométricas	DAP: Diâmetro à altura do peito	Altura total	Área basal	Apc: Área de projeção da copa		
		0,16	0,31	0,18	-0,48	
Variáveis morfológicas	Densidade da copa	Formato da copa	Tortuosidade do tronco	Inclinação do tronco	Textura da casca	Presença de Briófitas
		0,63	0,11	-0,63	-0,29	0,25

Fonte: Autora (2021).

Para as características dendrométricas, nota-se que correlações positivas bem fraca à fraca foram encontradas para DAP, Altura total e Área basal em relação ao escoamento pelo tronco, no entanto, apresentou uma correlação linear negativa com a área de projeção da copa (-0,48), demonstrando que, o escoamento pelo tronco cai rapidamente com o aumento da área da copa.

Com o intuito de identificar como as características dendrométricas se correlacionam com o escoamento pelo tronco (Sy) entre as espécies, foi realizada a análise da correlação de Pearson (Tabela 7) apresentando diferentes comportamentos entre as espécies.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características dendrométricas e o escoamento pelo tronco (Sy, mm) das espécies analisadas.

Espécie	Escoamento pelo tronco (Sy mm) x DAP	Escoamento pelo tronco (Sy mm) x Altura total	Escoamento pelo tronco (Sy mm) x Área basal	Escoamento pelo tronco (Sy mm) x Apc	
	<i>E. urograndis</i>	0,25	0,69	0,30	-0,86
	<i>L. leucocephala</i>	0,46	0,66	0,41	0,82
<i>M. polymorphum</i>	-0,88	-0,94	-0,89	0,97	
<i>P. echinata</i>	-0,04	1,00	-0,05	-0,59	
<i>P. granulatum</i>	-0,59	-0,44	-0,53	-0,51	
<i>P. taeda</i>	0,11	-0,33	0,06	-0,88	
<i>S. parahyba</i>	-0,04	-0,22	-0,05	-0,76	
<i>T. roseoalba</i>	-0,99	-0,33	-0,98	-0,48	

Fonte: Autora (2021).

Ao analisar especificamente o coeficiente linear positiva das espécies em função do Sy sobre o DAP, apenas *L. leucocephala* e *E. urograndis* foram as espécies que tiveram maior resposta (coeficiente de correlação moderada) em relação as demais. As espécies *L. leucocephala* e *M. polymorphum* apresentaram a correlação forte a muito forte para a área de projeção da copa com o Sy. Era de se esperar que a maior correlação fosse encontrada para as espécies que possuem as maiores Apc e maiores Sy, no entanto, apesar de *L. leucocephala* apresentar maior Apc em relações as outras espécies, menor foi o Sy, sabendo que a área de

projeção da copa para a espécie é relativamente alta o que contribui para redução da sua eficiência na canalização e geração do escoamento (MANFROI *et al.*, 2004; VAN STAN *et al.*, 2011).

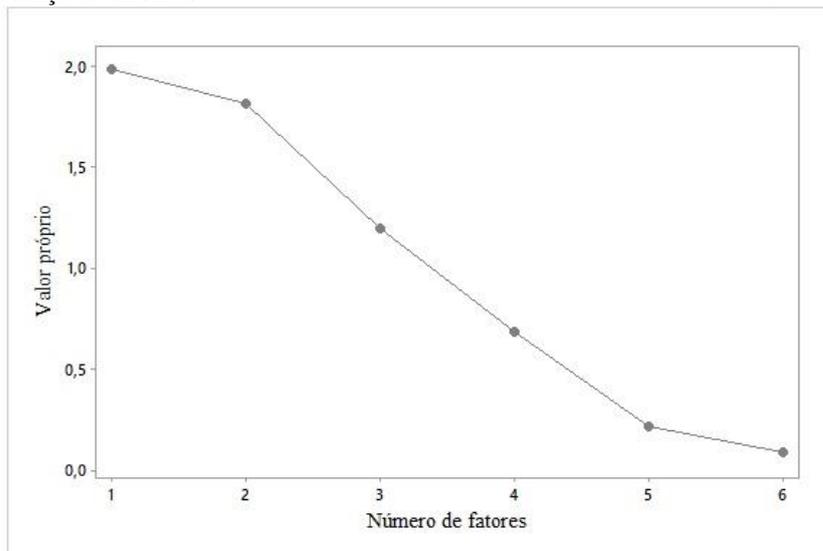
Quanto a área basal, os resultados para as espécies estudadas demonstraram que a área basal pouco interfere para a ocorrência do SF. A maioria das espécies tiveram correlações nulas a negativas com exceção para as espécies *E. urograndis* (0,30), *L. leucocephala* (0,41) as quais possuíram correlação fraca à moderada. Tais resultados diferem dos primeiros estudos de escoamento pelo tronco, o qual identificaram que o diâmetro na altura do peito (DAP), a área basal (BROWN; BARKER, 1970), a projeção da copa possuem alta correlação com o volume de água escoada pelo tronco (FORD; DEANS, 1978). Entretanto, Honda *et al.* (2015) encontraram resultados similares aos deste estudo, em que espécies arbóreas do Cerrado brasileiro, também tiveram baixas correlações entre DAP e área basal com o escoamento pelo tronco. Em uma avaliação de espécies de floresta tropical, Dietz (2006) descobriu que o DAP e volume de SF foram fracamente correlacionados. Tais resultados leva-nos a argumentar que existem outras características da árvore que podem interferir no escoamento pelo tronco, não apenas a área basal. Levia *et al.* (2010a) afirmam que a área basal foi determinante para escoamento pelo tronco em árvores da mesma espécie, porém menos determinante em árvores de diferentes espécies com mesma área basal.

Para a variável altura total, *P. echinata* teve destaque por apresentar uma correlação linear perfeita, as espécies *E. urograndis* e *L. leucocephala* tiveram correlações moderadas, em contraponto as outras espécies não sofreram influência da altura total para o maior rendimento do escoamento pelo tronco. O volume da água que escoar pelo tronco da árvore está relacionado ao porte do indivíduo, em que árvores maiores recebem maior quantidade de água, e conseqüentemente maior será o conteúdo de água escoado em comparação com árvores de menor porte (HOFHANSL *et al.*, 2012). Honda, Mendonça e Durigan (2015) ao estudar os fatores que interferem o escoamento pelo tronco de árvores no cerrado brasileiro, afirmaram que a altura da árvore foi a variável mais importante, seguido por deciduidade das folhas, crescimento do caule, inclinação do caule, número de ramos e espessura da casca. Resultado diferente foi encontrado por Yue (2021) ao estudar a partição da chuva em árvores e arbustos em escala global de 2430 observações e 236 publicações independentes, cuja a altura do conjunto dos indivíduos apresentaram um efeito negativo no escoamento pelo tronco.

Quanto às características morfológicas, não foi possível realizar a correlação das variáveis com o rendimento do SF (Sy) por espécie, devido a apresentação de variáveis

semelhantes entre os indivíduos da mesma espécie. Com o intuito de aprofundar nos resultados das características morfológicas, de tal maneira a conglomerar as variáveis analisadas, realizou-se a análise fatorial. A Figura 11 mostra o *scree plot* utilizado para determinar a quantidade de fatores. Um modelo com três fatores mostrou-se adequado para representar a estrutura de covariância inicial explicando 83,4% da variabilidade dos dados originais.

Figura 11 - Scree Plot das variáveis morfológicas: formato da copa; tortuosidade do tronco; inclinação do tronco; textura da casca; presença de briófitas.



Fonte: Autora (2021).

Na Tabela 8 são apresentadas as cargas fatoriais para cada variável analisada, juntamente com os valores de comunalidade, sendo um índice útil para avaliar o quanto de variância em uma dada variável é explicada pela solução fatorial. Diante dos resultados, nota-se que todas as variáveis estiveram acima de 0,50, considerados aceitáveis para a análise fatorial (PEREIRA, 1999).

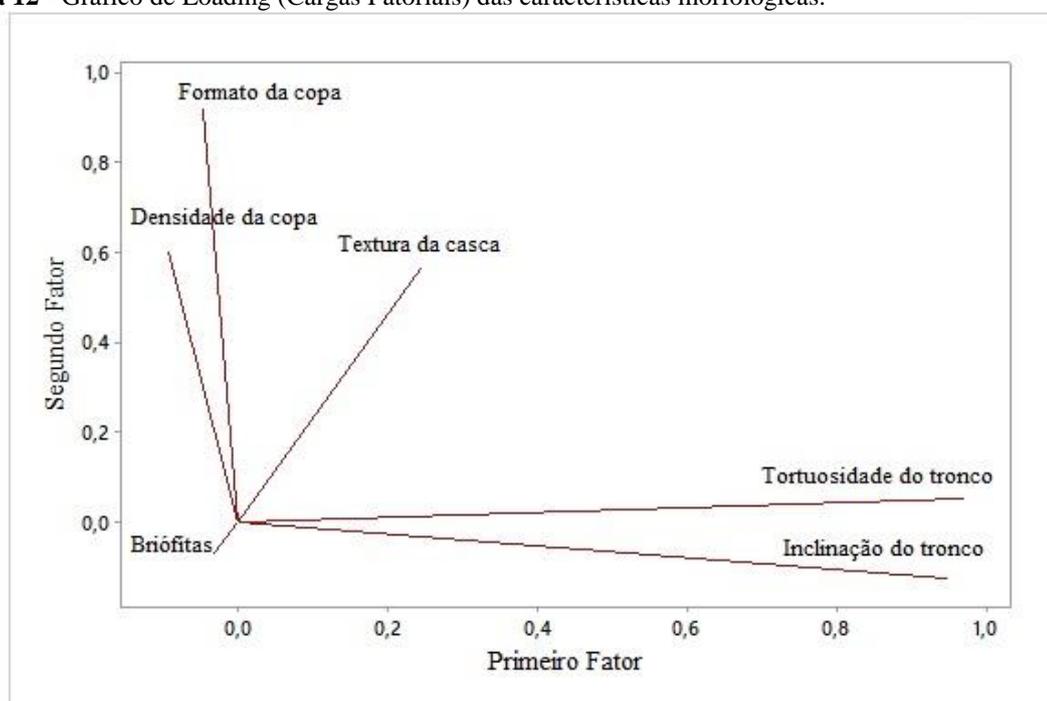
Tabela 8 - Cargas fatoriais rotacionadas (*Varimax*) e itens comuns das variáveis morfológicas.

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Densidade da copa	-0,094	0,602	0,371	0,509
Formato da copa	-0,047	0,920	-0,192	0,886
Tortuosidade do tronco	0,969	0,052	-0,109	0,954
Inclinação do tronco	0,948	-0,127	0,160	0,940
Textura da casca	0,243	0,565	0,650	0,800
Briófitas na casca	-0,033	-0,066	0,954	0,915
Variância	1,9089	1,552	1,5433	5,0042
% Var	0,318	0,259	0,257	0,834

Fonte: Autora (2021).

Conforme observado (Tabela 8; Figura 12), o Fator 1 explica 31,8% das variáveis e é composto pelas variáveis Tortuosidade do tronco e Inclinação do tronco, os quais representam a **Estrutura do tronco**. O Fator 2, explicou-se 25,9% das variáveis Densidade da copa, Formato da copa possuem cargas fatoriais positivas e denota uma compreensão da **Estrutura da copa**. O Fator 3 explicou 25,7% da variabilidade dos dados e foi composto das variáveis Briófitas na casca, com alta carga fatorial positiva e a Textura da casca, correspondendo o entendimento da **Estrutura da casca**. É notório observar que a variável Textura da casca possui uma característica antagônica, sendo correlacionada com mais de um fator, importante tanto para a constituição do Fator 2 (0,56) quanto para o Fator 3 (0,65), ambas representadas com cargas fatoriais positivas.

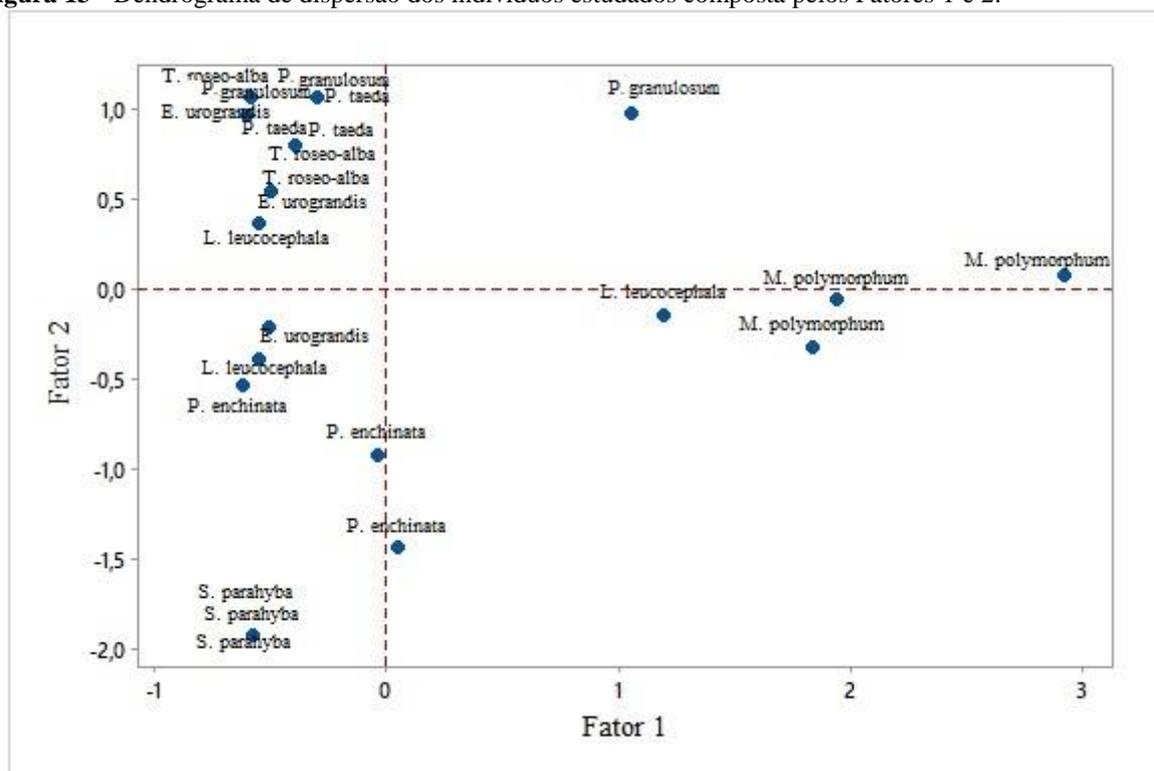
Figura 12 - Gráfico de Loading (Cargas Fatoriais) das características morfológicas.



Fonte: Autora (2021).

O gráfico de dispersão (Figura 13) é o resultado da associação entre os Fatores 1 e 2, explicaram a maior variabilidade dos dados. Um agrupamento claro pode ser observado entre as espécies de acordo com os dois fatores. Junto ao Fator 1, com cargas negativas, nota-se um agrupamento de indivíduos de *T. roseo-alba*, *P. taeda*, *P. granulosum*, *E. urograndis*, *L. leucocephala*, *P. echinata*, apresentando comportamento semelhantes, sendo os indivíduos de *S. parahyba* que tiveram as menores cargas negativas. Por outro lado, *M. polymorphum* foram os que apresentaram as maiores cargas positivas. Um indivíduo de cada espécie de *P. granulosum* e *L. leucocephala* também apresentaram cargas positivas.

Figura 13 - Dendrograma de dispersão dos indivíduos estudados composta pelos Fatores 1 e 2.



Fonte: Autora (2021).

Ao observar o Fator 2, as cargas com valores altos positivos foram para as espécies *T. roseo-alba*; *P. taeda*; *P. granuloso*; *E. urograndis*; um indivíduo de *L. leucocephala*, e dois de *M. polymorphum*. Para as cargas negativas, tiveram agrupamentos os indivíduos de *P. echinata*, *S. parahyba*, e um indivíduo de cada espécie de *E. urograndis*, *L. leucocephala* e *M. polymorphum*. Diante dos resultados, atenta-se para comportamento diferente das espécies e entre espécimes para as características morfológicas.

A análise fatorial múltipla permitiu classificar as variáveis de maior significância para a construção dos diferentes fatores. De modo geral, ocorreram variações significativas nas variáveis analisadas, indicando um comportamento diferenciado das espécies para a formação de cada grupo, sugerindo que as espécies pertencente ao mesmo grupo poderão ter semelhantes rendimentos do escoamento pelo tronco, entretanto, os resultados mostraram que houve indivíduos da mesma espécie que compôs diferentes fatores, o dando-nos a inferir que não é apenas um Fator que resume o rendimento do escoamento pelo tronco mas conjunto dos fatores.

Com o intuito de identificar como as características morfológicas resultantes da análise fatorial (Estrutura do tronco; Estrutura da copa; Estrutura da casca) se correlacionaram com o Sy (mm), foi realizada a análise de correlação de Spearman (Tabela 9), agrupando as espécies em relação as características texturais das cascas em sulcada; esfoliativa; e lisa. Para o grupo

de espécies com cascas sulcada o Sy foi fortemente correlacionado com o fator Estrutura da copa e Estrutura do tronco, enquanto que o fator Estrutura da casca possui uma correlação negativa forte.

Tabela 9 - Coeficientes da correlação de Spearman entre o escoamento pelo tronco - Sy (mm) dos scores fatoriais da Estrutura do tronco; Estrutura da copa e Estrutura da casca por diferentes morfologias da casca.

		Esfoliativa	Sulcada	Lisa
Esfoliativa	Sy x Estrutura do tronco	0,41	-	-
	Sy x Estrutura da copa	-0,50	-	-
	Sy x Estrutura da casca	0,34	-	-
Sulcada	Sy x Estrutura do tronco	-	0,84	
	Sy x Estrutura da copa	-	0,99	
	Sy x Estrutura da casca	-	-0,99	
Lisa	Sy x Estrutura do tronco	-	-	-0,88
	Sy x Estrutura da copa	-	-	-0,76
	Sy x Estrutura da casca	-	-	0,88

Fonte: Autora (2021).

Para o grupo de espécie que contém a casca esfoliativa, ainda que moderada, o Sy melhor se relacionou positivamente com o fator Estrutura do tronco e correlação negativa com o fator Estrutura da copa. Esse resultado reforça a observação que se teve no campo das espécies que possuem casca esfoliativa, o qual possuem o tronco mais retilíneo facilitando a condução do SF, conseqüentemente resultando no maior volume de água escoado pelo tronco, sem que ocorra pontos de gotejamento e a perda de água. Levia et al. (2015) reforça que troncos mais retos com maior número de galhos inclinados e menor número de folhas seriam mais eficientes no escoamento pelo tronco.

Referente as espécies com casca lisa, o Sy teve correlação positiva para a Estrutura da casca, entretanto negativa para Estrutura do tronco e Estrutura da copa. É interessante ressaltar que, as espécies que possuem casca lisa tiveram baixos Sy em comparação com as espécies que possuem cascas mais ásperas, ao contrário dos resultados encontrados por Brook et al. (2012) o qual afirma que, as espécies de casca áspera têm maior capacidade de retenção de água geralmente resultando em menor SF do que as espécies de casca lisa. Zhang et al. (2021) exploraram os padrões globais dos estudos voltados para a o SF a fim de distinguir quais fatores bióticos e abióticos são mais influentes no controle do volume do SF e concluíram que as árvores / arbustos com cascas lisas tendiam a conter mais volume de SF do que aqueles com cascas ásperas. Entretanto no nosso estudo, uma variabilidade interespecífica pode ser observada quanto ao rendimento do SF, podendo ser atribuídas a diferença na textura da casca.

Os maiores volumes do SF não foram encontrados em espécies de casca lisa, todavia as espécies que possuem cascas esfoliativa tiveram maior destaque.

Preocupa-se em ter cautela na visão unilateral da casca quanto ao rendimento do escoamento pelo tronco, sabendo que a água escoada pelo tronco não surge a partir do tronco da árvore. Ao chover, inicialmente ocorre a saturação do dossel só então que essa água é escoada pelo tronco, por esse motivo, deve ser levado em consideração as condições da copa, tais como, a morfologia da folha, ângulo de inserção das folhas e galhos. Há espécies que a arquitetura da copa favorece o escoamento pelo tronco, como é o caso da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) que a arquitetura da copa contribuiu para a interceptação das chuvas, apresentando o escoamento pelo tronco relativamente alto mesmo em plantas jovens (CORRÊA *et al.*, 2016).

Vale relatar que, durante a coleta dos dados percebeu-se que em eventos de chuva com menores volumes de precipitação, espécies com casca lisa obtiveram maiores volumes do escoamento pelo tronco em relação as espécies com casca áspera, no entanto, em eventos com maior precipitação, espécies com casca áspera tiveram maiores volumes do SF. Resultados corroboram aos relatados por Crockford e Richardson (2000) que atestaram que espécies de casca lisa desenvolviam maiores volumes de escoamento do tronco, mesmo após eventos de chuva menores.

Existem vários outros fatores envolvidos no processo do SF de tal maneira que o escoamento pelo tronco não possa ser explicado por apenas um componente. Além do mais, o presente estudo não levaram em consideração as interações das características da chuva com outros fatores meteorológicos, fatores esses que interferem no escoamento pelo tronco. Cayuela *et al.* (2018) e Rakestraw *et al.* (2019) chegaram à conclusão de que o rendimento real do SF pode ser calculado a partir de um grande número de variáveis bióticas e abióticas relacionadas entre si em uma análise integrada.

4 CONCLUSÃO

Nossos resultados forneceram uma avaliação sobre como as características dendrométricas e morfológicas afetam o escoamento pelo tronco de árvores em ambiente urbanizado, sendo um importante passo em direção a uma melhor compreensão das funções ecohidrológicas das árvores para o sistema urbano.

O rendimento do escoamento pelo tronco das espécies analisadas apresentou diferentes influências tanto das características dendrométricas quanto morfológicas. Os resultados para as

espécies em conjunto da relação direta das variáveis dendrométricas mostraram que a altura do total da árvore é o fator mais contribuinte para o rendimento do escoamento pelo tronco, enquanto que Apc teve a menor contribuição. Para as características morfológicas, a densidade da copa teve maior influência para o Sy, entretanto, relação inversa foram encontradas, sendo que a tortuosidade do tronco foi a variável que menos contribuiu para o rendimento. Na análise interespecies, as correlações positivas para as características dendrométricas foram para *E. urograndis* e *P. echinata* quanto a altura total; *L. leucocephala* e *M. polymorphum* para área de projeção da copa; e *P. taeda* para o DAP. Em contrapartida, as espécies *S. parahyba*, *P. granulosum* e *T. roseoalba* tiveram relação inversa quanto ao Sy para todas as variáveis.

O emprego da análise fatorial múltipla conseguiu reduzir o número de informações morfológicas, a um pequeno número de fatores que sintetizam a caracterização das árvores, dessa forma, foram analisadas as relações do Sy com as características morfológicas, nas quais, as espécies que possuem casca esfoliativa melhor correlacionaram-se positivamente com a estrutura do tronco; espécies com casca sulcada foram melhor relacionadas com estrutura da copa e tronco; por fim, espécies com casca lisa, a relação positiva foi referente a estrutura da casca, indicando um comportamento diferenciado das espécies para formação dos grupos.

REFERÊNCIAS

- ABOAL, J. R. *et al.* The measurement and modelling of the variation of stemflow in a laurel forest in Tenerife, Canary Islands. **Journal of Hydrology**, v. 221, p. 161–175, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00086-4). Acesso em: 8 nov. 2021.
- ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Influence of meteorological factors and polluting environment on rain chemistry and wet deposition in a rural area near Chimay, Belgium. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 7, p. 1426–1439, mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.013>. Acesso em: 8 nov. 2021.
- ARANHA, F.; ZAMBALDI, F. **Análise fatorial em administração**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257–262, abr. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000200014>. Acesso em: 8 nov. 2021.
- BALIEIRO, R. *et al.* Influence of Dendrometric and Morphological Characteristics on Stemflow in a Forest-Savanna Transition Area in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 33, n. 3, p. 368–377, 9 ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26525/jtfs2021.33.3.368>. Acesso em: 8 nov. 2021.

BRANTLEY, S. T.; MINIAT, C. F.; BOLSTAD, P. V. Rainfall partitioning varies across a forest age chronosequence in the southern Appalachian Mountains. **Ecohydrology**, v. 12, n. 4, 28 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.2081>. Acesso em: 8 nov. 2021.

BROWN, J. H.; BARKER, A. C. An analysis of throughfall and stemflow in mixed oak stands. **Water Resources Research**, v. 6, n. 1, p. 316–323, fev. 1970. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1029/WR006i001p00316>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CAYUELA, C. *et al.* Effect of biotic and abiotic factors on inter- and intra-event variability in stemflow rates in oak and pine stands in a Mediterranean mountain area. **Journal of Hydrology**, v. 560, p. 396–406, 1 maio 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.050>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_118.html. Acesso em: 20 jul. 2020.

CORRÊA J. B. L *et al.* The influence of the number of leaves in the macaúba palm *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. on the correlation between stemflow and gross precipitation: **Revista Árvore**. 2016;40(3):387-93, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300002>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 16–17, p. 2903–2920, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6). Acesso em: 8 nov. 2021.

DIETZ, J. *et al.* Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1–3, p. 170–178, dez. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.044>. Acesso em: 8 nov. 2021.

DUBREUIL, V. *et al.* Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 3, p. 1446–1456, 15 mar. 2019. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.5893>. Acesso em: 8 nov. 2021.

FORD, E. D.; DEANS, J. D. The Effects of Canopy Structure on Stemflow, Throughfall and Interception Loss in a Young Sitka Spruce Plantation. **The Journal of Applied Ecology**, v. 15, n. 3, p. 905, dez. 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2402786>. Acesso em: 8 nov. 2021.

HOFHANSL, F. *et al.* Controls of hydrochemical fluxes via stemflow in tropical lowland rainforests: Effects of meteorology and vegetation characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 452–453, p. 247–258, 25 jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.057>. Acesso em: 8 nov. 2021.

HONDA, E. A.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado. **Ecohydrology**, v. 8, n. 7, p. 1351–1362, 1 out. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.1587>. Acesso em: 8 nov. 2021.

ILEK, A. M.; KUCZA, J.; MORKISZ, K. Hydrological properties of bark of selected forest tree species. Part 2: Interspecific variability of bark water storage capacity. *Folia Forestalia Polonica, Series A - Forestry*, v. 59, n. 2, p. 110–122, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ffp-2017-0011>. Acesso em: 8 nov. 2021.

LEVIA, D. F. *et al.* Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. **Journal of Hydrology**, v. 380, n. 1–2, p. 112–120, 15 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.028>. Acesso em: 6 abr. 2020.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, n. 1–4, p. 1–29, abr. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2). Acesso em: 8 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 69, n. 37, p. 34, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>. Acesso em: 8 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils. **Catena**, v. 64, n. 1, p. 117–137, 30 nov. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.001>. Acesso em: 8 nov. 2021.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees - The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 13, n. 1, p. 192–197, 1 jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.09.001>. Acesso em: 8 nov. 2021.

MAGLIANO, P. N. *et al.* Interception loss, throughfall and stemflow by *Larrea divaricata*: The role of rainfall characteristics and plant morphological attributes. **Ecological Research**, v. 34, n. 6, p. 753–764, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12036>. Acesso em: 8 nov. 2021.

MANFROI, O. J. *et al.* The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 13, p. 2455–2474, set. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.1474>. Acesso em: 8 nov. 2021.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo, n. 45, 1999.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de Dados Qualitativos**: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde Humanas e Sociais. São Paulo: EdUSP, 1999.

RAKESTRAW, E. *et al.* Quantification of Stemflow in Three Isolated Shrub Species in an Urban Environment. **Frontiers in Built Environment**, v. 5, 1 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00110>. Acesso em: 8 nov. 2021.

SADEGHI, S. M. M.; GORDON, D. A.; VAN STAN II, J. T. A Global Synthesis of Throughfall and Stemflow Hydrometeorology. *In*: VAN STAN, J. T. I.; GUTMANN, E.;

FRIESEN, J. (Ed.). **Precipitation Partitioning by Vegetation**. Switzerland: Springer International Publishing, 2020. p. 49–70. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.0011010.1007/978-3-030-29702-2_4. Acesso em: 8 nov. 2021.

SCHOOLING, J. T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>. Acesso em: 8 nov. 2021.

SIEGERT, C. M.; LEVIA, D. F. Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. PA, p. 446–454, 7 nov. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.038>. Acesso em: 8 nov. 2021.

TANAKA, N. *et al.* What factors are most influential in governing stemflow production from plantation-grown teak trees? **Journal of Hydrology**, v. 544, p. 10–20, jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.010>. Acesso em: 8 nov. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.* Stemflow variability across tree stem and canopy traits in the Brazilian Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 308–309, n. July, p. 108551, out. 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108551>. Acesso em: 8 nov. 2021.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T. Does Exists Some Relationship between Restoration and Hydrology of Forests Ecosystems? **Agricultural Research & Technology: Open Access Journal**, v. 13, n. 4, p. 117–120, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.13.555894>. Acesso em: 8 nov. 2021.

VAN STAN II, J. T.; LEVIA, D. F. Inter- and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. **Ecohydrology**, v. 3, n. 1, p. 11–19, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.83>. Acesso em: 8 nov. 2021.

VAN STAN, J. T. *et al.* Effects of wind-driven rainfall on stemflow generation between codominant tree species with differing crown characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 9, p. 1277–1286, set. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.05.008>. Acesso em: 8 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; VAN STAN, J. H.; LEVIA, D. F. Meteorological influences on stemflow generation across diameter size classes of two morphologically distinct deciduous species. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 10, p. 2059–2069, 14 nov. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0807-7>. Acesso em: 8 nov. 2021.

XIAO, Q.; MCPHERSON, G. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 755–769, nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0192-5>. Acesso em: 8 nov. 2021.

YUE, K. *et al.* Global patterns and drivers of rainfall partitioning by trees and shrubs. **Global Change Biology**, v. 27, n. 14, p. 3350–3357, 1 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15644>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ZHANG, Y. feng *et al.* Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 1084–1095, 1 ago. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.060>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CAPÍTULO III: COMO OS TRAÇOS ESTRUTURAIS DAS ÁRVORES SE RELACIONAM COM O TRANSPORTE DE METAZOÁRIOS ATRAVÉS DO ESCOAMENTO PELO TRONCO? ³

RESUMO

Os metazoários não são medidos diretamente em estudos hidrológicos, e a sua presença no escoamento pelo tronco é frequentemente relatada como fator contribuinte para a contaminação da amostra. O transporte de diferentes organismos para o solo através do escoamento pelo tronco é um processo importante que deve ser discutido nos estudos sobre ecologia. O estudo atual monitorizou o escoamento pelo tronco em 8 espécies arbóreas durante 12 meses, a fim de investigar o papel desempenhado por este processo hidrológico no transporte de metazoários para o solo, bem como (1) analisar a composição, abundância e transporte dos metazoários através do escoamento pelo tronco, que é intrínseco às espécies arbóreas investigadas - enfoque nas espécies; (2) analisar a abundância e transporte dos metazoários através do escoamento pelo tronco, com base em grupos de características estruturais das árvores; (3) e comparar a abundância e transporte dos metazoários identificados nos itens anteriores, investigando a possibilidade de padronizar a dispersão dos metazoários com base em características estruturais semelhantes. A investigação atual também incluiu traços morfológicos de árvores tais como textura da casca, diâmetro do caule à altura do peito (DAP) e relação altura/largura do dossel (H:W). Estes dados foram medidos em todas as árvores e classificados em três classes diferentes, nomeadamente: (1) textura sulcada, em escala / esfoliante e lisa; (2) DAP: <10, 10-20 e >20 cm; e (3) H:W: <1, 1-2 e >2. A análise de todas as 288 amostras mostrou 1.307 indivíduos distribuídos em 7 classes (16 ordens), e um organismo a nível de filo. Houve variações consideráveis na abundância dos metazoários [ind L⁻¹] no escoamento pelo tronco, que variou de 1,0 ind L⁻¹ em *Pleroma granulatum* a 16,9 ind L⁻¹ em *Pinus taeda*. Arachnida, Collembolans e Insecta foram os táxos mais comuns; representaram 10%, 31% e 56% do total de metazoários encontrados no escoamento pelo tronco, respectivamente. A análise dos traços estruturais individuais das árvores mostrou que *Pinus taeda* (árvore em escala / esfoliante + D>22 + H:W1-2) registrou a maior abundância, enquanto *Eucalyptus urograndis* (árvore escala / esfoliante + D>22+ H:W>2) registrou o maior valor de transporte (59 ind m²). Por outro lado, a investigação baseada em grupos de traços estruturais de árvores mostrou uma abundância de metazoários e transporte mais elevados em árvores de casca lisa + D>22 + H:W≥2. Assim, não foi possível padronizar a abundância de metazoários e o transporte com base em grupos de estruturas morfológicas de árvores; este resultado evidenciou que estes traços são específicos da espécie.

Palavras-Chave: Ecologia. Hidrologia Florestal. Collembola. Filosfera.

HOW DO TREE STRUCTURAL TRAITS RELATE TO METAZOAN TRANSPORTATION THROUGH THE STEMFLOW?

ABSTRACT

Metazoans are not directly measured in hydrological studies, and the presence of them in the stemflow is often reported as contributing factor for sample contamination. The transportation

³ Artigo submetido: LIMA, M. T.; URSO-GUIMARÃES, M. V.; VAN STAN, J. T.; TONELLO, K. C. Stemflow metazoan transport from common urban tree species of varying canopy structure. *Urban Ecosystems*, 2021.

of different organisms to the soil via stemflow is an important process that must be taken into account in studies about ecohydrology. The current study has monitored stemflow in 8 forest species for 12 months in order to investigate the role played by this hydrological process in metazoan transportation to the soil, as well as (1) to analyze metazoans' composition, density and transportation through the stemflow, which is intrinsic to the investigated forest species – focus on species; (2) to analyze metazoans' density and transportation through the stemflow based on tree structural trait groups; (3) and to compare the density and transportation of metazoans identified in the previous items and investigate whether it is possible standardizing metazoans' dispersion based on similar structural features. The current investigation has also included tree morphological traits such as bark texture, stem diameter at breast height (DBH) and canopy height-to-width ratio (H:W). These data were measured in all trees and sorted into three different classes, namely: (1) furrowed-, flaky/exfoliating- and smooth-bark texture; (2) <10, 10-20 and >20 cm DBH; and (3) <1, 1-2 and >2 canopy H:W. The analysis of all 288 samples has shown 1,307 individuals distributed into 7 classes (16 orders), and one organism at phylum level. There were considerable variations in metazoans' density [ind L⁻¹] in the stemflow, which ranged from 1.0 ind L stemflow⁻¹ in *Pleroma granulatum* to 16.9 ind. L stemflow⁻¹ in *Pinus taeda*. Arachnida, Collembolans and Insecta were the most common taxa; they accounted for 10%, 31% and 56% of total metazoans found in the stemflow, respectively. The analysis of individual tree structural traits has shown that *Pinus taeda* (flaky-exfoliating-bark tree + D>22 + H:W₁₋₂) recorded the highest density, whereas *Eucalyptus urograndis* (flaky-exfoliating-bark tree + D>22+ H:W_{>2}) recorded the highest transportation value (59 ind m⁻²). On the other hand, the investigation based on tree structural trait groups has shown higher metazoan density and transportation in smooth-bark trees + D>22 + H:W_{≥2}. Thus, it was not possible standardizing metazoan density and transportation based on groups of tree morphological structures; this outcome has proved that these traits are species-specific.

Keywords: Ecohydrology. Forest hydrology. Collembola. Phyllosphere.

1 INTRODUÇÃO

A capacidade de dissolver uma ampla variedade de substâncias, bem como de transportar líquidos e partículas, destaca-se entre as principais propriedades da água. Apesar do grande número de questões não resolvidas sobre o papel dos processos ecohidrológicos nos ecossistemas florestais, é sabido que a água da chuva interage com os ecossistemas florestais e participa de diversos processos ecológicos. Algumas incertezas estão associadas a dificuldades em quantificar a entrada de água, enquanto outras resultam da natureza complexa e interdisciplinar da hidrologia florestal (SCHOLL; EUGSTER; BURKARD, 2011) e suas interações. As plantas podem interceptar e armazenar água no dossel durante as chuvas. Algumas gotas de chuva caem através das lacunas do dossel, mas a maioria delas interage com as folhas, epífitas e/ou superfície da casca. Conseqüentemente, parte da água da chuva evapora de volta para a atmosfera (AHMADI; ATTAROD; BAYRAMZADEH, 2013; JOHNSON; LEHMANN, 2006; LIU *et al.*, 2014) ou atinge o solo das florestas por meio de precipitação interna (Pi) ou escoamento pelo tronco (SF). Embora o SF possa ser < 5% do total da

precipitação em todo o dossel, sua variabilidade espacial é tipicamente maior do que a observada para a precipitação. Isso acontece porque uma fração da água da chuva que passa por um único dossel pode ser altamente ampliada quando é drenada localmente (ou "afunilada") para uma pequena área, (VAN STAN II; ALLEN 2020).

O SF não transporta apenas água. A água da chuva que passa pelas copas das plantas e pela estrutura da casca frequentemente resulta em significativa transferência de soluto e partículas (PONETTE-GONZÁLEZ; VAN STAN II; MAGYAR, 2020) além de organismos. A estrutura das árvores fornece habitat para uma grande variedade de metazoários, líquenes, briófitas e epífitas. As árvores podem apresentar cavidades que, após eventos de chuva, são preenchidos com água e funcionam como habitat para rotíferos, nematoides, tardígrados, ácaros e colêmbolos (GUIDONE; GORDON; VAN STAN, 2021; MILLER; GALLARDO; CLARK, 2013; PONETTE-GONZÁLEZ; VAN STAN II; MAGYAR, 2020; CHISTOPH PTATSCHECK; TRAUNSPURGER, 2014; SHAW, 2015). A vida animal também pode ser observada dentro ou abaixo das cascas mortas: besouros e larvas de borboletas se alimentam de amido ou celulose encontrados no tecido da casca; uma grande variedade de pulgões, aranhas e insetos habitam essas cascas, fungos parasitas ou saprófitos fitopatogênicos colonizam e metabolizam cascas de árvores (PFANZ; ASCHAN, 2001), e oomicetos habitam seu dossel (JAUSS *et al.*, 2021). O SF permite que todas essas comunidades cheguem ao solo, uma vez que os troncos das árvores são o meio que conecta o solo à vida do dossel em um ciclo dinâmico. Assim, esse processo funciona como vetor para a dispersão passiva de diferentes elementos e organismos, os quais, por sua vez, podem afetar a química, o fluxo e a estabilidade do solo, bem como a dinâmica e diversidade populacional do mesmo (PTATSCHECK; GANSFORT; TRAUNSPURGER, 2018).

Os padrões verticais (dentro da detritosfera) e horizontais (dentro da distância do tronco principal ao solo) do SF para a detritosfera (devido à redistribuição da água da chuva do dossel em precipitação interna e escoamento pelo tronco) desempenham um papel significativo nas taxas de decomposição de serrapilheira, um processo que contém várias espécies de fungos, bactérias (VAN STAN II *et al.*, 2020) e os metazoários contribuem sucessivamente. Embora a mesofauna do solo dependa fortemente da umidade do solo, ela é essencialmente terrestre (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979) e deve ser considerada um componente da qualidade do solo, uma vez que esses pequenos invertebrados participam ativamente do processo inicial de fragmentação da matéria orgânica e, conseqüentemente, favorecem a microbiota. decomposição, ciclagem de nutrientes e agregação do solo, principalmente na primeira camada

de solo de 5 cm (LAVELLE *et al.*, 2006; ZAGATTO *et al.*, 2019). A mesofauna causa distúrbios moderados no solo, enquanto a macrofauna influencia significativamente as propriedades físicas do solo. Assim, tanto a mesofauna quanto a macrofauna formam um grupo funcional denominado "engenheiros de ecossistema" (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1997; STORK; EGGLETON, 1992). Os canais abertos por esses animais podem afetar a absorção de água e as taxas de percolação; conseqüentemente, podem afetar a aeração do solo. Da mesma forma, a estrutura das árvores desempenha papel fundamental no suporte, bem como no fornecimento de alimento e abrigo para esses organismos. Poucos estudos relataram os efeitos do fluxo do tronco nas mudanças na estrutura da comunidade da fauna do solo que vive perto de troncos de árvores, com ênfase nos efeitos do fluxo do tronco no pH do solo (JÓŹWIAK; KOZŁOWSKI; JÓŹWIAK, 2013; KANEKO; KOFUJI, 2000; SCHEU; POSER, 1996). No entanto, poucos estudos se concentraram na investigação da contribuição do fluxo do tronco para o transporte de metazoários no caminho entre a copa das árvores e o solo. É necessário levar em consideração que metazoários transportados pelo escoamento do caule também são um indicador do nicho ecológico que vive nas árvores ou é atraído por seus traços estruturais.

Uma vez que pouco se sabe sobre como o SF está associado aos processos de transporte de metazoários, o objetivo do presente estudo foi investigar o mecanismo de dispersão do metazoário através do SF de oito espécies florestais presente em ambiente arborizado com base nas características estruturais das árvores. A hipótese atual é que o SF é um importante rota de transporte de metazoários para o solo que depende da espécie. Os objetivos específicos que orientam o presente estudo compreendem: (1) analisar a composição, abundância e transporte dos metazoários no SF intrínseco às espécies florestais investigadas - foco nas espécies; (2) analisar a abundância e o transporte dos metazoários no SF com base em grupos de características estruturais da árvore - foco em grupos estruturais; (3) comparar a abundância e o transporte dos metazoários identificados nos itens anteriores e investigar se é possível padronizar a dispersão dos metazoários com base em características estruturais semelhantes. Dado o pequeno número de estudos conduzidos nesta área de pesquisa, espera-se que o presente estudo ajude a compreender melhor a associação ecohidrológica entre fauna, hidrologia e características de árvores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo, localizado entre as coordenadas geográficas de 23° 17' S

e 47° 16' O e altitude média de 580 m. O clima da região é classificado como Cwa (Dubreuil *et al.* 2019), temperado seco e quente com verão quente, onde a temperatura anual média é de 22°C e a precipitação média anual é de 1311 mm (CEPAGRI 2020). Está inserido em uma região de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista, com solos dos tipos Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (Oliveira 1999).

O escoamento pelo tronco foi monitorado em oito (8) espécies comumente utilizadas na arborização urbana durante o período de outubro de 2019 à setembro de 2020, sendo elas: *Eucalyptus urograndis*⁴, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho, *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C. Lima & G.P. Lewis, *Pinus taeda* L., *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Pleroma granulatum* (Desr.) D. Don e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. Foram estudados 3 indivíduos de cada espécie, totalizando 24 indivíduos.

2.1 Variáveis hidrológicas

A precipitação foi mensurada em área aberta sem obstruções por meio de três pluviômetros de polietileno instalados a 1,20 m acima do solo. Um funil foi colocado no topo dos pluviômetros para evitar a entrada de folhas, insetos e pequenos animais, que poderiam interromper o fluxo de água, bem como para minimizar a evaporação da água. A taxa de precipitação foi calculada de acordo com Equação 1:

$$P = \frac{V}{A} \quad (1)$$

Onde P é precipitação em aberto (mm), V é o volume acumulado no pluviômetro (L) e A é a área de captação do pluviômetro (m²).

Os coletores da água escoada pelo tronco foram confeccionados com mangueiras (5/8 "cm de diâmetro), submetidas a um corte longitudinal para serem usados como calhas. Foram enrolados 1,5 vez ao redor da haste, começando na altura de ~ 1,3 m, e fixados com silicone de aquário. Uma mangueira menor e intacta foi instalada na extremidade inferior da mangueira seccionada para drenar o SF em um balde de plástico coberto de 20 L. Assim, o escoamento pelo tronco (Sy) foi calculado com base na Equação 2.

$$S_y = \frac{Vt}{Apc} \quad (2)$$

⁴ Híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Onde: S_y = rendimento do SF (mm), V_t = volume total coletado (L), A_{pc} = Área de projeção da copa (m^2).

A fração de escoamento pelo tronco (S_f %) foi calculada conforme segue a Equação 3.

$$S_f \% = \frac{S_y}{P} \times 100 \quad (3)$$

Em que: S_f % é a fração do escoamento, S_y é o rendimento do escoamento pelo tronco (mm) da árvore individual (mm) e P é a precipitação em aberto (mm).

2.2 Amostragem dos Metazoários

A análise de metazoários foi realizada no primeiro evento de chuva de cada mês. As amostras de SF foram filtradas (10 μ m), lavadas com água deionizada e transferidas para tubos de PE de 8 ml; Álcool 70% foi adicionado aos tubos para fins de conservação, antes da análise (Figura 14). Todas as amostras foram mantidas em local protegido da luz solar, em temperatura ambiente, até o momento da identificação.

A abundância de metazoários foi determinada em estereomicroscópio Leica L2, com aumento de 40 \times . Os espécimes foram identificados à nível de espécie, sempre que possível, com base em observações de microscopia Leica Dialux (aumento de 1250 \times). O processo de identificação dos metazoários concentrou-se em mesofauna (pequenos artrópodes com tamanho corporal variando de 0,1 a 2 mm) e macrofauna (tamanho \geq 2 mm). Precauções foram tomadas ao longo do presente estudo a fim de garantir que a parte superior do coletor de conexão entre a mangueira e o recipiente de armazenamento do SF permanecesse vedada, bem como que os metazoários transportados para os recipientes somente derivados desse processo.

Figura 14 - Filtragem de amostra de metazoários com rede coletora de 10 μ m.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

O transporte de metazoários (MT) por stemflow foi estimado para cada espécie investigada. A abundância de metazoários por amostra foi calculada mensalmente [Cs] e multiplicada pelo respectivo SF acumulado [Vs], como segue:

$$C_{si} = \frac{n_s}{V_s} \quad (4)$$

Em que n_s é o número de metazoários por amostra (s) e V_s é a amostra de SF (L).

$$MT = \sum_{n=1}^i [C_{si} * V_i] \quad (5)$$

Em que MT é o transporte anual de metazoários [ind m⁻²] e V_i é o Sy acumulado registrado para o mês i [mm].

Além disso, a abundância anual de entrada de metazoários [C_{ai}] foi estimada para cada organismo identificado MT_i com base na Equação 6 e 7.

$$C_{ai} = \frac{n_i * C_A}{N} \quad (6)$$

Onde é a abundância anual de metazoários i, C_A é a abundância anual de metazoários, N é o número anual total de metazoários encontrados no SF.

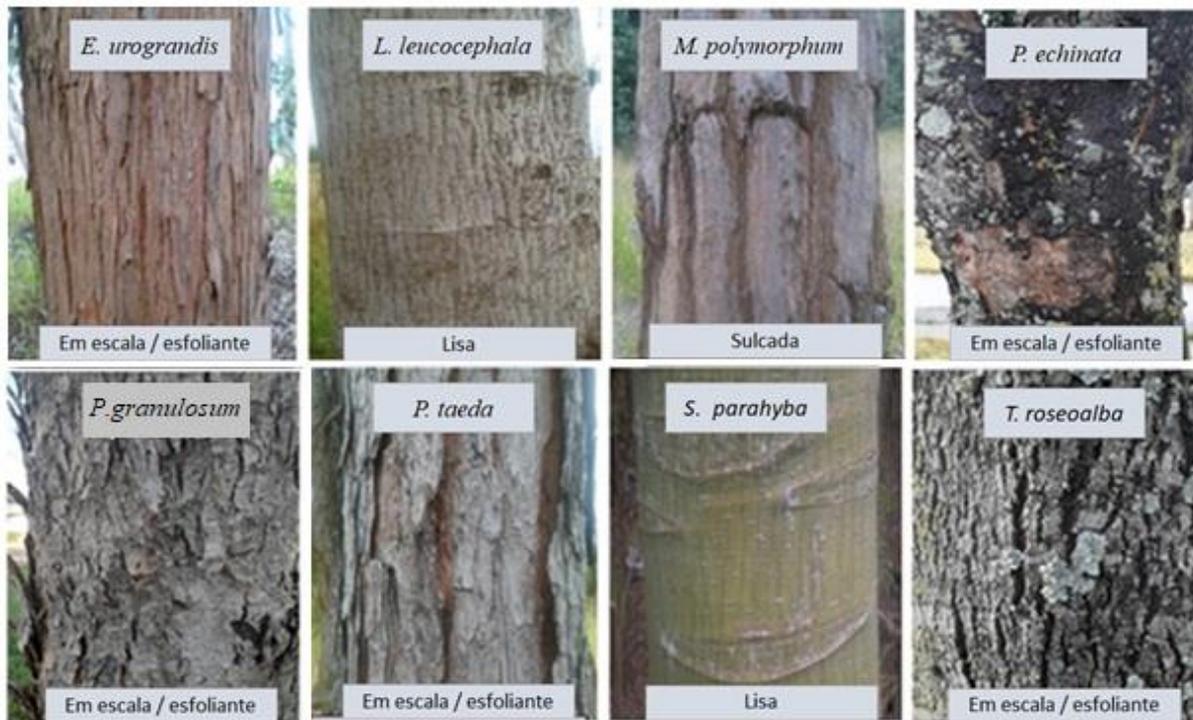
$$MT_i = \frac{C_{ai} * MT}{C_A} \quad (7)$$

2.3 Traços estruturais da árvore

O fato de que a dinâmica do fluxo do tronco também depende de características estruturais, como geometria do dossel, tamanho da árvore e textura da casca, não pode ser esquecido (LEVIA; GERMER, 2015; MALI *et al.*, 2020; METZGER *et al.*, 2019). Os atributos morfológicos e estruturais das árvores investigadas foram analisados com base em três características estruturais, a saber: (1) textura da casca, (2) diâmetro à altura do peito (DAP, cm) e (3) geometria do dossel. As classes de textura da casca foram listadas ao lado de sua representação fotográfica na Figura 15. Essas classes compreendem casca sulcada, em escala / esfoliante e casca lisa. As classes de tamanho das árvores foram categorizadas da seguinte forma: DAP <20 cm ($D_{<20}$), $20 \leq DAP < 22$ cm (D_{20-22}) e DAP ≥ 22 cm ($D_{>22}$). As relações altura-largura do dossel (H: W) foram estimadas para abstrair geometricamente a área de drenagem do escoamento do tronco; eles eram geralmente maiores em dosséis apresentando ramos mais inclinados. A razão H:W foi avaliada nas seguintes classes: H: W <1-m (H: W <1), $1 \leq H: W < 2$ -m (H: W_{1-2}) e H: W ≥ 2 -m (H: $W_{>2}$). Dossel H:W valores < 1 sugeriram uma

forma de dossel mais achatada, valores ~ 1-2 indicaram uma forma de dossel quadrada e valores > 2 possuem uma forma de dossel retangular.

Figura 15 - Tipos de casca observados para todas as oito espécies de árvores investigadas.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

2.4 Estatísticas dos dados

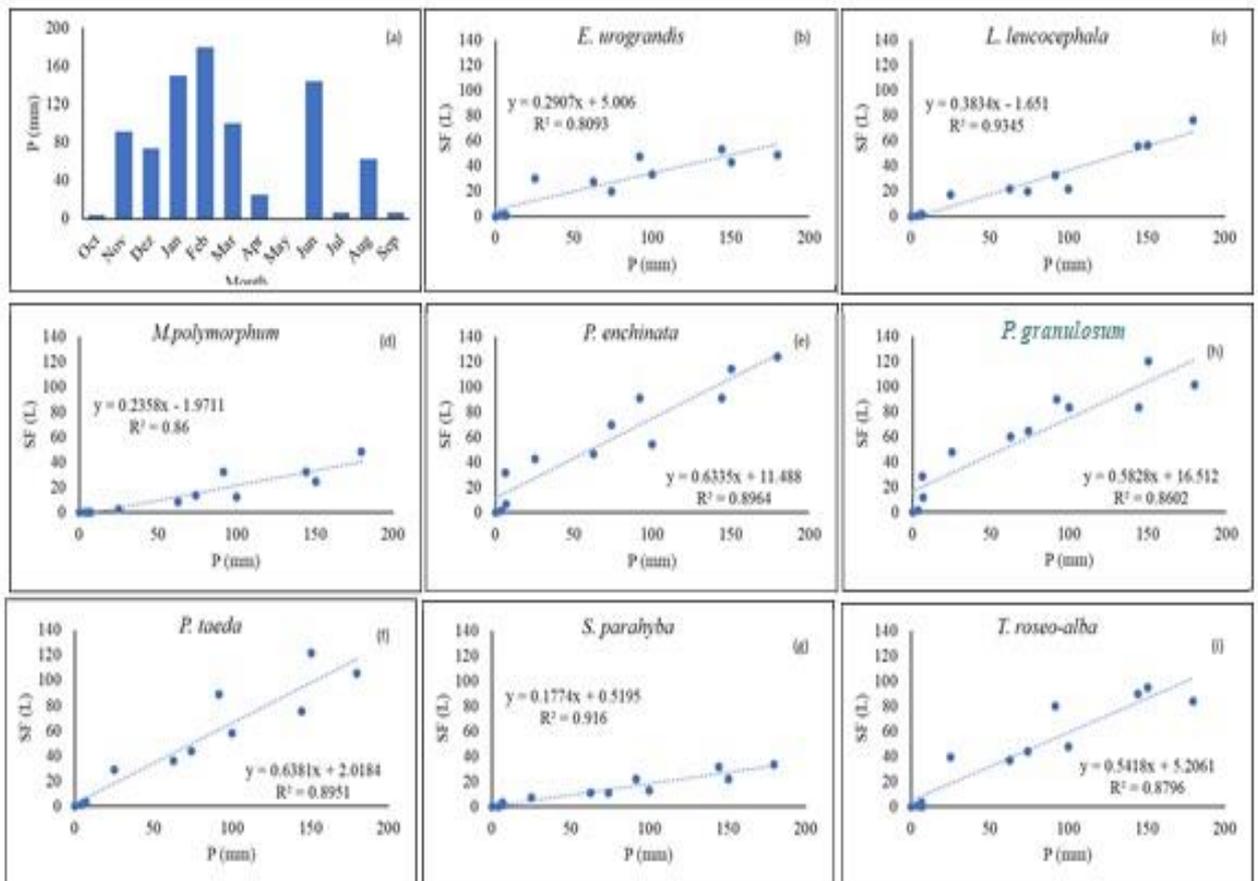
A correlação de Spearman foi usada para calcular a associação entre o volume do SF e a abundância do táxon. Teste de Kolmogorov-Smirnov - teste de Lilliefors (função "*lillie.test*", pacote "*nortest*") e teste de Bartlett (função "*bartlett.test*", pacote "stats") foram aplicados para investigar a homoscedasticidade no software R (R Development Core Team 2018), para fins de análise estatística. A análise de variância (função "*aov*", pacote "stats") foi aplicada aos dados normais por meio do teste de Tukey (função "*TukeyHSD*", pacote "stats"), a um nível de probabilidade de 5%, a fim de analisar as médias registradas para características estruturais (textura da casca, relação DAP e H: W), abundância de metazoários e transporte entre as classes. Os dados que não atenderam às suposições ANOVA foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (função "*kruskal.test*", pacote "stats").

3 RESULTADOS

A precipitação registrada de outubro de 2019 a setembro de 2020 atingiu 845,4 mm; os maiores valores foram registrados em janeiro (150 mm), fevereiro (180 mm) e junho (144 mm)

de 2020 (Figura 16 a). Não houve ocorrência de chuva em maio. O escoamento do escoamento anual registrado para todas as 24 árvores amostradas foi de 58,9 (9,9) mm, correspondendo a 7,0 % da chuva. Todas as árvores mostraram correlação linear forte e positiva entre o volume do escoamento pelo tronco [SF, L] e a taxa de precipitação (Figura 16 b-i). O volume médio do stemflow foi maior em *P. granulosum*, seguido por *P. echinata*; bem como menor em *S. parahyba*, que foi seguida por *M. polymorphum* (Tabela 9). *L. leucocephala* e *M. polymorphum* registraram o menor rendimento de escoamento pelo tronco [Sy, mm], bem como a menor fração de escoamento pelo tronco [Sf, %]. Por outro lado, *P. echinata* e *P. granulosum* registraram as maiores Sf%.

Figura 16 - Taxa de precipitação mensal [mm]; (a) correlação linear do volume do caule do tronco [SF, L y-1] e taxa de precipitação [P, mm] registrada para as espécies de árvores investigadas (b-i).



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

Tabela 5 - Média anual registrada para volume do escoamento pelo tronco [SF, L], rendimento [Sy, mm], fração [Sf, %], diâmetro à altura do peito (DAP) e relação altura / largura do dossel (H:W). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao erro padrão.

Espécies	SF (L)	Sy (mm)	Sf (%)	DAP	H:W
<i>E. urograndis</i>	25.5 (6.0)	2.5 (0.6)	3.1 (0.6)	23.6 (2.9)	2.4 (0.4)
<i>L. leucocephala</i>	25.4 (7.3)	0.5 (0.1)	0.6 (0.1)	19.4 (3.2)	0.6 (0.1)

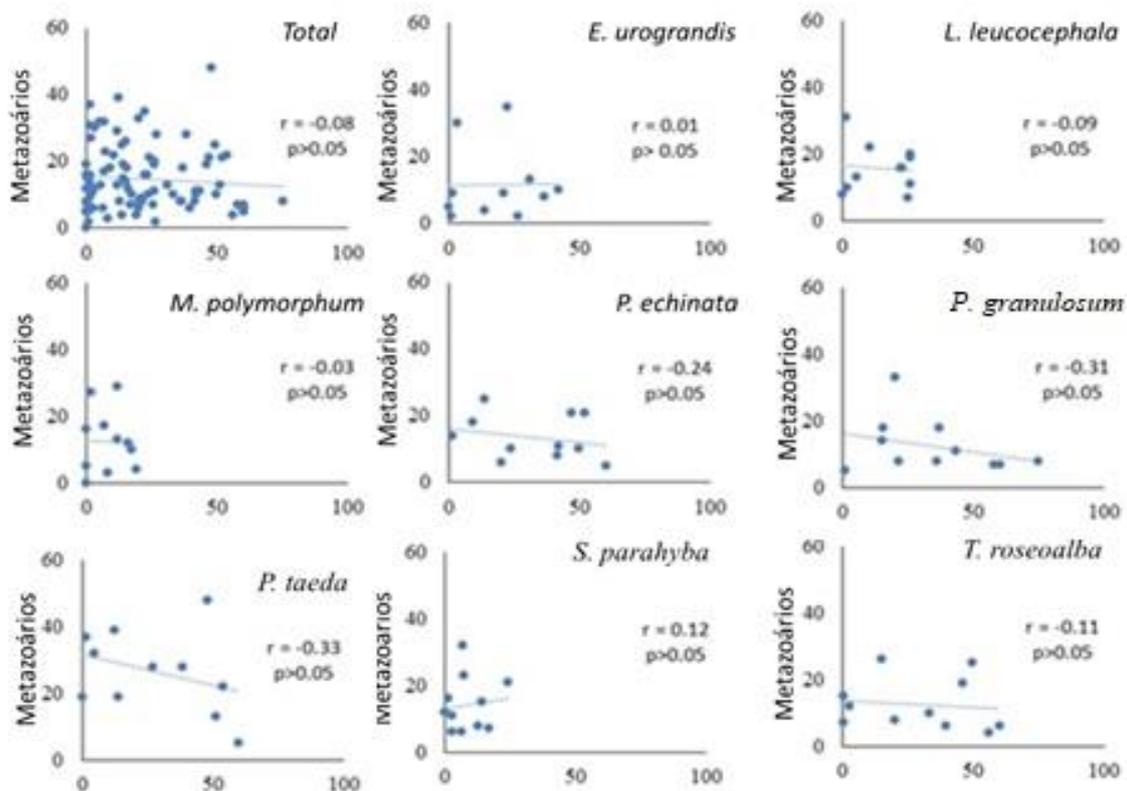
<i>M. polymorphum</i>	14.7 (4.7)	0.5 (0.2)	0.5 (0.1)	20.2 (1.4)	0.8 (0.05)
<i>P. echinata</i>	56.1 (12.3)	2.4 (0.5)	4.1 (0.9)	18.1 (1.3)	0.5 (0.1)
<i>P. taeda</i>	47.0 (12.4)	2.2 (0.6)	2.5 (0.4)	27.2 (3.7)	1.1 (0.1)
<i>P. granulosum</i>	57.6 (11.6)	1.9 (0.4)	3.9 (1.2)	20.0 (2.9)	0.5 (0.02)
<i>S. parahyba</i>	13.0 (3.4)	1.6 (0.4)	2.2 (0.4)	21.1 (0.8)	0.7 (0.3)
<i>T. roseoalba</i>	43.4 (10.6)	1.6 (0.4)	2.1 (0.6)	21.9 (2.5)	0.9 (0.04)

Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

3.1 Abundância de metazoários no escoamento pelo tronco

A taxa de precipitação acumulada registrada para eventos de amostragem de metazoários atingiu 361,8 mm (10,707 L). Houve variações consideráveis na abundância dos metazoários [ind L⁻¹] no SF. No geral, houve uma correlação fraca entre o volume da amostra de SF (L) e a abundância dos metazoários. (Figura 17). Essa correlação apresentou tendência negativa, ou seja, o número de metazoários diminuiu com o aumento do SF (exceto para *S. parahyba*).

Figura 17 - Regressão entre o volume de amostra de SF (L) coletado de espécies de árvores e abundância de metazoários. r = coeficiente de correlação (correlação de Spearman); p = nível de significância.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

3.2 Comunidade de metazoários no escoamento pelo tronco

A abundância média de metazoários calculada com base no conjunto de dados variou de 1,0 ind L⁻¹ SF em *P. granulosum* a 16,9 ind. L⁻¹ SF em *P. taeda* (Figura 18a). Os táxons foram classificados em 7 classes (16 ordens), 1 subclasse e 1 organismo em nível de filo (Tabela 10). Arachnida (Fig. 7A-B), Collembola (Fig. 7C-D) e Insecta (Fig. 7E-I) foram os táxons mais comuns; eles representaram 10%, 33% e 56% do total de metazoários encontrados no SF, respectivamente. Insecta foi a classe mais representativa observada na composição orgânica do caule.

A abundância de aracnídeos variou de 1 ind L⁻¹ em *P. echinata* e *P. granulosum* a 35 ind L⁻¹ em *L. leucocephala* (Tabela 10). Com relação aos colêmbolos, *S. parahyba* apresentou a maior abundância (84 ind L⁻¹), enquanto *P. granulosum* registrou a menor abundância (1 ind L⁻¹). *L. leucocephala*, por sua vez, registrou a maior abundância de Insecta (104 ind L⁻¹), enquanto *P. echinata* e *P. granulosum* registraram a menor abundância (7 ind L⁻¹). Hymenoptera (Fig. 7E-I) e Hemiptera (Fig. 7J) foram os táxons mais representativos da classe Insecta. Táxos como Diplopoda, Gastropoda e Isopoda foram encontrados apenas em *S. parahyba*, *L. leucocephala* e *P. taeda*, respectivamente.

Tabela 6 - Abundância anual de metazoários [Di, ind L⁻¹] no escoamento pelo tronco de oito espécies florestais*.

Di [ind L ⁻¹]	<i>EU</i>	<i>LL</i>	<i>MP</i>	<i>PE</i>	<i>PT</i>	<i>SP</i>	<i>TG</i>	<i>TR</i>	Total
Arachnida	5	35	7	1	11	8	1	10	78
<i>Acari</i>	2	30	2	-	3	6	1	8	
<i>Aranea</i>	3	5	5	1	8	2	-	2	
Collembola	21	25	29	7	78	84	1	4	249
Diplopoda	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Gastropoda	-	-	-	-	-	0	-	-	3
Insecta	43	104	45	7	97	84	7	36	423
<i>Blatodea</i>	-	-	-	-	2	5	-	-	
<i>Blattaria</i>	3	5	-	-	3	2	-	1	
<i>Coleoptera</i>	5	8	1	-	3	6	-	-	
<i>Dermaptera</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	
<i>Diptera</i>	-	3	3	-	3	10	-	-	
<i>Hemiptera</i>	3	1	3	1	6	15	1	2	
<i>Hymenoptera</i>	29	80	34	5	71	45	6	30	
<i>Lepidoptera</i>	-	2	1	-	-	-	-	1	
<i>Mantodea</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	
<i>Neuroptera</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	

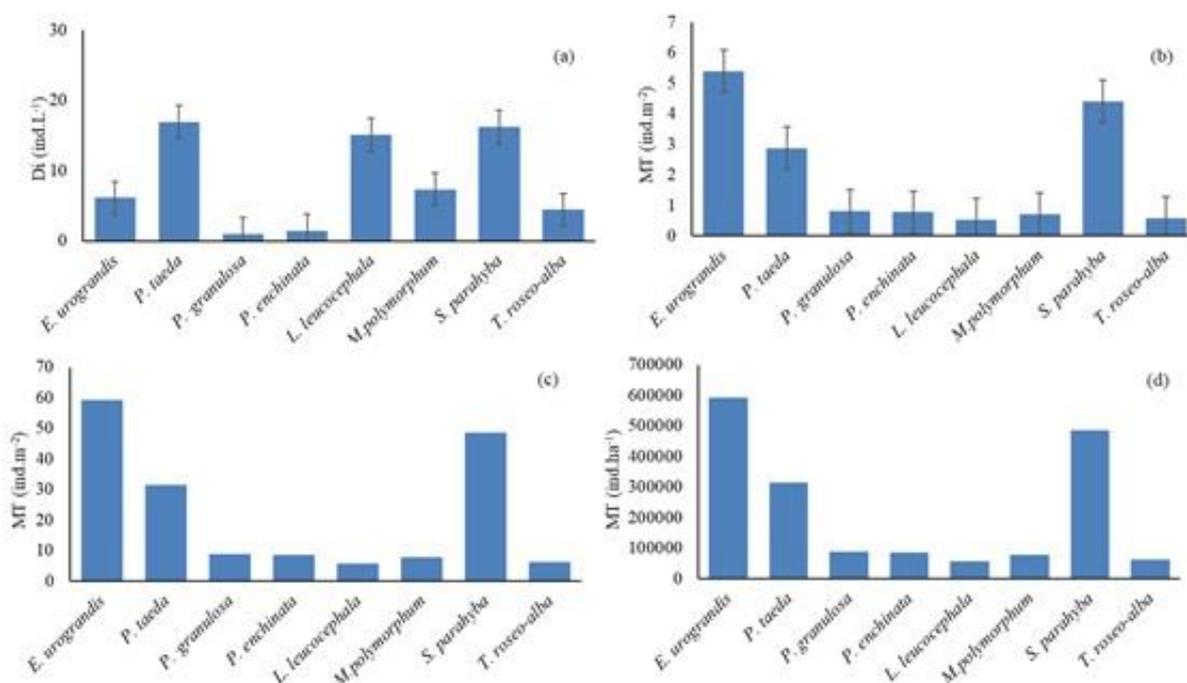
<i>Orthoptera</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Psocoptera</i>	1	2	2	1	6	-	-	-
<i>Thysanoptera</i>	2	2	1	-	-	1	-	1
Isopoda	1	-	-	-	-	-	-	1
Oligochaeta	-	1	-	-	1	-	-	2
Filo Tardigrada	1	-	-	-	-	1	-	2

Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems. **EE: Eucalyptus urograndis*, *PT: Pinus taeda*, *TG: Pleroma granulatum*, *PE: Paubrasilia echinata*, *LL: Leucaena leucocephala*, *MP: Moquiniastrum polymorphum*, *SP: Schizolobium parahyba*, *TR: Tabebuia roseoalba*.

3.3 Metazoários transportados no escoamento pelo tronco (MT)

E. urograndis e *S. parahyba* registraram o MT médio mais alto, que correspondeu a 8 a 10 vezes o MT médio registrado para *L. leucocephala* (Figura 18b). Se levarmos em consideração a extrapolação por área, *E. urograndis* e *S. parahyba* transportaram 59 e 49 ind m⁻² via SF, respectivamente, enquanto *L. leucocephala* e *T. roseoalba* transportaram 6 ind m⁻², cada (Figura 18c). Por outro lado, o transporte anual de metazoários registrados para espécies de árvores investigadas ao longo de 12 meses variou de aproximadamente 593.617 ind ha⁻¹ (*E. urograndis*) a 58.261 ind ha⁻¹ (*L. leucocephala*), como mostrado na Figura 18d.

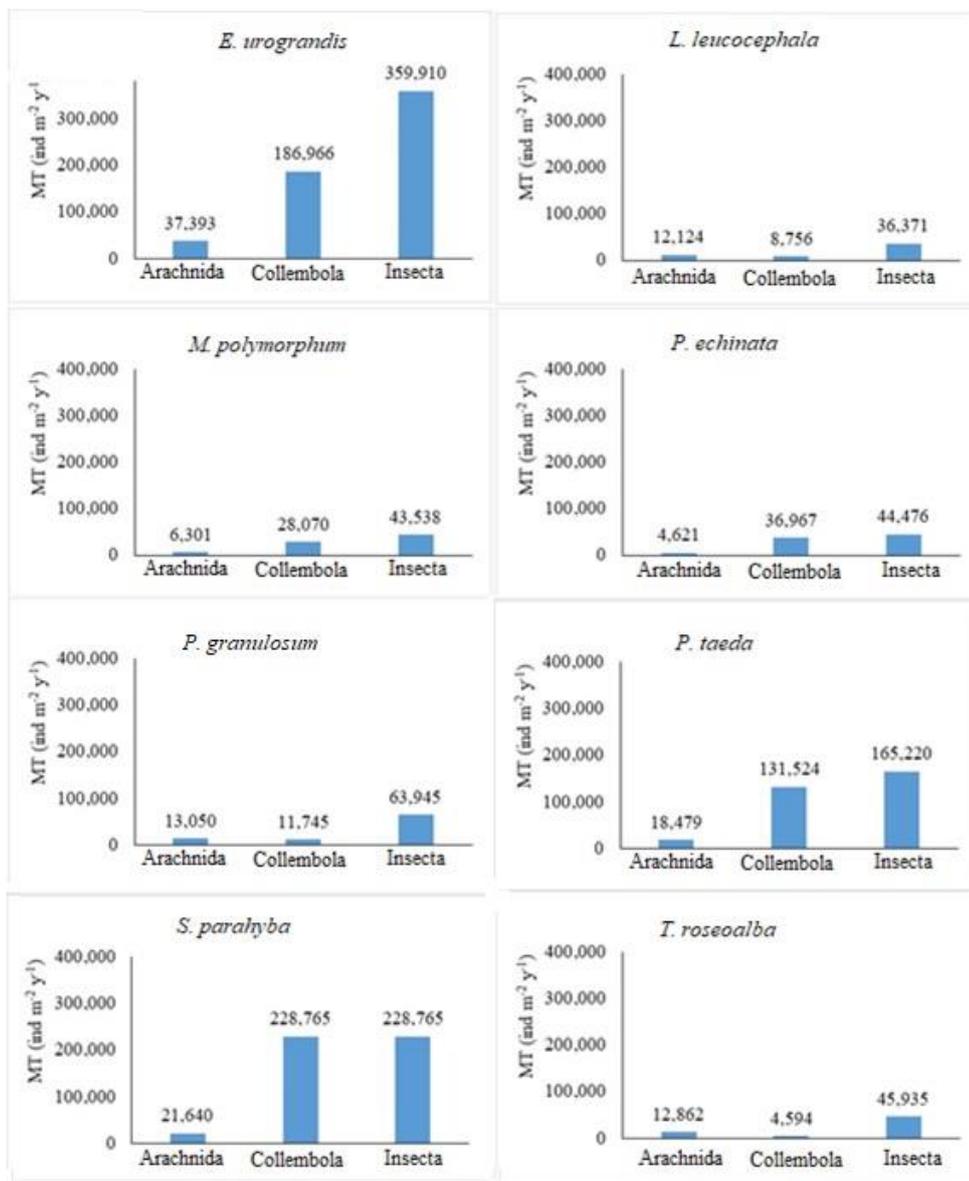
Figura 18 – (a) Abundância média de metazoários [ind L⁻¹], (b) transporte médio de metazoários [ind m⁻²], (c) transporte médio anual de metazoários [ind m⁻² y⁻¹] e (d) transporte anual de metazoários por hectare [ind ha y⁻¹] registrados para oito espécies de árvores.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

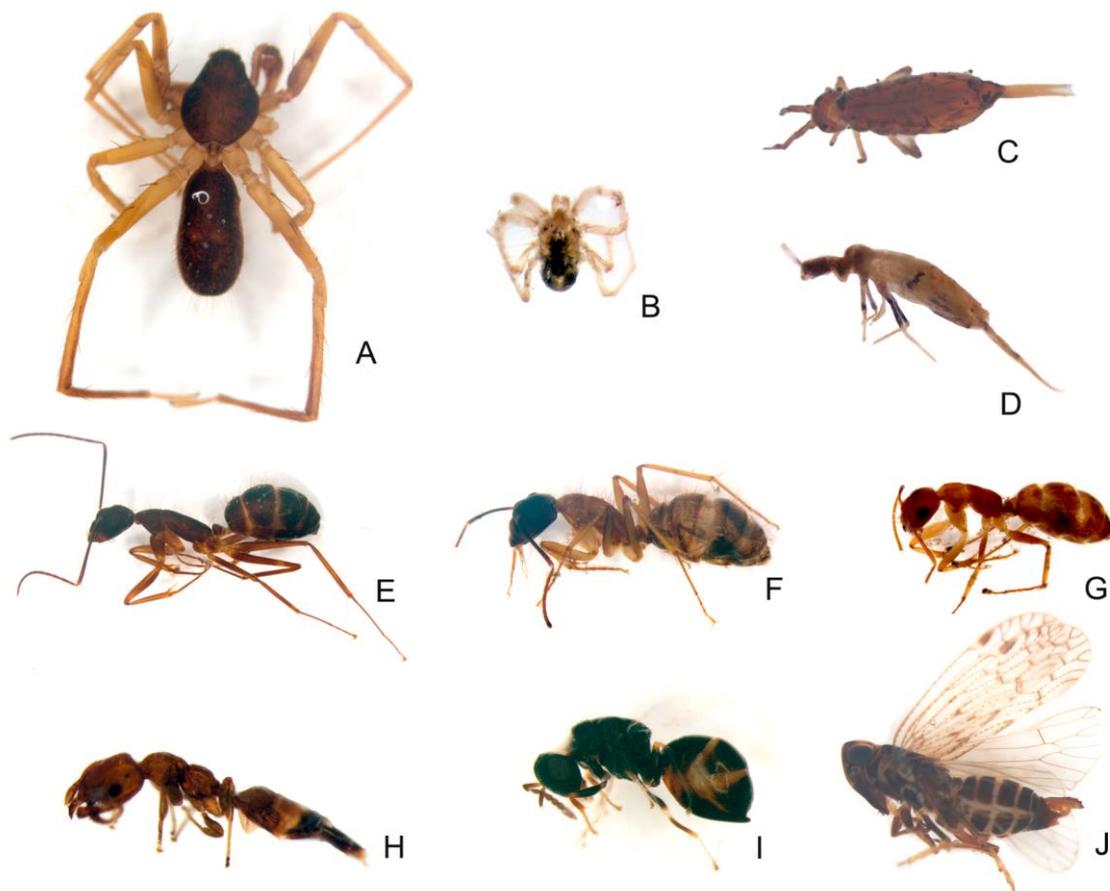
Os maiores transportes de metazoários foram divididos em três classes principais: Arachnida, Collembola e Insecta, que representaram 98% -100% do total de metazoários. O maior transporte anual dessas três classes foi associado a *E. urograndis* e *S. parahyba* (Figura 19). O transporte anual de Arachnida variou de 4.621 indivíduos em *P. echinata* a 37.393 indivíduos em *E. urograndis*; o transporte anual de colêmbolos variou de 4.594 indivíduos em *T. roseoalba* a 228.765 indivíduos em *S. parahyba*; enquanto o transporte anual de Insecta variou de 36.371 indivíduos em *L. leucocephala* a 359.910 indivíduos em *E. urograndis*. Na Figura 20 são apresentados as espécimes de metazoários transportados no escoamento pelo tronco.

Figura 19 - Transporte anual de Arachnida, Collembola e Insecta [ind ha⁻¹ y⁻¹] por SF em oito espécies de árvores.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

Figura 20 - Espécimes de metazoários transportados no escoamento pelo tronco. A. Aranea, B. Acari, C–D. Collembola, E–I. Hymenoptera, J. Hemiptera.



Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

3.4 Associações entre morfometria de árvore, escoamento pelo tronco e metazoários

Nenhuma diferença estatística foi observada na abundância e no transporte dos metazoários entre as classes de agrupamento estrutural. A análise do grupo de textura da casca mostrou diferenças estatísticas no SF entre as classes de casca; no entanto, não houve diferenças na abundância de metazoários e transporte. Os maiores volumes médios do escoamento pelo tronco foram associados à classe em escala / esfoliante; a maior abundância de metazoários e valores de transporte foram registrados para árvores de casca lisa. Árvores com D_{20-22} registraram menor volume do escoamento e abundância de metazoários; no entanto, não resultou em menor taxa de transporte de metazoários. Árvores com $D_{>22}$ registraram as maiores taxas de abundância e transporte da mesofauna e macrofauna neste grupo. Quanto ao grupo de geometria do dossel, Sy aumentou conforme a razão H:W aumentou, assim como o transporte de metazoários (Tabela 11).

Tabela 7 - Abundância e transporte de metazoários e SF (L) com base em grupos estruturais. ⁵

Classe	Espécies	Sy (mm)	SF (L)	Abundância (ind L ⁻¹)	MT (ind m ²⁻¹)
Sulcada	<i>M. polymorphum</i>	0.4 (0.2) a	14.7 (4.7) a	7.3 (5.3) a	0.7 (0.3) a
	<i>E. urograndis</i>				
Em escala / Esfoliante	<i>P. echinata</i>				
	<i>P. taeda</i>	1.8 (0.4) b	45.9 (4.9) b	6.0 (2.8) a	2.1 (0.9) a
	<i>P. granulosum</i>				
	<i>T. roseoalba</i>				
Lisa	<i>L. leucocephala</i>	0.9 (0.2) a	19.2 (4.1) a	15.7 (8.8) a	2.5 (1.0) a
	<i>S. parahyba</i>				
<20	<i>P. echinata</i>	1.2 (0.3) a	40.7 (7.7) a	8.3 (6.0) a	1.0 (0.3) a
	<i>L. leucocephala</i>				
	<i>P. granulosum</i>				
≥20≤22	<i>M. polymorphum</i>	1.2 (0.2) a	32.2 (4.9) a	7.2 (3.6) a	1.9 (0.5) a
	<i>S. parahyba</i>				
	<i>T. roseoalba</i>				
>22	<i>E. urograndis</i>	2.0 (0.4) a	36.2 (7.1) a	11.5 (6.9) a	4.4 (2.1) a
	<i>P. taeda</i>				
	<i>P. echinata</i>				
	<i>M. polymorphum</i>				
<1	<i>L. leucocephala</i>	1.2 (0.2) a	38.2 (4.3) a	7.6 (3.1) a	1.6 (0.4) a
	<i>S. parahyba</i>				
	<i>P. granulosum</i>				
	<i>T. roseoalba</i>				
≥1<2	<i>P. taeda</i>	1.9 (0.6) a	51.2 (13.0) a	6.1 (4.0) a	3.4 (1.1) a
≥2	<i>E. urograndis</i>	2.1 (0.6) a	27.8 (6.0) a	16.9 (13.0) a	5.5 (4.2) a

Fonte: Lima et al. (2021) - artigo submetido em Urban Ecosystems.

4 DISCUSSÃO

A quantidade e a composição dos organismos transportados pelo escoamento pelo tronco podem variar amplamente, dependendo da estrutura e diversidade da floresta ou durante diferentes estações do ano (PTATSCHECK; MILNE; TRAUNSPURGER, 2018). Embora a mesofauna e a macrofauna sejam residentes onipresentes do dossel e do tronco (GUIDONE; GORDON; VAN STAN, 2021), o presente estudo é a primeira investigação conhecida a

⁵ Os valores seguidos da mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente de cada um no teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

documentar a abundância e o transporte da mesofauna e macrofauna pelo escoamento pelo tronco de oito espécies de árvores isoladas no Brasil, importante ferramenta para dimensionar quanto se perde de mesofauna e macrofauna quando árvores são derrubadas

No geral, mesofauna, Collembola e Acari foram os organismos dominantes no SF. Os colêmbolos têm importante função detritofera, pois contribuem para a decomposição da matéria orgânica e para o controle da população de microrganismos, principalmente fungos (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016). Sua presença em troncos de árvores pode variar verticalmente: 11 morfoespécies de colêmbolos foram encontradas até 5 metros de altura em madeiras de lei mistas (*Quercus robur* L., *Tilia europea* L. e *Aesculus hippocastaneum* L.) (SHAW, 2015). A maioria das espécies de colêmbolos (exceto *P. echinata*, *P. granulatum* e *T. roseoalba*) investigadas no presente estudo registraram abundância média (21-84 ind L⁻¹) maior do que a relatada por Ptatscheck, Milne e Traunspurger (2018) para casca lisa árvores: 7 colêmbolos L⁻¹ para *C. betula* e 8 colêmbolos L⁻¹ para *F. sylvatica* escoada pelo tronco; bem como do que (4–6 colêmbolos L⁻¹) relatado por Guidoni, Gordon e Van Stan (2021). A abundância média de *S. parahyba* (árvore de casca lisa) foi semelhante, embora ligeiramente inferior, à relatada para *Q. robur*, árvore de casca áspera (PTATSCHECK; MILNE; TRAUNSPURGER, 2018).

Para o melhor do conhecimento dos autores atuais, nenhuma pesquisa investigou a incidência de Acari e Insecta em SF. Os ácaros atuam principalmente como predadores e ajudam a controlar as populações de outros organismos no solo, principalmente a microbiota. A classe Insecta, por sua vez, apresenta a maior taxa de incidência em ambientes florestais (BERTI FILHO; FONTES, 1995), embora diminua com o aumento do nível de antropização do ambiente (THOMANZINI; THOMANZINI, 2002); portanto, são bons indicadores dos níveis de impacto ambiental. Estudos recentes sugeriram que o fluxo de precipitação através da Pi e do SF pode ser significativo em ecossistemas afetados por infestações de insetos (ARANGO *et al.*, 2019; SEASTEDT; CROSSLEY; HARGROVE, 1983).

Embora alguns estudos tenham afirmado que os metazoários (principalmente nematoides e rotíferos) foram coletados em números significativamente grandes de árvores de casca lisa (PTATSCHECK; MILNE; TRAUNSPURGER, 2018), a análise da associação entre metazoários, caule e espécies de árvores levou a outras interpretações. Por exemplo, embora *S. parahyba* e *L. leucocephala*, (árvores de casca lisa) estivessem entre as espécies que apresentavam a maior abundância de metazoários (Figura 18a), a maior taxa de transporte foi observada para *E. urograndis* (árvore de casca em escala / esfoliante), que foi seguida por *S.*

parahyba (árvore de casca lisa) e *P. taeda* (árvore de casca em escala / esfoliante). Por outro lado, embora *P. echinata* e *P. granulosum* tenham contribuído com o maior volume médio e tenham sido mais eficientes na condução do escoamento do tronco, não apresentaram o maior número de organismos, tampouco a maior abundância de metazoários ou transporte para o solo. Este fato não corrobora os achados relatados por Ptatscheck, Gansfort e Traunspurger (2018), que observaram mais indivíduos metazoários com maior rendimento de escoamento pelo tronco (para rotíferos, colêmbolos, tardígrados e ácaros). Assim, a maior abundância de metazoários ou transporte para o solo via escoamento pelo tronco pode não estar associada apenas à dinâmica desse processo hidrológico, mas também a outras características da estrutura e morfologia da árvore. Este fato foi reforçado pela fraca correlação entre SF (L) e número de metazoários. Ainda, sabendo que as espécies florestais mais eficientes na condução do escoamento do tronco não apresentaram o maior abundância e transporte de metazoários para o solo, surgem perspectivas futuras de estudos, com o intuito de analisar não apenas a causa do escoamento pelo tronco afetando os nichos, mas também as suas consequências, pois pode ser que a própria eficiência do SF facilite a colonização dos metazoários em outras espécies florestais.

A análise dos metazoários específicos para cada espécie nem sempre corroborou a análise das características estruturais das árvores (frequentemente utilizadas para avaliar o escoamento do tronco) (Tabela 11). A estrutura da casca é a superfície com a qual a água do SF está em contato permanente. Como a água da chuva flui pelo tronco, ela basicamente varre a superfície da casca, além de dissolver, suspender e transportar materiais e organismos encontrados nela e dentro dela (MAGYAR; VAN STAN; SRIDHAR, 2021; PONETTE-GONZÁLEZ; VAN STAN II; MAGYAR, 2020). Muitos estudos relataram menor SF para árvores com casca sulcada devido à sua maior absorção de água e capacidade de retenção (LEVIA. GERMER, 2015; VAN STAN *et al.* 2016). Na verdade, embora as árvores de casca sulcada não tenham mostrado diferença estatisticamente significativa em relação a outro tipo de casca investigado no estudo atual, elas mostraram menor SF do que as árvores de casca lisa; no entanto, o maior SF foi associado com a classe da árvore de casca em escala / esfoliante, ou seja, o SF aumentou de cascas sulcadas < lisas < em escala / esfoliante. Por outro lado, a abundância do metazoário seguiu a ordem: em escala / esfoliante < sulcada < lisa, enquanto o transporte do metazoário seguiu a ordem sulcada < em escala / esfoliante < lisa. Esse padrão também foi observado para *Quercus robur*, e mostrou que a casca texturizada e a menor quantidade de SF registrada para casca áspera podem proteger melhor os organismos

associados de sanguessugas (PTATSCHECK; MILNE; TRAUNSPURGER, 2018), e neste caso, eles podem promover o menor transporte de metazoários via SF. No entanto, *M. polymorphum* foi a única árvore de casca sulcada investigada no presente estudo. De acordo com a análise focada em espécies, esta árvore não apresentou a menor abundância e transporte de metazoários. A mesma análise pode ser aplicada a *E. urograndis* (análise individual = em escala / esfoliante, o maior valor de transporte de metazoários) e *L. leucophela* (análise individual = casca lisa, a menor abundância de metazoários e valores de transporte).

Embora a literatura científica reconheça a importância do tamanho da árvore e da geometria do dossel no SF, o presente estudo não encontrou diferença estatisticamente significativa em nenhuma dessas variáveis (*Sy*, *SF*, *Di* e *MT*) entre as classes analisadas. No entanto, a maior incidência de metazoários na classe $D_{>22}$ pode ser explicada pela maior área do tronco, ou seja, maior incidência de sulcos e maior profundidade, que, por sua vez, pode hospedar um maior número de metazoários (MAGYAR; VAN STAN; SRIDHAR, 2021). Ao contrário das espécies pertencentes à classe responsável pela maior abundância de metazoários e transporte no grupo de textura da casca (árvores de casca lisa), *P. taeda* e *E. urograndis* foram as duas espécies que formaram esta classe ($D_{>22}$); eles foram classificados como árvores de casca em escala e esfoliante. A área do dossel é um nicho para a colonização de microrganismos e a fauna do dossel raramente é levada em consideração.

5 CONCLUSÃO

Escoamento pelo tronco é um importante processo capaz de transportar mesofauna e macrofauna para o solo. No entanto, o estudo atual não encontrou correlações significativas entre o volume de escoamento e a abundância de metazoários ou taxas de transporte. Arachnida, Collembola e Insecta foram as classes mais representativas. A maior abundância de metazoários foi registrada para *P. taeda* (árvore de casca em escala / esfoliante + $D_{>22}$ + H:W₁₋₂) e a maior taxa de transporte de metazoários foi registrada para *E. urograndis* (árvore de casca em escala / esfoliante + $D_{>22}$ + H:W_{>2}). De acordo com a análise baseada nas características estruturais das árvores, a abundância e o transporte de metazoários no SF foram maiores em árvores de casca lisa + $D_{>22}$ + H:W_{≥2}. Esses resultados mostraram que não é possível padronizar a abundância e o transporte dos metazoários pelo SF com base em grupos de estruturas morfológicas da árvore, uma vez que essa associação é dependente da espécie.

A importância ecológica do tronco como conexão entre diferentes organismos que vivem em estruturas arbóreas e no solo foi aqui reforçada, bem como a necessidade de um

melhor entendimento dessas associações ecoidrológicas. Há perspectivas para novos estudos de longo prazo usando maior número de amostras de plantas e diversidade de espécies para entender melhor estes aspectos estudados pela primeira vez aqui, para compreender as perdas quando áreas são devastadas, seja em ambientes urbanos ou em florestas. Além do mais, a interação inseto-planta também podem afetar os resultados e pode ser investigada como fator que influencia a abundância e o transporte de metazoários nas espécies de árvores.

REFERÊNCIAS

ABOAL, J. R.; SAAVEDRA, S.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M. Edaphic heterogeneity related to below-canopy water and solute fluxes in a Canarian laurel forest. **Plant and Soil**, v. 387, n. 1–2, p. 177–188, 12 fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2285-4>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J. *et al.* Inorganic nitrogen and phosphorus in stemflow of the palm *Astrocaryum mexicanum* Liebm. Located in Los Tuxtlas, Mexico. **Tropical Ecology**, v. 57, n. 1, p. 45–55, 2016. Disponível em: http://www.tropecol.com/pdf/open/PDF_57_1/5%20Sanchez%20et%20al%20_F_.pdf. Acesso em: 01 nov. 2021.

ATTAROD, P. *et al.* Replacing an oriental beech forest with a spruce plantation impacts nutrient concentrations in throughfall, stemflow, and O layer. **Forest Systems**, v. 28, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14782>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BADE, C. *et al.* Chemical properties of decaying wood in an old-growth spruce forest and effects on soil chemistry. **Biogeochemistry**, v. 122, n. 1, p. 1–13, 7 jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-014-0015-x>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BERGER, T. W. *et al.* A slight recovery of soils from Acid Rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (*Fagus sylvatica*) at 97 forest stands of the Vienna Woods. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 624–635, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.024>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BIGELOW, S.; CANHAM, C. Neighborhood-Scale Analyses of Non-additive Species Effects on Cation Concentrations in Forest Soils. **Ecosystems**, v. 20, n. 7, p. 1351–1363, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0116-1>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BITTAR, T. B. *et al.* Estimation of Throughfall and Stemflow Bacterial Flux in a Subtropical Oak-Cedar Forest. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 3, p. 1410–1418, 16 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017GL075827>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CAYUELA, C. *et al.* Particulate Matter Fluxes in a Mediterranean Mountain Forest: Interspecific Differences Between Throughfall and Stemflow in Oak and Pine Stands. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 9, p. 5106–5116, 16 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019JD030276>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CHEN, L. *et al.* Mediation of stemflow water and nutrient availabilities by epiphytes growing above other epiphytes in a subtropical forest. **Ecohydrology**, v. 12, n. 7, 7 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.2140>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CHEN, S. *et al.* Stemflow hydrology and DOM flux in relation to tree size and rainfall event characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 279, p. 107753, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107753>. Acesso em: 01 nov. 2021.

DENG, Y. *et al.* Effects of canopy interception on epikarst water chemistry and its response to precipitation in Southwest China. **Carbonates and Evaporites**, v. 34, n. 2, p. 273–282, 9 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13146-017-0379-9>. Acesso em: 01 nov. 2021.

DUVAL, T. P. Rainfall partitioning through a mixed cedar swamp and associated C and N fluxes in Southern Ontario, Canada. **Hydrological Processes**, v. 33, n. 11, p. 1510–1524, 30 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.13414>. Acesso em: 01 nov. 2021.

FUKUSHIMA, T. *et al.* Influence of strip thinning on nutrient outflow concentrations from plantation forested watersheds. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 24, p. 5109–5119, 29 nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.10570>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GUITART, D. A.; PICKERING, C. M.; BYRNE, J. A. Color me healthy: Food diversity in school community gardens in two rapidly urbanising Australian cities. **Health & Place**, v. 26, p. 110–117, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.12.014>. Acesso em: 01 nov. 2021.

JIAN, S. *et al.* The effects of stemflow on redistributing precipitation and infiltration around shrubs. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 66, n. 1, p. 79–86, 1 mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0043>. Acesso em: 01 nov. 2021.

KUMAR GAUTAM, M.; LEE, K. S.; SONG, B. Y. Deposition pattern and throughfall fluxes in secondary cool temperate forest, South Korea. **Atmospheric Environment**, v. 161, p. 71–81, 1 jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.030>. Acesso em: 6 abr. 2020. Acesso em: 01 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, n. 1–4, p. 1–29, abr. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2). Acesso em: 01 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p. 673–714, 1 set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 4, p. 662–666, 1 abr. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x99-244>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LI, J. *et al.* Abiotic processes are insufficient for fertile island development: A 10-year artificial shrub experiment in a desert grassland. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 5, p. 2245–2253, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2016GL072068>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LIMPERT, K.; SIEGERT, C. Interspecific Differences in Canopy-Derived Water, Carbon, and Nitrogen in Upland Oak-Hickory Forest. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1121, 9 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10121121>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LIU, Y. *et al.* Base Cation Fluxes from the Stemflow in Three Mixed Plantations in the Rainy Zone of Western China. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1101, 2 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10121101>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 8 mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.032>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LOMBARDO, L. *et al.* Organic carbon fluxes by precipitation, throughfall and stemflow in an olive orchard in Southern Spain. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 152, n. 5, p. 1039–1047, 3 set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1414082>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LU, J. *et al.* Nutrient Fluxes in Rainfall, Throughfall, and Stemflow in *Pinus densata* Natural Forest of Tibetan Plateau. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, 2017. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/clen.201600008](https://doi.org/10.1002/clen.201600008). Acesso em: 01 nov. 2021.

LU, J. *et al.* Nutrient characteristics of throughfall and stemflow in the natural forest of *Pinus densata* in the Tibetan plateau. **Phyton**, v. 9457, p. 142–148, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009385508&partnerID=40&md5=5ba978ba9f5a843d9a246f37eeb50064>. Acesso em: 01 nov. 2021.

MICHALZIK, B. *et al.* Effects of aphid infestation on the biogeochemistry of the water routed through European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings. **Biogeochemistry**, v. 129, n. 1–2, p. 197–214, 19 ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-016-0228-2>. Acesso em: 01 nov. 2021.

REHMUS, A. *et al.* Aluminum cycling in a tropical montane forest ecosystem in southern Ecuador. **Geoderma**, v. 288, p. 196–203, 15 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.002>. Acesso em: 01 nov. 2021.

RICE, C. P. *et al.* Role of Riparian Areas in Atmospheric Pesticide Deposition and Its Potential Effect on Water Quality. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 52, n. 5, p. 1109–1120, out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12444>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ROSIER, C. L. *et al.* Seasonal dynamics of the soil microbial community structure within the proximal area of tree boles: Possible influence of stemflow. **European Journal of Soil**

Biology, v. 73, p. 108–118, mar. 2016. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.02.003>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ROSIER, C. L. *et al.* Forest Canopy Precipitation Partitioning. **Advances in Botanical Research**, v. 75, p. 215–240, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/bs.abr.2015.09.005>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ROSSI, M. J.; ARES, J. O. Overland flow from plant patches: Coupled effects of preferential infiltration, surface roughness and depression storage at the semiarid Patagonian Monte. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 603–614, fev. 2016. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.028>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SCHOOLING, J. T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 1 jan. 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SCHWENDENMANN, L.; MICHALZIK, B. Dissolved and particulate carbon and nitrogen fluxes along a *Phytophthora agathidicida* infection gradient in a kauri (*Agathis australis*) dominated forest. **Fungal Ecology**, v. 42, p. 2–15, dez. 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.08.005>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SIEGERT, C. M. *et al.* Do storm synoptic patterns affect biogeochemical fluxes from temperate deciduous forest canopies? **Biogeochemistry**, v. 132, n. 3, p. 273–292, 1 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0300-6>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SU, L. *et al.* Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 507, 14 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10060507>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SUESCÚN, D. *et al.* ENSO and rainfall seasonality affect nutrient exchange in tropical mountain forests. **Ecohydrology**, v. 12, n. 2, p. 1–10, mar. 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1002/eco.2056>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SUN, S. *et al.* Variation characteristics of nitrogen concentrations through forest hydrologic subcycles in various forests across mainland China. **Environmental Technology**, United Kingdom, v. 36, n. 16, p. 2001–2012, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1019573>. Acesso em: 01 nov. 2021.

THIEME, L. *et al.* Dissolved organic matter characteristics of deciduous and coniferous forests with variable management: different at the source, aligned in the soil. **Biogeosciences**, v. 16, n. 7, p. 1411–1432, 5 abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-16-1411-2019>. Acesso em: 01 nov. 2021.

THOMAZINI, M. J.; THOMAZINI, A. P. B. W. **Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. 41 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 35).

TÜRTERSCHER, S. *et al.* Declining atmospheric deposition of heavy metals over the last three decades is reflected in soil and foliage of 97 beech (*Fagus sylvatica*) stands in the Vienna Woods. **Environmental Pollution**, v. 230, p. 561–573, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.080>. Acesso em: 01 nov. 2021.

TÜRTERSCHER, S.; GRABNER, M.; BERGER, T. W. Reconstructing Soil Recovery from Acid Rain in Beech (*Fagus sylvatica*) Stands of the Vienna Woods as Indicated by Removal of Stemflow and Dendrochemistry. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, n. 30, p. 2–24, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4065-x>. Acesso em: 01 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; GORDON, D. A. Mini-Review: Stemflow as a Resource Limitation to Near-Stem Soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. February, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00248>. Acesso em: 01 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G. A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation. **Science of the Total Environment**, v. 536, p. 813–824, 1 dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.134>. Acesso em: 01 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; STUBBINS, A. Tree-DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow. **Limnology and Oceanography Letters**, v. 3, n. 3, p. 199–214, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lol2.10059>. Acesso em: 01 nov. 2021.

VANDECAR, K. L. *et al.* Phosphorus input through fog deposition in a dry tropical forest. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, n. 12, p. 2493–2504, 2 dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015JG002942>. Acesso em: 01 nov. 2021.

WANG, M. *et al.* Dissolved Organic Matter Characteristics and Important Site Factors in a Subtropical Mountain Forest in Central China. **Forest Science**, v. 66, n. 1, p. 49–57, 9 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz062>. Acesso em: 01 nov. 2021.

WILCKE, W. *et al.* Temporal Trends of Phosphorus Cycling in a Tropical Montane Forest in Ecuador During 14 Years. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 5, p. 1370–1386, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018JG004942>. Acesso em: 01 nov. 2021.

YUAN, C.; GAO, G.; FU, B. Comparisons of stemflow and its bio-/abiotic influential factors between two xerophytic shrub species. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 3, p. 1421–1438, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1421-2017>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ZHANG, Y. F. *et al.* Variations of Nutrients in Gross Rainfall, Stemflow, and Throughfall Within Revegetated Desert Ecosystems. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 6, p. 183, 19 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2878-z>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CAPÍTULO IV : A CASCA COMO COMPONENTE DO ESCOAMENTO PELO TRONCO E FLUXO DE NUTRIENTES: UM ESTUDO PRELIMINAR EM ÁRVORES URBANAS NO BRASIL

RESUMO

O escoamento pelo tronco pode ser uma fonte localizada importante de água e nutrientes no solo, tornando-se disponíveis para o crescimento da vegetação e sobrevivência em um ecossistema, no entanto, poucos estudos qualitativo e quantitativo têm sido realizados no SF a fim de conhecer seu potencial para enriquecimento de água e nutrientes no solo. O presente estudo analisou o fluxo hidrológico e químico do escoamento pelo tronco, bem como i) o conhecimento do volume de água do SF de oito espécies florestais, ii) analisar as mudanças nas concentrações de nutrientes do escoamento pelo tronco e da precipitação, iii) estudar de que maneira a casca das árvores influencia no fluxo de nutrientes. O escoamento pelo tronco e precipitação foram monitorados entre o período de outubro/2019 a setembro/2020. Determinou-se as concentrações dos ânions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) e cátions (Na^{2+} , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+}) usando um cromatógrafo iônico líquido Metrohm ECO IC. Diferentes razões de enriquecimento foram utilizadas para comparar o enriquecimento dos íons. Inclui-se ainda, o estudo da casca para avaliar como a textura, número de sulcos e profundidade média dos sulcos influenciam na concentração dos íons. Os resultados apresentaram um aumento muito claro das concentrações de nutrientes no escoamento pelo tronco em comparação a amostra controle, demonstrando relevância para a ciclagem hidroquímica a beneficiar as espécies florestais e importante fonte para a recuperação hídrica e química dos solos. Não necessariamente os altos volumes de água escoada no tronco estão associados a entradas de nutrientes no solo e as espécies tiveram diferentes comportamentos quanto as concentrações dos íons. As maiores entradas de ânions foram o Cl^- para a espécie *Moquiniastrum polymorphum*, NO_3^- correspondeu a espécie *Paubrasilia echinata* e SO_4^{2-} e PO_4^{3-} para *Schizolobium parahyba*. Quanto aos cátions, K^+ foi o íon que se destacou em todas as espécies, para *Leucaena leucocephala*. e *Eucalyptus urograndis* obteve-se as maiores entradas de Na^{2+} e Mg^{2+} , enquanto o íon Ca^{1+} apresentou uma concentração maior na espécie *Pinus taeda*. Para as razões de enriquecimento, entre os íons e entre as espécies houveram diferenças estatísticas. A morfologia da casca associada a concentrações iônicas sofreu influências quanto ao número de sulcos existente na casca para o cátion Na^{2+} , de maior destaque a espécie *Eucalyptus urograndis*. E textura da casca, sendo o K^+ o íon de concentração, em que *Leucaena leucocephala* e *Schizolobium parahyba*, espécies que possuem cascas lisas, tiveram resultados superiores em relação as espécies que possuem cascas mais rugosas.

Palavras-chave: Concentração de íons. Enriquecimento químico. Ecohidrologia. Hidrologia florestal. Ciclo biogeoquímico.

BARK AS A COMPONENT OF NUTRIENT STEMFLOW: A PRELIMINARY STUDY IN URBAN TREES IN BRAZIL

ABSTRACT

The stemflow can be an important localized source of water and nutrients in the soil, making it available for vegetation growth and survival in an ecosystem, however, few qualitative and quantitative studies have been carried out in the stemflow in order to know its potential for

enriching water and nutrients in the soil. The present study analysed the hydrological and chemical flow of the stemflow, as well as i) the knowledge of the stemflow water volume of eight forest species, ii) analysing the changes in stemflow nutrient concentrations and precipitation, iii) study how the bark of trees influences the nutrient fluxes. The stemflow and precipitation were monitored between the period from October/2019 to September/2020. The concentrations of anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) and cations (Na^{2+} , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+}) were determined using a Metrohm ECO IC liquid chromatograph. Different enrichment ratios were used to compare ion enrichment. It is also included, the study of the bark to evaluate how the texture, number of grooves and average depth of the grooves influence the concentration of ions. The results showed a very clear increase in nutrient concentrations in stemflow compared to those in precipitation, demonstrating relevance for hydrochemical cycling to benefit forest species and an important source for soil water and chemical recovery. The high volumes of water drained into the trunk are not necessarily associated with nutrient inputs into the soil and the species had different behaviour in terms of ion concentrations. The largest anion inputs were Cl^- for the species *Moquiniastrum polymorphum*, NO_3^- corresponded to the species *Paubrasilia echinata* and SO_4^{2-} and PO_4^{3-} for *Schizolobium parahyba*. As for cations, K^+ was the ion with superior results in all species studied, with emphasis on *Leucaena leucocephala*. *Eucalyptus urograndis* had the largest inputs of Na^{2+} and Mg^{2+} , and for the input of Ca^{1+} was the species *Pinus taeda*. For enrichment ratios, between ions and between species there were statistical differences. The morphology of the bark associated with ionic concentrations was influenced by the number of grooves in the bark for the Na^{2+} cation, the most prominent being the species *E. urograndis*. And bark texture, with K^+ being the concentration ion, in which *Leucaena leucocephala* and *Schizolobium parahyba*, species that have smooth bark, had superior results compared to species that have rougher bark.

Keywords: Ion concentration. Chemical enrichment. Ecohydrology. Forest hydrology. Biogeochemical cycle.

1 INTRODUÇÃO

Por transferir os componentes atmosféricos para o solo, a chuva é considerada uma fonte de nutrientes em muitos ecossistemas (MOMOLLI *et al.*, 2019). Por sua vez, a estrutura da floresta e as espécies que a compõem podem modificar as composições químicas da chuva e aumentar significativamente as concentrações de íons que alcançam o solo após a passagem pelo dossel via precipitação interna e escoamento pelo tronco (VAN STAN *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2021). Especificamente, o escoamento pelo tronco conecta o dossel com o solo, sendo uma fonte pontual concentrada de água que atinge a base das árvores, interferindo na variabilidade espacial da umidade do solo (VAN STAN II; ALLEN, 2020; ASTUTI; SURYATMOJO, 2019; CARLYLE-MOSES *et al.*, 2018). Mesmo que esse processo contribua com uma pequena porção da precipitação total, podendo variar entre 0 a 10% da chuva em florestas brasileiras heterogêneas (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013), sua composição química apresenta, muitas vezes, maiores concentrações de nutrientes em relação à precipitação em

aberto (LUNA-ROBLES *et al.*, 2019; SCHOOLING *et al.*, 2017; TONELLO *et al.*, 2021b; ZHANG *et al.*, 2016).

Além de uma gama de compostos derivados da deposição atmosférica, o escoamento pelo tronco pode transportar ainda compostos liberados pelos tecidos vegetais, como compostos orgânicos, gases e íons dissolvidos (GERMER *et al.*, 2012; LEVIA E FROST, 2003; LEVIA E HERWITZ, 2005; WEATHERS; PONETTE-GONZÁLEZ, 2011; ZIMMERMANN *et al.*, 2008). Em contrapartida, algumas das substâncias dissolvidas também podem ser absorvidas e/ou adsorvidas pelas superfícies das plantas (CHUYONG; NEWBERY; SONGWE, 2004; SONG *et al.*, 2017; OKA *et al.*, 2021) antes de atingir o solo, sendo assim, influenciado por um conjunto de fatores abióticos e bióticos.

Os principais fatores bióticos estão relacionados com a morfologia das árvores, que, por sua vez, desempenham um importante papel no seu rendimento (TANAKA *et al.*, 2017; XIAO; MCPHERSON, 2011). Dentre esses fatores estão o tamanho e formato da copa (TOBÓN-MARIN, BOUTEN E DEKKER, 2000), diâmetro do tronco e características morfológicas, como a casca (VAN STAN II; LEVIA, 2010; LEVIA; HERWITZ, 2005). A casca é uma estrutura multifuncional complexa de plantas lenhosas que varia amplamente entre as espécies (SHEARMAN; VARNER, 2021) que, juntamente com as condições ambientais de um dado local, influenciam a dinâmica de lavagem de deposição seca do tronco e a troca de solutos dissolvidos entre o tronco e a superfície da casca (OKA *et al.*, 2021). Particularmente, a estrutura da casca é considerada uma variável mestre no processo, uma vez que a água possui contato persistente com a superfície do tronco (TONELLO *et al.*, 2021) mas, para que ocorra a drenagem dessa água, a capacidade de armazenamento da casca deve primeiramente ser superada.

Espécies que possuem cascas rugosas podem armazenar maiores quantidades de água, de modo a gerar menores rendimentos de escoamento (HERWITZ, 1987). Contudo, o maior tempo de permanência da água na casca pode representar um enriquecimento químico significativo (PARKER, 1983) no escoamento pelo tronco devido a troca iônica entre a água da chuva e os órgãos das plantas (SU *et al.*, 2019). Um exemplo dessa relação foi constatada na floresta temperada do Japão, onde o escoamento pelo tronco de espécies de casca lisa continha maiores concentrações de solutos que pareciam ter sido lavados da superfície do tronco (aerossóis de sal marinho); enquanto, as espécies de árvore de casca mais áspera continham concentrações de solutos que pareciam ser lixiviados (por exemplo, o cálcio) ou absorvidos (nitrogênio) pela casca (OKA *et al.*, 2021). No Cerrado brasileiro, espécies que

possuem casca lisa também destacaram-se quanto à lixiviação do dossel e enriquecimento químico (TONELLO *et al.*, 2021). Apesar de se ter na literatura alguns estudos que buscam associar o escoamento pelo tronco, fluxo de nutrientes e morfologia da casca, raros são aqueles que de fato caracterizaram a casca e além disso, que foram desenvolvidos em árvores situadas em ambientes antropizados (externo a um fragmento florestal).

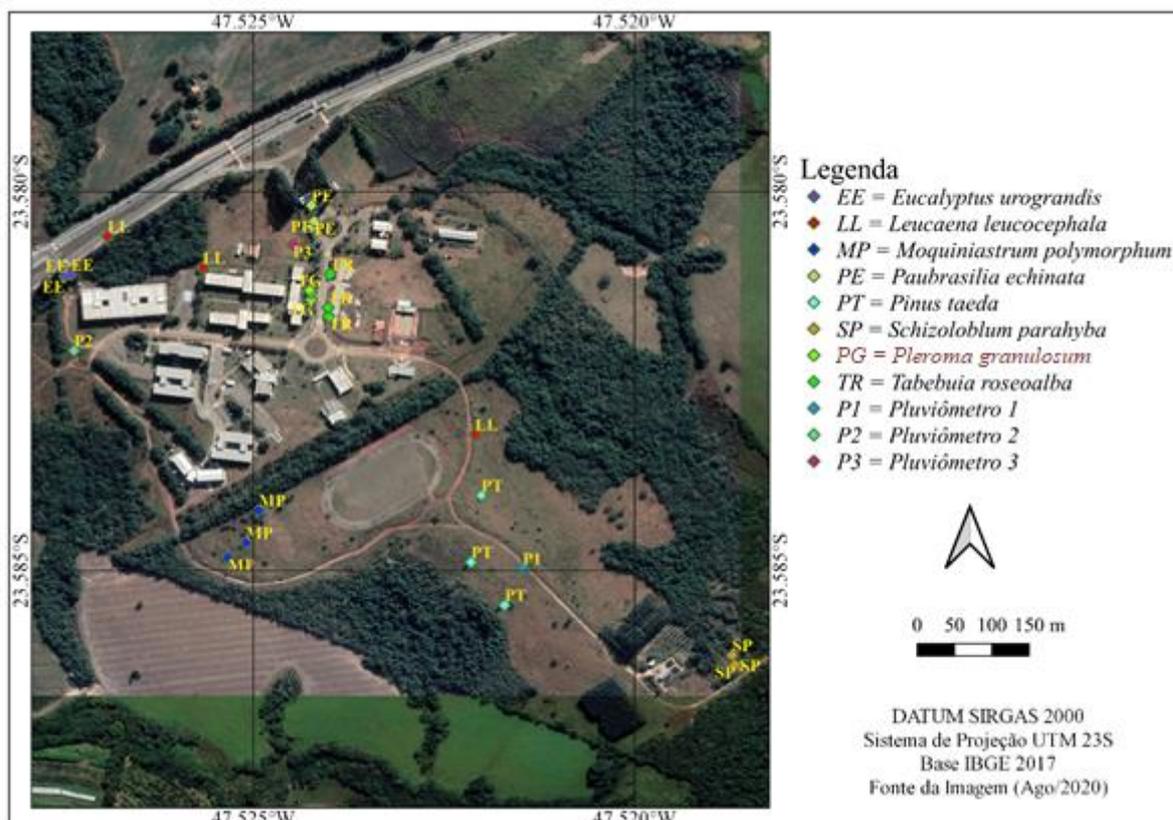
Diante do exposto, este estudo visa contribuir com discussões à respeito da relação da morfologia da casca na química do escoamento pelo tronco em espécies de árvores situadas em locais urbanizados e seu potencial para o enriquecimento químico do solo ao longo de um ano. Especificamente buscou-se i) caracterizar a dinâmica do escoamento pelo tronco das espécies estudadas, ii) analisar as concentrações de nutrientes na água da chuva e escoamento pelo tronco das espécies em análise, e iii) associar a morfologia da casca ao fluxo de nutrientes via escoamento pelo tronco nas espécies estudadas. As hipóteses testadas são: (1) ocorre o enriquecimento de íons na água da chuva após interagir com a estrutura da árvore, via escoamento pelo tronco, (2) a composição química do escoamento pelo tronco é espécie-específica, mas, (3) é influenciada pela morfologia da casca (textura, número e profundidade de sulcos).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área em estudo

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo (Figura 21). O município de Sorocaba está localizado entre as coordenadas geográficas de 23° 17' S e 47° 16' O, com altitude média de 580 m. O clima da região, de acordo com Köppen (1948), é classificado como Cwa, temperado seco e quente com verão quente, onde a temperatura anual média é de 22°C e a precipitação média anual é de 1311 mm (CEPAGRI, 2020). Este está inserido em uma região de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista, com solos dos tipos Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (OLIVEIRA, 1999).

Figura 21 - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba -SP e a localização das respectivas espécies estudadas.



Fonte: QGIS 3.10.

O monitoramento do escoamento pelo tronco foi realizado em oito (8) espécies florestais presente em área antropizada, sendo composta por exóticas: *Eucalyptus urograndis*⁶, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; *Pinus taeda* L. e espécies nativas de ampla distribuição: *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho; *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake; *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwit e espécies nativas endêmicas: *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H. C. Lima & G. P. Lewis; *Pleroma granulorum* (Desr.) D. Don. Foram estudados 3 indivíduos de cada espécie, totalizando em 24 indivíduos. A seleção das espécies em questão foi com base na escolha de indivíduos isolados, ou ainda ilhas isoladas compondo a mesma espécie. São apresentados na Tabela 12 os resultados médios de cada espécie do diâmetro à altura do peito (DAP), área de projeção da copa (Apc) e a relação entre altura e largura do dossel (H:W), juntamente com o erro padrão.

⁶ Híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Tabela 8 - Tamanho médio do DAP, Apc e H:W das 8 espécies. Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão.

Espécies	DAP	Apc	H: W
<i>E. urograndis</i>	23.6 (2.9)	13,9 (5,9)	2.4 (0.4)
<i>L. leucocephala</i>	19.4 (3.2)	49,2 (13,4)	0.6 (0.1)
<i>M. polymorphum</i>	20.2 (1.4)	27,6 (3,3)	0.8 (0.05)
<i>P. echinata</i>	18.1 (1.3)	24,1 (2,1)	0.5 (0.1)
<i>P. granulosum</i>	21.9 (2.5)	30, 0 (5,3)	0.9 (0.04)
<i>P. taeda</i>	27.2 (3.7)	21,3 (2,4)	1.1 (0.1)
<i>S. parahyba</i>	21.1 (0.8)	8,7 (4,4)	0.7 (0.3)
<i>T. roseoalba</i>	20.0 (2.9)	28,5 (5,4)	0.5 (0.02)

Fonte: Autora (2021).

2.2 Variáveis hidrológicas

A precipitação em aberto [P] foi obtida a partir de três pluviômetros confeccionados a partir de tubos e conexões de PVC (área de captação de 254,5 cm² e altura de 20 cm), instalados em área aberta à 1,20m do solo e sem obstáculos ou obstruções que pudessem interferir no registro de chuva (Figura 22). Cada ocasião de amostragem consistiu em um ou mais eventos consecutivos de chuva. Um evento de chuva originalmente é definido como chuvas de pelo menos 1 mm de altura da lamina d'água e precedido por um período seco de no mínimo 12 h (ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008a). A precipitação foi calculada pela Equação 1:

$$P [mm] = \frac{V [L]}{A [m^2]} \quad (1)$$

Onde P é precipitação em aberto (mm), V é o volume acumulado no pluviômetro (L) e A é a área de captação do pluviômetro (m²).

Figura 22 - Pluviômetro instalado na área de estudo para monitoramento da precipitação em aberto. Sorocaba-SP, 2020.



Fonte: Autora (2021).

O monitoramento do escoamento pelo tronco foi baseado na metodologia proposta por Hofhansl et al. (2012) e Schooling et al. (2017). Mangueiras com 4 cm de diâmetro foram cortadas longitudinalmente ao meio, e firmemente fixadas e seladas com silicone ao redor do tronco das árvores, em uma inclinação de 45° para conduzir, por gravidade, a água escoada até os coletores de 20 litros (Figura 23).

Figura 23 - Instalação do sistema de monitoramento do escoamento pelo tronco, Sorocaba-SP, 2019.



Fonte: Autora (2021).

Assim, o volume do escoamento pelo tronco foi obtido por meio da (Equação 2).

$$S_y = \frac{V_t}{A_{pc}} \quad (2)$$

Onde: S_y = Escoamento pelo tronco (mm), V_t = Volume total (L), A_{pc} = Área de projeção da copa (m^2).

A área de projeção de copa (A_{pc}) foi estimada a partir da elipse (Equação 3) e dos dois diâmetros da copa (maior (D) e menor (d)), sendo:

$$A_{pc} = \frac{D \times d \times \pi}{4} \quad (3)$$

2.3 Análise química da chuva e escoamento pelo tronco

A concentração de ânions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) e cátions (Na^{2+} , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+}) em amostras de chuva e escoamento pelo tronco foi obtida mensalmente a partir de amostras compostas totalizando 12 amostras para cada processo estudado (Figura 24a). Para a amostragem, foram utilizadas garrafas plásticas virgens de 300 ml, previamente lavadas com água deionizada para a não contaminação do material. Foram descartadas amostras de chuva que apresentassem características diferentes das usuais tais como: odor, cor, turbidez, corpos estranhos na amostra, etc... Após a coleta, as garrafas foram armazenadas em local refrigerado a 4 °C até o momento da análise. As determinações dos elementos químicos foram quantificadas

em no cromatógrafo líquido METROHM ECO IC (Figura 24c) do Laboratório de Hidrometeorologia de Água e Solos da Universidade Estadual Paulista, campus Sorocaba. Para tanto, alíquotas de 100 ml foram preparadas, filtradas em filtro de celulose de 0,45 µm (Figura 24b). A determinação por cromatografia foi realizada por meio da injeção de uma fase móvel, passando por uma coluna de troca iônica (fase estacionária) e a detecção feita por condutividade elétrica. As colunas analíticas empregadas foram IonPac AS11HC (4 mm) e CS12A (4 mm) para os ânions e cátions, respectivamente.

Figura 24 - Amostras de chuva e escoamento pelo tronco (a), obtenção das alíquotas (b) e Cromatógrafo líquido METROHM ECO IC utilizado para a determinação das concentrações (c).



Fonte: Autora (2021).

Para a detecção de ânions foi empregada uma solução de eluente de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3) com concentrações de 0,3 mM e 2,7Mm, respectivamente. Para a detecção de cátions foi utilizada uma solução de eluente de ácido metanossulfônico ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) a uma concentração de 2,6Mm. As análises foram gerenciadas automaticamente por computador com o auxílio do software Peaknet 6.0, e os resultados foram obtidos através de uma curva de calibração com padrões específicos do equipamento. O controle de qualidade dos resultados foi feito com o uso da amostra certificada TROIS-94. As concentrações foram obtidas por comparação com as normas específicas do equipamento. Concentrações de íons que apresentaram valores acima de 10 ppm foram diluídas com água ultrapura do tipo I, para evitar danos a coluna de troca iônica e para que os valores que fossem estimados passassem a ser mais próximos dos valores reais.

2.4 Entrada de nutrientes e enriquecimento

A entrada de nutrientes foi calculada para cada espécie e por período acumulativo de um mês de chuva. Dessa forma, quantificou a entrada de nutrientes na água da chuva e do

escoamento pelo tronco. Para os cálculos, utilizou-se a média ponderada da concentração dos íons de acordo com o mês correspondente, de acordo com a Equação 4:

$$VWM = \frac{\sum_{n=1}^i C_i * V_i}{\sum_{n=1}^i V_i} \quad (4)$$

Onde: VWM é a concentração média do íon [mg L^{-1}], C_i é a concentração do íon no escoamento pelo tronco ou chuva [mg L^{-1}], e V_i é o volume [mm] do escoamento pelo tronco ou chuva, ambos referentes aos meses correspondentes. (TONELLO *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2021; HOFHANSL *et al.*, 2012).

A entrada média por hectare de um determinado íon por SF e P foi estimada conforme Equação 5.

$$D = \frac{VWM * V}{100} \quad (5)$$

Onde: D é a entrada de um determinado elemento ou composto [$\text{kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$], VWM representa a concentração média de um determinado elemento ou composto [mg L^{-1}], descrita conforme Equação 4, e V é o volume total de chuva e SF [mm] (TONELLO *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2021; SU *et al.*, 2019).

A razão de enriquecimento é um parâmetro benéfico para examinar quais fatores controlam o transporte e fluxo de íons para a base da árvore. Também indica quão relevante pode ser o SF para a ciclagem de nutrientes da floresta em comparação com áreas abertas onde a entrada de nutrientes é restrita à chuva e deposição seca (LEVIA; GERMER, 2015). A razão de enriquecimento foi quantificada por meio da canalização de fluxos químicos via SF na base da árvore (LEVIA; HERWITZ, 2000; SCHOOLING *et al.*, 2017; DOWTIN; SIEGERT; LEVIA, 2020; ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008a), conforme a Equação 6.

$$E_{AB} = \frac{S * CS}{P * AB * CP} \quad (6)$$

Onde: E_{AB} é o enriquecimento da água do escoamento pelo tronco em relação à água da precipitação em aberto por unidade de área basal, S é o volume escoamento pelo tronco em litros, CS a concentração de íons na água do escoamento (mg L^{-1}), P a precipitação em aberto em litros, AB é a área basal (m^2) e CP a concentração de íons na precipitação em aberto (mg L^{-1}).

A razão de enriquecimento da concentração dos íons foi obtida como a razão entre a concentração dos íons presente no escoamento pelo tronco e a concentração dos íons na precipitação (CS:CP) (SCHOOLING *et al.*, 2017).

2.5 Análise da casca

A morfologia das cascas foi analisada a partir da adaptação da metodologia proposta (LEVIA; HERWITZ, 2005), considerando a textura da casca, profundidade média dos sulcos (PMS) e número de sulcos (NS) à altura do peito (1,30 m do solo) para o observador. Na análise da textura da casca adotou-se a classificação em: casca lisa; casca em escala/esfoliativa; casca sulcada (TONELLO *et al.*, 2021). Com o auxílio de um paquímetro, a PMS da casca foi obtida pela média da profundidade em 3 lugares distintos da circunferência do tronco (Figura 25). Com o auxílio de uma lupa, foram quantificados o número de sulcos presente em 5 cm² da casca. Essas informações foram, por sua vez, extrapoladas para a circunferência do tronco da árvore e o total dividido pelo diâmetro à altura do peito. O desvio padrão (σ) foi aplicado para definir as classes de PMS e NS, que consistiu na distribuição uniforme conforme os resultados se afastaram da média central. Isso possibilitou a definição de 3 classes (intervalos) para cada propriedade analisada, conforme Tabela 13.

Tabela 9. Classes de profundidade média de sulco (PMS) e número de sulcos (NS).

Classes	PMS	NS
1	$\overline{PMS} - \sigma$	$\overline{NS} - \sigma$
2	$\overline{PMS} - \sigma < PMS < \overline{PMS} + \sigma$	$\overline{NS} - \sigma < NS < \overline{NS} + \sigma$
3	$\overline{PMS} + \sigma$	$\overline{NS} + \sigma$

Figura 25 - Mensuração da profundidade média (a) e números de sulcos (b) da espécie *Pinus taeda*.



Fonte: Autora (2021).

2.6 Análises estatísticas

Estatísticas descritivas foram combinadas com as observações de campo para obter uma compreensão mais profunda e baseada no processo do diferencial rendimento do escoamento pelo tronco e fluxo de nutrientes entre as espécies. A análise e processamento dos dados foram realizados com auxílio do software Minitab (versão 17).

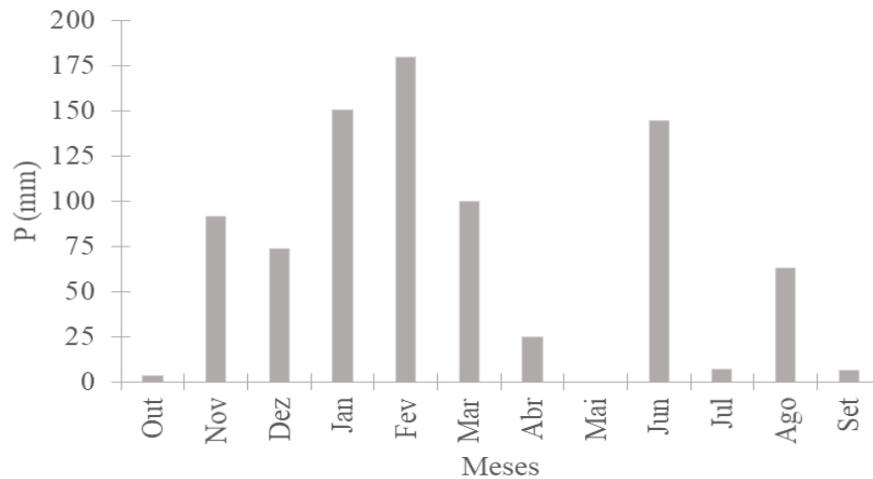
Análise de regressão linear e correlação de Pearson foi usada para associar a precipitação e o escoamento pelo tronco das espécies. Para avaliar a razão de enriquecimento E_{AB} e as variáveis da razão CS:CP, foram utilizados os testes não paramétricos de comparação de dois ou mais grupos independentes de Kruskal-Wallis, com significância de 95%. Para os casos de mais de 2 grupos, onde foram encontradas diferenças significativas, utilizou-se o teste Post hoc de LSD de Fisher afim de identificar entre quais grupos foram observadas diferenças significativas. A fim de analisar o comportamento dos íons quanto a morfologia da casca (textura, profundidade e número de sulcos) realizou-se a análise de variância (ANOVA) seguida do teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

3.1 Fluxo hidrológico

Durante o período de estudo, o total de precipitação [P] foi de 845,4 mm com ausência de chuva em maio, ao passo que, outubro, julho e setembro tiveram chuvas abaixo de 7,0 mm. Os meses de junho e agosto foram atípicos para a região, correspondendo à precipitação de 144,4 mm e 62,7 mm, respectivamente. Fevereiro registrou o maior volume com 179,7 mm (Figura 26).

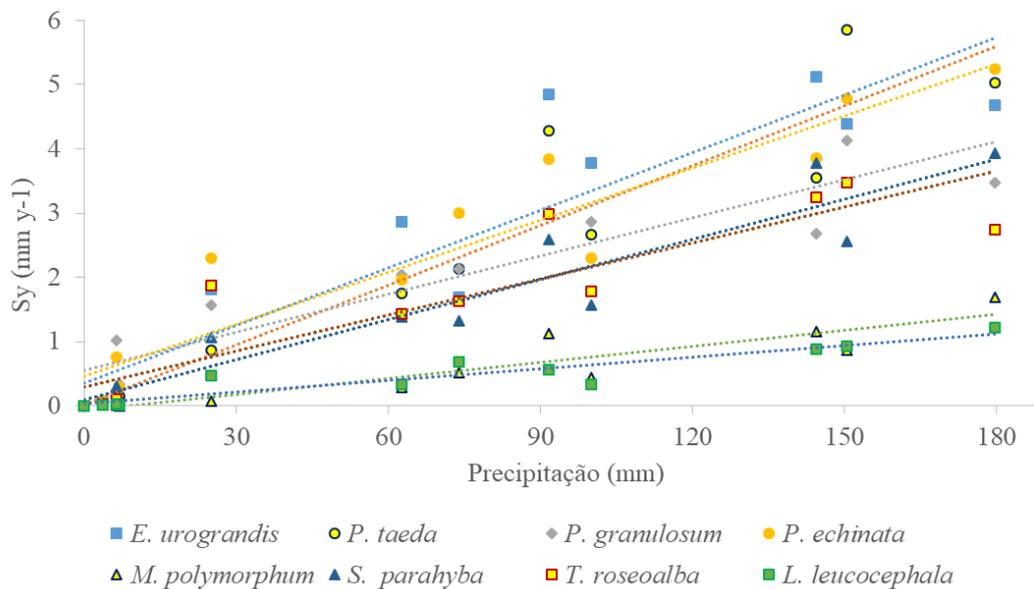
Figura 26 - Precipitação mensal referente aos meses de outubro 2019 a setembro de 2020 mensurado na área do estudo.



Fonte: Autora (2021).

O escoamento pelo tronco foi monitorado em 30 eventos de chuva, no qual obteve-se em média [Sy] 19,6 mm de escoamento pelo tronco, representando 2,3 % de P. Para todas as espécies, o Sy e P apresentaram correlação linear positiva forte, o que indica que à medida que a precipitação aumenta, ocorre o aumento de água drenada por meio do escoamento pelo tronco das espécies estudadas (Figura 27, Tabela 14).

Figura 27 - Regressão linear entre a precipitação e a média do escoamento pelo tronco das oito espécies estudadas entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020.



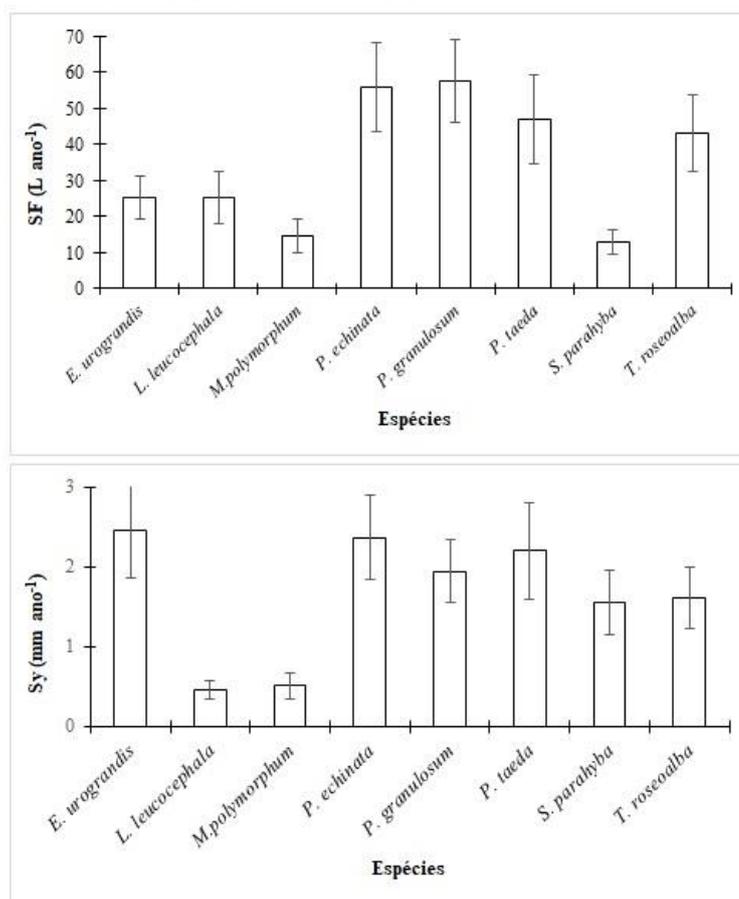
Fonte: Autora (2021).

Tabela 10. Modelos de regressão linear entre a precipitação total [P, mm] e a média do escoamento pelo tronco [Sy, mm] das oito espécies estudadas. r = correlação de Pearson.

<i>Espécie</i>	Modelo de regressão linear	R-Adj	r	p-value
<i>E. urograndis</i>	Sy = 0,0299*P + 0,3480	R ² = 0,8488	0,92	p < 0,00
<i>L. leucocephala</i>	Sy = 0,0060*P + 0,0308	R ² = 0,8702	0,93	p < 0,00
<i>M. polymorphum</i>	Sy = 0,0083*P + 0,0718	R ² = 0,8587	0,93	p < 0,00
<i>P. echinata</i>	Sy = 0,0270*P + 0,4617	R ² = 0,8868	0,94	p < 0,00
<i>P. granuloso</i>	Sy = 0,0198*P + 0,5460	R ² = 0,8517	0,92	p < 0,00
<i>P. taeda</i>	Sy = 0,0310*P + 0,0148	R ² = 0,8976	0,95	p < 0,00
<i>S. parahyba</i>	Sy = 0,0208*P + 0,0899	R ² = 0,9086	0,95	p < 0,00
<i>T. roseoalba</i>	Sy = 0,0186*P + 0,2970	R ² = 0,8027	0,90	p < 0,00

Os maiores volumes acumulados de SF (L) foram encontrados para o *T. roseoalba* (691 L), seguido de *P. echinata* (673 L), ao contrário de *M. polymorphum* (14,6 L) e *S. parahyba* (13,0 L) que tiveram os menores acúmulos (Figura 28a). *E. urograndis* e *P. echinata* tiveram os maiores Sy, com 85 mm e 79 mm, respectivamente, em contraponto à *L. leucocephala* (16 mm) e *M. polymorphum* (18 mm) que apresentaram os menores registros (Figura 28b).

Figura 28 - Média do total anual do escoamento pelo tronco SF (L y-1) “a” e Sy (mm y-1) “b” de oito (8) espécies florestais entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020.



Fonte: Autora (2021).

3.2 Fluxo de nutrientes

A água da chuva foi enriquecida com íons ao interagir com a estrutura das árvores (copa e tronco), indicando que o escoamento pelo tronco é uma via de nutrientes de grande relevância para o sistema árvore-solo. No geral, as concentrações dos íons na água na precipitação obedeceram a seguinte ordem: $\text{Ca}^{1+} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+}$; $\text{PO}_4^{3-} > \text{Na}^{2+}$; e no escoamento pelo tronco: $\text{K}^+ > \text{Ca}^{1+} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{2+}$ (Tabela 15). A concentração média dos íons no escoamento pelo tronco foi 5 vezes maior que na precipitação. Em média, para os ânions, houve o incremento de 410% de Cl^- , 230% de NO_3^- , 474% de SO_4^{2-} e 315% de PO_4^{3-} . Quanto aos cátions, 960% de Na^{2+} , 1514% de K^+ , 87% de Ca^{1+} , e 420% de Mg^{2+} .

S. parahyba e *E. urograndis* registraram valores médios de VWM mais elevados, correspondendo a 4,45 e 3,57 mg L^{-1} , respectivamente, ao contrário de *T. roseoalba* o qual registrou a menor média (1,6 mg L^{-1}) (Tabela 15). As espécies tiveram diferentes comportamentos tanto quanto à entrada de ânions quanto para cátions. As maiores concentrações de Cl^- foram para a espécie *M. polymorphum*, NO_3^- em *P. echinata* e, SO_4^{2-} e PO_4^{3-} em *S. parahyba*. *E. urograndis* registrou as maiores entradas de Na^{2+} e Mg^{2+} , *L. leucocephala* teve a maior entrada de K^+ , e para a entrada de Ca^{1+} foi no escoamento pelo tronco de *P. taeda*.

Tabela 11. Média ponderada (VWM) da concentração de íons presente na precipitação (P) e escoamento pelo tronco das espécies estudadas, outubro de 2019 à setembro de 2020.

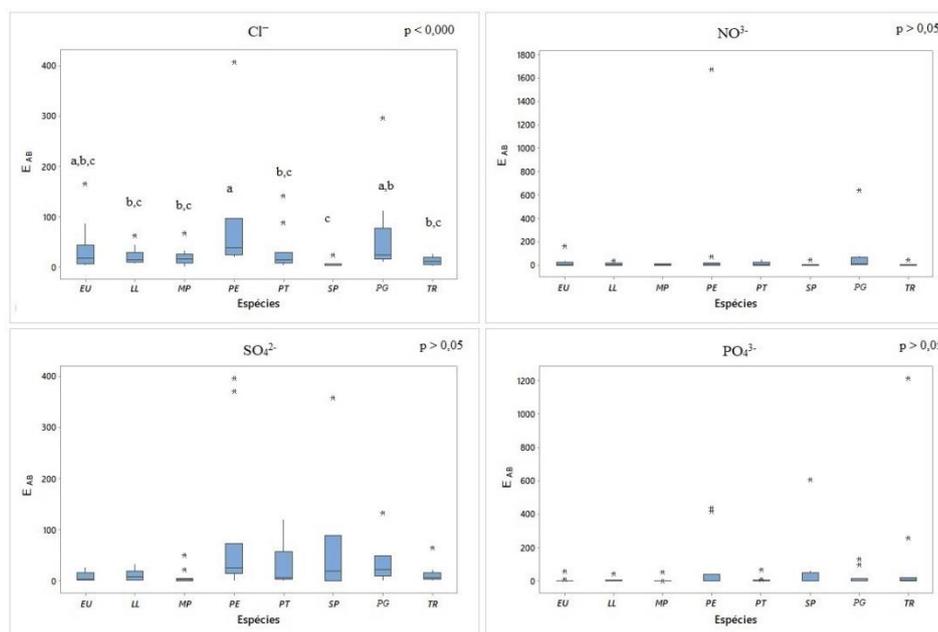
Espécies	Ânions [mg L^{-1}]				Cátions [mg L^{-1}]				Média Geral [mg L^{-1}]
	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Na^{2+}	K^+	Ca^{1+}	Mg^{2+}	
<i>E. urograndis</i>	5,61 (5,0)	2,67 (2,3)	0,79 (0,7)	0,80 (0,6)	4,55 (3,9)	6,82 (3,2)	5,51 (4,6)	1,84 (1,7)	3,57 (0,8)
<i>L. leucocephala</i>	3,56 (1,8)	0,62 (2,5)	0,81 (1,4)	0,40 (0,2)	0,10 (0,2)	17,28 (9,2)	1,91 (2,9)	1,07 (0,8)	3,22 (2,0)
<i>M. polymorphum</i>	6,84 (2,4)	2,93 (2,8)	1,88 (1,7)	0,19 (0,1)	0,04 (0,1)	6,67 (0,3)	3,64 (4,1)	1,10 (0,7)	2,91 (0,9)
<i>P. echinata</i>	2,91 (1,8)	4,02 (5,9)	2,50 (2,6)	1,03 (0,6)	0,94 (1,2)	3,30 (0,8)	4,26 (3,6)	0,58 (0,4)	2,44 (0,5)
<i>P. granulosum</i>	2,68 (1,9)	3,98 (4,6)	1,72 (1,4)	0,60 (0,7)	0,18 (0,2)	4,94 (1,4)	3,92 (2,3)	1,24 (0,6)	2,41 (0,6)
<i>P. taeda</i>	4,02 (5,2)	1,04 (3,7)	3,24 (7,7)	0,26 (0,4)	0,78 (0,8)	2,30 (1,2)	9,15 (8,8)	1,41 (1,4)	2,78 (1,0)
<i>S. parahyba</i>	1,83 (0,7)	1,09 (1,8)	8,25 (3,7)	7,55 (4,9)	0,04 (0,1)	11,73 (5,6)	3,98 (2,4)	1,15 (0,4)	4,45 (1,5)
<i>T. roseoalba</i>	1,52 (0,1)	0,33 (1,1)	0,84 (2,0)	0,71 (0,0)	0,03 (0,3)	6,38 (0,1)	2,19 (1,1)	0,42 (1,9)	1,55 (0,7)
Média (Erro padrão)	3,62 (0,6)	2,09 (0,5)	2,50 (0,9)	1,44 (0,9)	0,83 (0,5)	7,43 (1,7)	4,32 (0,8)	1,10 (0,2)	2,92 (0,7)

Precipitação (P)	0,71 (0,2)	0,63 (0,4)	0,44 (0,2)	0,35 (0,1)	0,08 (0,0)	0,46 (0,1)	2,32 (0,9)	0,21 (0,1)	0,65 (0,2)
------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Fonte: Autora (2021).

São apresentados a razão de enriquecimento da água do escoamento pelo tronco em relação a precipitação por área basal e CS:CP dos ânions (Figuras 29 e 30) e cátions (Figuras 31 e 32) analisados. De acordo com o teste de Kruskal Wallis, diferenças significativas ($p < 0,05$) foram encontradas para as concentrações de Cl^- , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+} entre as espécies. Se tratando da razão E_{AB} para a análise dos ânions ($p < 0,000$), a espécie *P. echinata* teve melhor resposta, enquanto que avaliando a razão CS:CP ($p > 006$) *E. urograndis* destacou-se. Quanto aos cátions, o K^+ foi o íon com maior resultado tanto para a razão E_{AB} ($p < 0,011$) quanto para CS:CP ($p < 0,008$), e a espécie *L. leucocephala* se destacou frente as demais para ambas as razões de enriquecimento. Para o Ca^{1+} apenas a razão E_{AB} apresentou diferença estatística ($p < 0,001$), sendo a espécie *P. echinata* em maior destaque. Em relação ao Mg^{2+} , a razão E_{AB} ($p < 0,001$) correspondeu ao *T. roseoalba* a maior razão de enriquecimento e CS:CP ($p < 0,000$) para o *E. urograndis*.

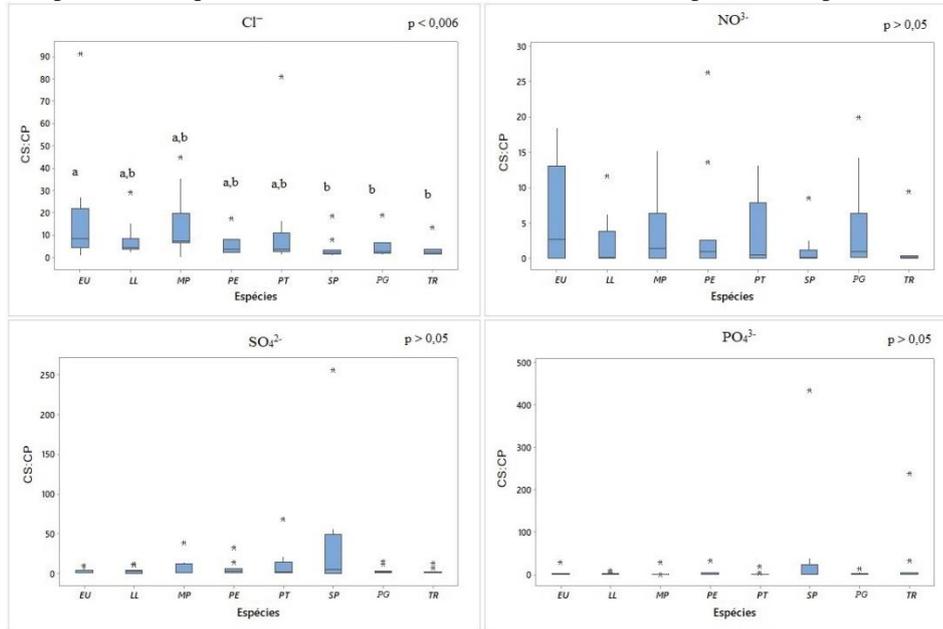
Figura 29 - Boxplots da razão de enriquecimento por área basal (E_{AB}) dos ânions baseadas no SF para cada espécie.⁷



Fonte: Autora (2021).

⁷ EU: *E. urograndis*; LL: *L. leucocephala*; MP: *M. polymorphum*; PE: *P. echinata*; PT: *Pinus taeda*; SP: *S. parahyba*; TG: *P. granulosum*; TR: *T. roseoalba*. Nota: As extremidades superior e inferior das barras representam as taxas de enriquecimento com base no fluxo máxima e mínima observadas, enquanto a barra intermediária na caixa é a mediana e as extremidades inferior e superior são o primeiro e o segundo quartis, respectivamente. Letras individuais únicas acima dos boxplots indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as espécies por meio do teste Kruskal Wallis, seguida por teste post-hoc de LSD de Fisher. Letras agrupadas acima de um boxplot não indicam significância.

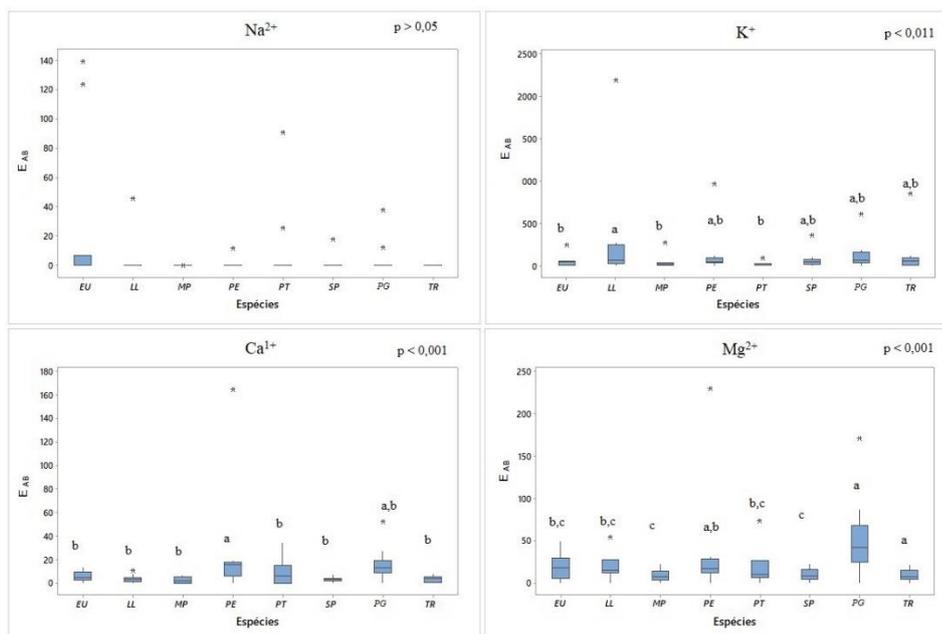
Figura 30 - Boxplots do enriquecimento CS:CP dos ânions baseadas no SF para cada espécie. ⁷



Fonte: Autora (2021).

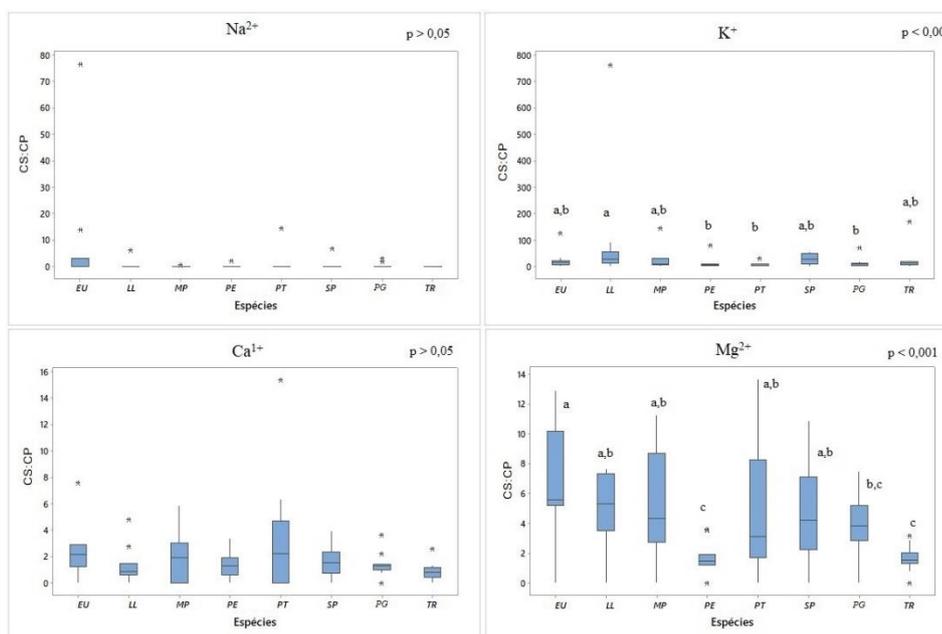
Ao analisar as particularidades dos íons que deram diferença estatística, a maior E_{AB} foi para a espécie *P. echinata* atribuída ao íon NO_3^- , em contrapartida a maior razão CS:CP encontrada foi o íon PO_4^{3-} contida na espécie *S. parahyba*. Na análise dos cátions, K^+ foi o íon com maiores resultados tanto para a razão E_{AB} quanto para CS:CP, sendo *L. leucocephala* a espécie com maior destaque comparação as demais.

Figura 31 - Boxplots da razão de enriquecimento por área basal (E_{AB}) dos cátions baseadas no SF para cada espécie.⁷



Fonte: Autora (2021).

Figura 32 - Boxplots do enriquecimento CS:CP dos cátions baseadas no SF para cada espécie.⁷



Fonte: Autora (2021).

3.3 Associação entre a morfologia da casca e concentrações iônicas

Ao observar as maiores (VWM), nota-se que os íons tiveram comportamentos diferentes entre as classes (Tabela 16). Na análise por textura de casca, a casca rugosa apresentou as maiores concentrações de Cl^{-} e NO^{3-} , casca em escala/esfoliativa de Na^{2+} , Ca^{1+} e Mg^{2+} e a casca

lisa com as maiores concentrações de íons SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e K^+ . Apesar disso, apenas as concentrações de K^+ se diferiram estatisticamente entre as classes de textura de casca. Quanto à profundidade de sulcos, as cascas com menor profundidade ($<0,02$ mm) apresentaram maiores concentrações de SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e K^+ ; ao passo que não houve registro de maior concentração nas de maior profundidade ($\geq 0,10$). Entretanto, não foram observadas diferenças estatísticas entre os íons, com exceção da concentração entre a casca de menor profundidade e as demais quanto ao K^+ . As cascas com menor número de sulcos (<10) também registraram maiores concentrações de SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e K^+ , ao passo que as maiores concentrações de Cl^- e Na^{2+} estiveram associadas às cascas mais profundas ($\geq 50,28$). Contudo, foi notada diferença estatística somente para as concentrações de K^+ , onde as classes de menor e maior número de sulcos mostraram-se semelhantes.

Ao considerar as três características analisadas, os íons SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e K^+ estiveram agrupados nas mesmas classes: foram semelhantes para a textura da casca, profundidade e número de sulcos, agrupando as maiores concentrações as espécies de casca lisa, $\text{PMS} < 0,02$; $\text{NS} < 0,10$; representados por *L. leucocephala* e *S. parahyba*. Por sua vez, os íons Na^{2+} e Mg^{2+} tiveram maiores concentrações em espécies que possuem textura esfoliativa (*E. urograndis*, *P. echinata*, *P. taeda*, *P. granulosum*, *T. roseoalba*), $\text{PMS} > 0,02 \leq 0,10$ (*E. urograndis*; *P. echinata*); $\text{NS} > 50,28$ (*E. urograndis*, *M. polymorphum*, *P. granulosum*, *T. roseoalba*) em que apenas a espécie *E. urograndis* esteve presente em todas as classes. Os demais íons tiveram comportamentos diferentes entre as classes analisadas. Os ânions Cl^- e NO_3^- tiveram as maiores concentrações em espécies de casca sulcada (*M. polymorphum*) e $\text{PMS} > 0,02 \leq 0,10$ (*E. urograndis*; *P. echinata*), entretanto com diferentes NS, em que para o Cl^- correspondeu ao $\text{NS} \geq 50,28$ (*E. urograndis*, *M. polymorphum*, *P. granulosum*, *T. roseoalba*) e íon NO_3^- ao $\text{NS} > 10,12 \leq 50,28$, representados pelas espécies *P. taeda* e *P. echinata*.

O íon Ca^{1+} está em maior concentração nas espécies com textura em escala/esfoliativa (*E. urograndis*, *P. echinata*, *P. taeda*, *P. granulosum*, *T. roseoalba*), $\text{PMS} \geq 0,02 < 0,10$ (*E. urograndis*, *P. echinata*) e $\text{NS} > 10,12 \leq 50,28$ (*P. taeda* e *P. echinata*), onde cabe ressaltar que *P. echinata* foi a única espécie que se manteve nas três classes definidas.

Tabela 12. Média ponderada da concentração (VWM) de ânions e cátions com base aos resultados de morfologia da casca.⁸

.Classe	Espécies	Ânions				Cátions			
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ⁴ ²⁻	PO ⁴ ³⁻	Na ²⁺	K ⁺	Ca ¹⁺	Mg ²⁺
Textura da casca									
Sulcada	<i>M. polymorphum</i>	6,84 a	2,93 a	1,88 a	0,19 a	0,04 a	6,67 a, b	3,64 a	1,10 a
	<i>E. urograndis</i>								
Em escala / Esfoliante	<i>P. echinata</i>								
	<i>P. taeda</i>	3,35 a (0,69)	2,41 a (0,75)	1,82 a (0,47)	0,68 a (0,13)	1,30 a (0,83)	4,75 b (0,87)	5,01 a (0,16)	1,11 a (0,26)
	<i>P. granulorum</i>								
	<i>T. roseoalba</i>								
Lisa	<i>L. leucocephala</i>	2,70 a	0,85 a	4,53 a	3,98 a	0,07 a	14,50 a	2,95 a	1,10 a
	<i>S. parahyba</i>	(0,86)	(0,24)	(3,72)	(3,58)	(0,03)	(2,77)	(1,03)	(0,04)
Profundidade de sulcos na casca									
< 0,02	<i>L. leucocephala</i>	2,70 a	0,85 a	4,53 a	3,98 a	0,07 a	14,50 a	2,95 a	1,10 a
	<i>S. parahyba</i>	(0,86)	(0,24)	(3,72)	(3,58)	(0,03)	(2,77)	(1,03)	(0,04)
≥ 0,02 < 0,10	<i>E. urograndis</i>	4,26 a	3,35 a	1,65 a	0,92 a	2,75 a	5,06 b	4,89 a	1,21 a
	<i>P. echinata</i>	(1,35)	(0,67)	(0,82)	(0,12)	(1,80)	(1,76)	(0,62)	(0,63)
≥ 0,10	<i>M. polymorphum</i>								
	<i>P. taeda</i>	3,76 a	2,07 a	1,92 a	0,44 a	0,26 a	5,07 b	4,73 a	1,04 a
	<i>P. granulorum</i>	(1,02)	(0,75)	(0,44)	(0,11)	(0,16)	(0,89)	(1,36)	(0,19)
	<i>T. roseoalba</i>								
Número de sulcos na casca									
< 10	<i>L. leucocephala</i>	2,70 a	0,85 a	4,53 a	3,98 a	0,07 a	14,50 a	2,95 a	1,11 a
	<i>S. parahyba</i>	(0,86)	(0,24)	(3,72)	(3,58)	(0,03)	(2,77)	(1,03)	(0,04)
≥ 10,18 < 50,28	<i>P. echinata</i>	3,47 a	2,53 a	2,87 a	0,65 a	0,86 a	2,80 b	6,71 a	0,99 a
	<i>P. taeda</i>	(0,55)	(1,49)	(0,37)	(0,39)	(0,08)	(0,50)	(2,44)	(0,42)
≥ 50,28	<i>E. urograndis</i>								
	<i>M. polymorphum</i>	4,16 a	2,48 a	1,31 a	0,58 a	1,20 a	6,20 a	3,82 a	1,15 a
	<i>P. granulorum</i>	(0,11)	(0,69)	(0,26)	(0,12)	(1,00)	(0,39)	(0,61)	(0,26)
	<i>T. roseoalba</i>								

Fonte: Autora (2021).

3.4 Entrada de nutrientes via escoamento pelo tronco

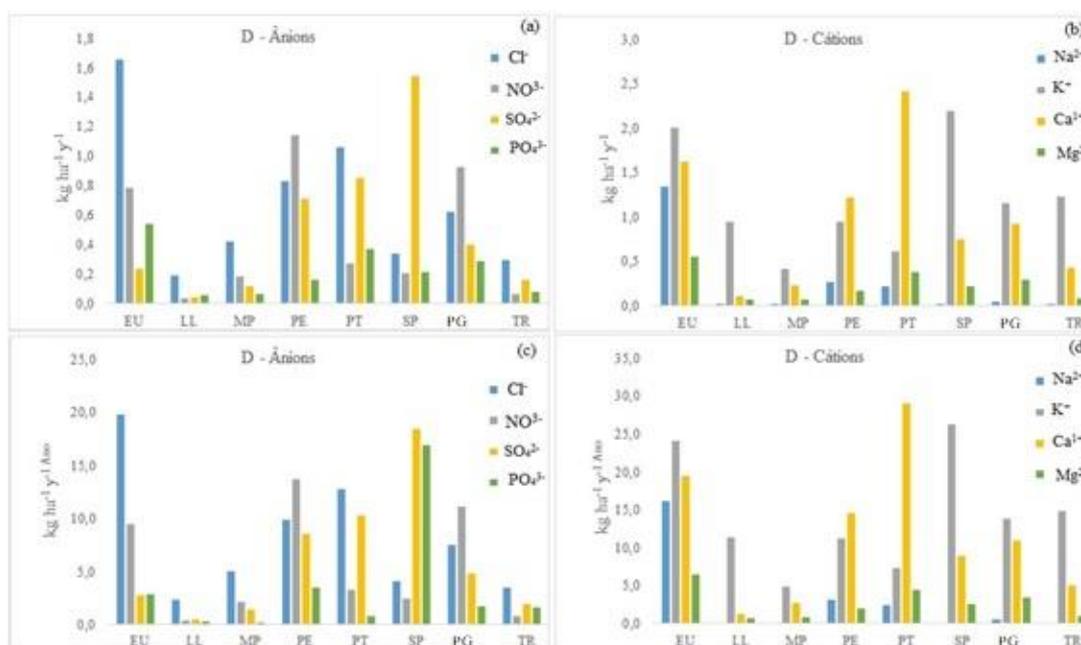
Na Figura 33 (a, b) pode-se observar que se levarmos em consideração a extrapolação da entrada de nutrientes via escoamento pelo tronco por área (hectare), os resultados indicaram

⁸ Os valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente de acordo ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

que a contribuição para a entrada anual de nutrientes das 8 espécies analisadas para os ânions foi cerca de 5,4; 3,6; 4,1 e 2,3 kg ha⁻¹ y⁻¹ de Cl⁻, NO³⁻, SO⁴²⁻ e PO⁴³⁻, respectivamente. Considerando os cátions, a entrada anual por hectare para os íons de Na²⁺, K⁺, Ca¹⁺, Mg²⁺ foram respectivamente de 1,9; 9,5; 7,7 e 1,8 kg ha⁻¹ y⁻¹. A entrada total dos nutrientes registrados para espécies investigadas variaram de aproximadamente 8,8 kg ha⁻¹ y⁻¹ (*E. urograndis*) a 1,4 kg ha⁻¹ y⁻¹ (*L. leucocephala* e *M. polymorphum*). Ainda, é possível notar que a maior entrada de cátions corresponde ao K⁺, foram atribuídas as espécies *S. parahyba* (2,4 kg ha⁻¹ y⁻¹) e *E. urograndis* (1,6 kg ha⁻¹ y⁻¹), além da elevada entrada de Ca¹⁺ para *P. taeda* (2,4 kg ha⁻¹ y⁻¹).

Se extrapolarmos mais ainda a entrada iônica por hectare para um período de 12 meses, nota-se relevante a entrada de íons no sistema solo, com destaque principal para a espécie *S. parahyba* e *E. urograndis* correspondendo a entrada anual de 26,3 kg ha⁻¹ y⁻¹ Ano e 24,1 kg ha⁻¹ y⁻¹, respectivamente (Figura 33 c, d).

Figura 33 - Entrada iônica (a e b) média por hectare [kg ha⁻¹] e total anual [kg ha⁻¹ y⁻¹] por hectare para um período de 12 meses registrados para 8 espécies florestais.



Fonte: Autora (2021).

4 DISCUSSÃO

O incremento das concentrações de íons na água do escoamento pelo tronco em relação à precipitação, revela a importância desse processo como um potencial mecanismo de transferência de água e nutrientes para o solo, especialmente em áreas urbanas ou antropizadas e deixa claro a importância do escoamento pelo tronco para a ciclagem de nutrientes. Nesse

estudo, as concentrações de íons no escoamento pelo tronco foram aproximadamente, 500% maiores que na água da precipitação. Esse comportamento é de fato uma consequência da interação da água da chuva com a estrutura da vegetação e os elementos químicos contidos na superfície de suas folhas, ramos e casca (HOFHANSL *et al.*, 2012; LEVIA; HERWITZ, 2000; SUN *et al.*, 2021; TONELLO *et al.*, 2021), que inclusive, tem contribuído para a manutenção hídrica e nutricional de ambientes áridos e semiáridos na China, com o desenvolvimento de ilhas férteis sob os dosséis (LI; LI; MA, 2011). Esses *hotspots* criados por meio do escoamento pelo tronco ocasionam a heterogeneidade do solo criando microambientes ao redor dos troncos das árvores (CHANG; MATZNER, 2000; WHITFORD; ANDERSON; RICE, 1997; AUBREY, 2020; MCCLAIN *et al.*, 2003), que além de tudo, também favorece o incremento da textura, aeração, permeabilidade e troca iônica do solo (TUKEY, 1970), como observado em alguns estudos (SUN *et al.* 2021; SHIKLOMANOV; LEVIA, 2014; WITTIG; NEITE, 1986).

Entre as espécies analisadas, não necessariamente os maiores volumes de água escoada estiveram associados à altas concentrações de íons no escoamento pelo tronco, como também já foi observado em espécies do Cerrado brasileiro (TONELLO *et al.*, 2021b). De fato, embora *P. echinata* e *P. granulosum* tenham apresentado o maior volume escoado pelo tronco, não registraram as maiores concentrações de nutrientes. Por sua vez, em *S. parahyba*, que registrou o menor volume acumulado de escoamento pelo tronco, se observou a maior concentração média de íons. . Essa fato pode ser atribuído a ocorrência da diluição da concentração de íons da água escoada das espécies que tiveram o maior volume, o que não significa que são espécies com menor potencial para o fluxo de nutrientes. Diante dessa hipótese, investigações futuras seriam necessário para maiores esclarecimentos.

A análise a partir da concentração média dos oito íons pode mascarar a maior ou menor concentração específica de um determinado íon. Isso significa que existem variações de concentração de um mesmo íon entre as espécies, mesmo que todas elas estejam localizadas em um mesmo ambiente, ou seja, que receba a mesma chuva. Por exemplo, se retomarmos as concentrações de íons de *S. parahyba*, essa espécie apresentou a maior concentração de SO_4^{2-} , sendo 330% maior que a média e 1044% maior que *E. urograndis*, porém, registrou também a segunda menor concentração de Cl^- (50% menor que a média e 300% menor que *M. polymorphum*). Por outro lado, *P. echinata* e *T. granulosa* foram responsáveis pelos maiores valores de NO_3^- , mas esse comportamento não se manteve com os demais íons no escoamento pelo tronco dessas mesmas espécies. Outro fator a se considerar o qual não foi objeto deste estudo, é a posição da árvore, se é mais ou menos exposta ao vento, sabendo que a deposição

de poeira via vento é uma das formas de incremento de elementos químicos na parte aérea e tronco das árvores.

Essa constatação sugere que a estrutura das espécies pode estar relacionada com a maior ou menor concentração de um determinado íon carregado via escoamento pelo tronco, ou seja, ao interagir com a copa da árvore, a chuva carrega substâncias químicas advinda da própria atmosfera, mas além disso, da deposição e exsudação da vegetação (LEVIA; FROST, 2003). A concentração de nutrientes é resultado dos processos internos do dossel, seja com a lixiviação do dossel e/ou por meio dos processos externos, acometidos com lavagem dos íons depositados nas árvores (KUMAR GAUTAM; LEE; SONG, 2017; SU *et al.*, 2019). Especialmente relacionado a lixiviação de nutrientes das plantas, algumas estruturas da planta podem lixiviar íons facilmente, enquanto que outras são dificilmente lixiviadas, sendo que a intensidade e volume das chuvas podem afetar esse processo (TUKEY, 1970).

No geral, o PO_4^{3-} teve baixas concentrações em quase todas as espécies, com exceção em *S. parahyba*. Altas concentrações podem estar relacionadas à lavagem dos materiais fecais e exsudatos contidos nas estruturas das árvores (TÓBON *et al.*, 2004), como pôde se observar à alta abundância de collembolas e insectas encontrados no escoamento de *S. parahyba* (resultados podem ser visualizados no capítulo anterior). A estrutura da folha e da casca das árvores fornece amplo habitat para uma grande variedade de metazoários, incluindo vegetação epífita como líquenes, briófitas e plantas vasculares. O dossel também pode hospedar metazoários em orifícios de árvore que, após eventos de chuva, são preenchidos com água e se tornam habitat para metazoários como rotíferos, nematoides, tardígrados, ácaros e colêmbolos (PTATSCHECK; TRAUNSPURGER, 2014; SHAW, 2015; MILLER; GALLARDO; CLARK, 2013; PONETTE-GONZÁLEZ; VAN STAN II; MAGYAR, 2020; GUIDONE; GORDON; VAN STAN, 2021). Assim, todos esses hóspedes, que podem ter como preferência espécies florestais específicas, também interferem de uma forma ou de outra, na composição química do escoamento pelo tronco.

Embora K^+ tenha sido o íon com maior concentração em quase todas as espécies (exceção para *M. polymorphum* e *P. taeda*), pesquisas anteriores confirmam que este enriquecimento é o resultado da lixiviação deste íon do próprio dossel (PARKER, 1983; LEONARDI; FLUCKIGER, 1987; RODRIGO; AVILA; RODÀ, 2003; TONELLO *et al.*, 2021) e sua maior suscetibilidade, pode ser atribuído a sua alta mobilidade e abundância nas folhas (TÓBON, SEVINK; VERSTRATEN, 2004; MOMOLLI *et al.*, 2018). Ele é um elemento altamente móvel, e como existe um alto gradiente de concentração entre os tecidos do xilema

da folha e a precipitação incidente permite seu efluxo para fora dos tecidos foliares (LIN *et al.*, 2001).

Baixas concentrações também foram encontradas para o NO^{3-} e este fator indica que as copas e a casca destas espécies podem ter forte absorção de nitrogênio. Dentre as espécies estudadas, *L. leucocephala* teve menor entrada de NO^{3-} ($0,03 \text{ ha y}^{-1}$), que por sua vez, é uma espécie com forte característica fixadora de nitrogênio (GOMES *et al.*, 2008; STEINBORN; ROUGHLEY, 1975), resultado que reforça a absorção do nitrogênio por essa espécie. O escoamento pelo tronco tende a acelerar a utilização de nitrogênio durante a precipitação (Su *et al.*, 2019), hipótese essa que vai de acordo com estudos anteriores desenvolvido na floresta secundária no sul da Venezuela (DEZZEO; CHACÓN, 2006) e em floresta tropical úmida localizada no sudeste da Costa Rica (HOFHANSL *et al.*, 2012) que ao limitar o nitrogênio e fósforo, estes são facilmente removidos da água da chuva à medida que passam pelo dossel florestal. Além do mais, a nitrificação e desnitrificação na superfície da vegetação também podem ter impacto na concentração de nitrogênio (AUGUSTO *et al.*, 2002).

Em contraponto, Ca^{1+} e Mg^{2+} há menor mobilidade, justamente devido a ligação do Mg^{2+} em moléculas orgânicas, tais como, clorofila, e o Ca^{1+} está intimamente associado à parede celular vegetal (MOSLEHI *et al.*, 2019). No entanto, o Ca^{1+} foi o segundo íon com maior concentração, sugerindo nesse estudo, que a presença de Ca^{1+} em grande quantidade deve-se à sua deposição nas copas e troncos das árvores, impulsionada pela proximidade do local do estudo à mineradoras de calcário presente na região, o que justifica a alta entrada de Ca^{1+} no solo por meio da precipitação ($19,6 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) quando comparado à outros autores (BALIEIRO *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 1995).

A presença do Na^{2+} pode ser atribuída ao sal marinho advindo da deposição atmosférica, sendo apenas um grau muito pequeno de lixiviação do dossel, por causa de uma concentração muito baixa nas folhas das árvores (PARKER, 1983; STAELENS *et al.*, 2008; SUN *et al.*, 2021). O presente estudo tem uma distância aproximada de 190 km do mar, sendo razoável que a quantidade de média anual seja de $1,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, entradas maiores que as encontradas em pesquisa desenvolvida no Cerrado (TONELLO *et al.*, 2020), localizado a distância de 160 km do mar, que correspondeu a média anual de $0,17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. Por outro lado, concentrações maiores foram encontradas em florestas plantadas no Sudeste da China a 65 km do mar ($18,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) (SHEN *et al.*, 2013). Dessa maneira, a concentração de Na^{2+} neste estudo é principalmente atribuído à lavagem de partículas depositadas no dossel das árvores entre os eventos de chuva.

Ainda assim, cabe ressaltar que, nem todas as concentrações de íons foram maiores no escoamento pelo tronco e estes resultados vão de encontro à pesquisas anteriores (LU *et al.*, 2017; SU *et al.*, 2019; HOFHANSL *et al.*, 2012; VAN STAN; GORDON, 2018). Até o momento, a atenção foi voltada para a entrada de íons no sistema, entretanto, valores menores na água do escoamento pelo tronco podem ser devido à absorção pela planta (CHAPIN *et al.*, 1987; TUKEY, 1970). Dessa maneira, os íons podem ser lixiviados através do escoamento pelo tronco e ainda serem incorporados à vegetação, resultando no processo físico de difusão dos íons. Tais resultados foram encontrados para as espécies *L. leucocephala* e *T. roseoalba* para os ânions NO_3^- e *M. polymorphum* e *P. taeda* tiveram menores concentrações de PO_4^{3-} ao comparar com as concentrações da precipitação. Quanto aos cátions, os íons de Na^{2+} e Ca^{1+} foram menores para as espécies *S. parahyba* e *L. leucocephala* / *T. roseoalba*, respectivamente.

Quanto as razões E_{AB} e CS:CP, nota-se que entre os íons e entre as espécies houveram diferenças estatísticas. Esse resultado pode ser justificado pelo fato da razão E_{AB} utilizar a área basal para o cálculo, além do volume (L) escoado pelo tronco, e conseqüentemente, as maiores razões serão para as espécies que tiveram maiores volumes escoado, e não necessariamente isso acontece. Se restringirmos a razão de enriquecimento considerando à área basal da árvore, dessa forma, não se leva em consideração as outras áreas do solo que também infiltra água escoada pelo tronco. Van Stan II e Allen (VAN STAN II; ALLEN, 2020) afirma que área do solo em que a água se infiltra dificilmente será igual a área basal do caule, motivo pelo qual a água do escoamento pelo tronco infiltra-se tanto verticalmente quanto lateralmente ao redor do perímetro do tronco, além de haver necessidade de incluir nos cálculos da taxa de infiltração a condutividade hidráulica do solo.

Escoamento pelo tronco, concentração de íons e morfologia da casca

Existe uma interação casca-água, de tal maneira que a casca pode participar tanto da troca de íons inorgânicos quanto orgânicos com a água da chuva por meio da precipitação interna e escoamento pelo tronco (VAN STAN; DYMOND; KLAMERUS-IWAN, 2021). Ao associar a morfologia da casca e concentrações iônicas observa-se que as concentrações de íons contido nesta água escoada pelo tronco sofreram influência apenas quanto à textura da casca para o cátion K^+ e número de sulcos existente na casca para o Na^{2+} .

Desse modo, tendo como um dos objetivos desse estudo, a caracterização da concentração de íons no escoamento pelo tronco em função da morfologia da casca a partir de classes de textura, profundidade e número de sulcos, não conseguiu transcrever como essas

variáveis se relacionam. Isso pode ser verificado, por exemplo, ao analisar as espécies caracterizadas com cascas lisas, menor profundidade e números de sulcos, os quais registraram as maiores concentrações de PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e K^+ . Fazem parte desse grupo a *L. leucocephala* e *S. parahyba*, sendo que a primeira registrou as menores concentrações de PO_4^{3-} e SO_4^{2-} em contradição à *S. parahyba*, embora ambas realmente tenham apresentado as maiores concentrações de K^+ . Nesse caso, de fato essas espécies de casca lisa confirmam a atribuição de K^+ ser facilmente lixiviado das estruturas vegetais. Caso a presença do K^+ tivesse como fonte principal a deposição atmosférica, seria esperado que sua maior concentração estivesse no escoamento de espécies com cascas mais rugosa, pelo fato de ter maior superfície de contato em comparação às árvores com cascas lisas.

As concentrações de Cl^- e NO_3^- se mostraram maiores em cascas sulcadas (no caso, *M. polymorphum*). Essa informação está correta para Cl^- justificado até pela maior quantidade de tecido morto em cascas rugosas que ao interagir com a água, são dissolvidos e carregados pelo escoamento pelo tronco (SU *et al.*, 2019). Todavia, para NO_3^- , as maiores concentrações estiveram associadas à *P. echinata* – casca em escala/esfoliativa. E esse mesmo raciocínio pode ser aplicado ao comparar as demais classes morfológicas da casca.

Tem-se conhecimento que espécies que possuem casca com textura rugosa ocorre o maior tempo de permanência da água do escoamento pelo tronco na casca, fator que favorece a troca iônica entre a casca e o meio aquoso, e conseqüentemente ocasiona a lixiviação dos íons existente na casca (ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008b; SU *et al.*, 2019). Embora, estudos apontem que os íons presentes no escoamento pelo tronco sejam mais concentrados em espécies de casca rugosa do que em espécies de casca lisa (PARKER 1983; SU *et al.* 2019; ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008b), os resultados demonstraram que espécies de casca lisa tiveram elevadas concentrações a frente das demais espécies com característica rugosa, o que sugere que existem outras variáveis que influenciam no fluxo do nutriente. Diante disso, fica claro que não podemos generalizar o potencial de enriquecimento das concentrações de íons no escoamento pelo tronco apenas partir da morfologia da casca, além de outras características bióticas que não foram mensurados neste estudo, há diversos fatores envolvidos no processo que devem ser levados em consideração, tais como, a posição da árvore e a direção dos ventos, além das fontes de aerossóis próximo a área estudada.

5 CONCLUSÕES

As espécies estudadas tiveram diferentes comportamentos quanto as concentrações de ânions e cátions e não necessariamente os altos volumes de água escoada no tronco estão associados a entradas de nutrientes no solo. As maiores entradas de ânions foram o Cl^- para a espécie *M. polymorphum*, NO_3^- correspondeu a espécie *P. echinata* e SO_4^{2-} e PO_4^{3-} para *S. parahyba*. Quanto aos cátions, K^+ foi o íon com resultados superiores em todas as espécies estudadas, com destaque para *L. leucocephala*, sendo sua lixiviação do dossel um dos principais fatores para a ocorrência. *E. urograndis* tiveram as maiores entradas de Na^{2+} e Mg^{2+} , e para a entrada de Ca^{1+} foi a espécie *P. taeda*.

A morfologia da casca associada a concentrações iônicas sofreu influências quanto ao número de sulcos existente na casca para o cátion Na^{2+} . E textura da casca, sendo o K^+ o íon de concentração, em que *L. leucocephala* e *S. parahyba*, espécies que possuem cascas lisas, tiveram resultados superiores em relação as espécies que possuem cascas mais rugosas. Este estudo dá-nos a compreender que a análise a partir das classes da morfologia da casca não pode ser generalizada de forma a exprimir o comportamento das espécies quanto ao fluxo de nutrientes, indicando que a relação escoamento pelo tronco-nutrientes-casca é espécie-dependente.

Por fim, o escoamento pelo tronco vai além da função hidrológica no ecossistema. O SF tem um papel importante para a ciclagem de nutrientes, ainda que seja para a manutenção nutritiva da própria árvore e vizinhança vegetal, processo esse, importante para a arborização urbana.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. D. C. *et al.* Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, v. 16, n. 1, p. 47–51, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.4206/bosque.1995.v16n1-04>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. **Science of the Total Environment**, v. 393, n. 1, p. 72–83, 2008a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.002>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Spatial and temporal patterns of throughfall chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. **Science of the Total Environment**, v. 397, n. 1–3, p. 215–228, 2008b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.043>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257–262, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000200014>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ASTUTI, H. P.; SURYATMOJO, H. Water in the forest: rain-vegetation interaction to estimate canopy interception in a tropical borneo rainforest. *In: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE FUTURE FOR HUMAN SECURITY*, 7, 2018, Padang, Indonésia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, IOP Publishing Ltd, v. 361, n. 1, p. 012035, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/361/1/012035>. Acesso em: 4 nov. 2021.

AUBREY, D. P. Relevance of Precipitation Partitioning to the Tree Water and Nutrient Balance. *In: VAN STAN, II J.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds). Precipitation Partitioning by Vegetation*. Springer, Cham, 2020. p. 147–162. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2_10. Acesso em: 4 nov. 2021.

AUGUSTO, L. *et al.* Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. **Annals of forest science**, v. 59, n. 3, p. 233-253, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/forest:2002020>. Acesso em: 4 nov. 2021.

CARLYLE-MOSES, D. E. *et al.* Expressing stemflow commensurate with its ecohydrological importance. **Advances in Water Resources**, v. 121, p. 472–479, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.08.015>. Acesso em: 4 nov. 2021.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP. 2020. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_118.html. Acesso em: 20 jul. 2020.

CHANG, S.; MATZNER, E. The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 1, p. 135–144, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200001\)14:1<135::AID-HYP915>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200001)14:1<135::AID-HYP915>3.0.CO;2-R). Acesso em: 4 nov. 2021.

CHUYONG, G. B.; NEWBERY, D. M.; SONGWE, N. C. Rainfall input, throughfall and stemflow of nutrients in a central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. **Biogeochemistry**, v. 67, n. 1, p. 73–91, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000015316.90198.cf>. Acesso em: 4 nov. 2021.

DE CARVALHO BALIEIRO, F. *et al.* Evaluation of the Throughfall and Stemflow Nutrient Contents in Mixed and Pure Plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 339–346, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200017>. Acesso em: 4 nov. 2021.

DEZZEO, N.; CHACÓN, N. Nutrient fluxes in incident rainfall, throughfall, and stemflow in adjacent primary and secondary forests of the Gran Sabana, southern Venezuela. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1–3, p. 218–226, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.003>. Acesso em: 4 nov. 2021.

DOWTIN, A. L.; SIEGERT, C. M.; LEVIA, D. F. Comparisons of flux-based stemflow enrichment ratios for two *Quercus* spp. within the megalopolis of the eastern USA. **Urban Ecosystems**, v. 24, n. 4, p. 675-690, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01064-5>. Acesso em: 4 nov. 2021.

GERMER, S. *et al.* Disproportionate single-species contribution to canopy-soil nutrient flux in an Amazonian rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 267, p. 40–49, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.041>. Acesso em: 4 nov. 2021.

GLIGIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297–317, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p297-317>. Acesso em: 4 nov. 2021.

HERWITZ, S. R. Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 12, n. 4, p. 425–432, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.3290120408>. Acesso em: 15 jul. 2020.

HOFHANSL, F. *et al.* Controls of hydrochemical fluxes via stemflow in tropical lowland rainforests: Effects of meteorology and vegetation characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 452–453, p. 247–258, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.057>. Acesso em: 4 nov. 2021.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estudio de los climas de la tierra. Cidade do México: Fundo de Cultura Econômica, 1948.

KUMAR GAUTAM, M.; LEE, K.S.; SONG, B. Y. Deposition pattern and throughfall fluxes in secondary cool temperate forest, South Korea. **Atmospheric Environment**, v. 161, p. 71–81, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.030>. Acesso em: 6 abr. 2020.

LEONARDI, S.; FLUCKIGER, W. Short-term canopy interactions of beech trees: mineral ion leaching and absorption during rainfall. **Tree Physiology**, v. 3, n. 2, p. 137–145, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/3.2.137>. Acesso em: 29 set. 2020.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils. **Catena**, v. 64, n. 1, p. 117–137, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.001>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, n. 1–4, p. 1–29, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2). Acesso em: 4 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p.

673–714, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 4, p. 662–666, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x99-244>. Acesso em: 4 abr. 2020.

LI, C.; LI, Y.; MA, J. Spatial heterogeneity of soil chemical properties at fine scales induced by Haloxylon ammodendron (Chenopodiaceae) plants in a sandy desert. **Ecological Research**, v. 26, n. 2, p. 385–394, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0793-0>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LIMA, W. de P. **Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em Cerradão**. Piracicaba: IPEF, v. 30, p. 13–17, 1985.

LIN, T. C. *et al.* Base cation leaching from the canopy of a subtropical rainforest in northeastern Taiwan. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 7, p. 1156–1163, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x01-035>. Acesso em: 16 set. 2020.

LU, J. *et al.* Nutrient Fluxes in Rainfall, Throughfall, and Stemflow in Pinus densata Natural Forest of Tibetan Plateau. **CLEAN - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, p. 1600008, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/clen.201600008>. Acesso em: 4 nov. 2021.

MCCLAIN, M. E. *et al.* Biogeochemical Hot Spots and Hot Moments at the Interface of Terrestrial and Aquatic Ecosystems. **Ecosystems**, v. 6, n. 4, p. 301–312, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0161-9>. Acesso em: 4 nov. 2021.

MOMOLLI, D. R. *et al.* Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 199–208, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n118.06>. Acesso em: 16 set. 2020.

MOSLEHI, M. *et al.* Base cation dynamics in rainfall, throughfall, litterflow and soil solution under Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees in northern Iran. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 2, p. 55, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0837-8>. Acesso em: 4 nov. 2021.

OKA, A. *et al.* Bark Effects on Stemflow Chemistry in a Japanese Temperate Forest I. The Role of Bark Surface Morphology. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 1–10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.654375>. Acesso em: 4 nov. 2021.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônômico, n. 45, 1999.

PARKER, G. G. Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle. **Advances in Ecological Research**, v. 13, p. 57–133, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60108-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60108-7). Acesso em: 4 nov. 2021.

RODRIGO, A.; AVILA, A.; RODÀ, F. The chemistry of precipitation, throughfall and stemflow in two holm oak (*Quercus ilex* L.) forests under a contrasted pollution environment in NE Spain. **The Science of the total environment**, v. 305, n. 1–3, p. 195–205, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00470-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00470-9). Acesso em: 4 nov. 2021.

SCHOOLING, J. T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SHEARMAN, T.; VARNER, J. M. Variation in bark allocation and rugosity across seven co-occurring southeastern US tree species. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 346, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/FFGC.2021.731020>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SHEN, W. *et al.* Atmospheric deposition and canopy exchange of anions and cations in two plantation forests under acid rain influence. **Atmospheric Environment**, v. 64, p. 242–250, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.015>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SHIKLOMANOV, A. N.; LEVIA, D. F. Stemflow acid neutralization capacity in a broadleaved deciduous forest: The role of edge effects. **Environmental Pollution**, v. 193, p. 45–53, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.011>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SONG, Q. *et al.* Accessing the impacts of bamboo expansion on NPP and N cycling in evergreen broadleaved forest in subtropical China. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 40383, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep40383>. Acesso em: 2 jun. 2020.

STAELENS, J. *et al.* Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: Influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 1, p. 33–45, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.6610>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SU, L. *et al.* Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 507, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10060507>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SUN, X. *et al.* Canopy modification of base cations deposition in a subtropical broadleaved forest: Spatial characteristics, canopy budgets and acid neutralizing capacity. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118863, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118863>. Acesso em: 4 nov. 2021.

TANAKA, N. *et al.* What factors are most influential in governing stemflow production from plantation-grown teak trees? **Journal of Hydrology**, v. 544, p. 10–20, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.010>. Acesso em: 30 jul. 2021.

TOBÓN-MARIN, C.; BOUTEN, I. .; DEKKER, S. Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.

237, n. 3–4, p. 169–183, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00302-4). Acesso em: 11 jun. 2020.

TÓBON, C.; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J. M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 1–25, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000049334.10381.f8>. Acesso em: 4 nov. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.* Nutrient fluxes in throughfall and stemflow in forest Cerrado species. In: EGU GENERAL ASSEMBLY, 2020, online. **EGUsphere**. Munich: European Geosciences Union, 2020. EGU2020-2465. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2465> Acesso em: 4 nov. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.* How Is Bark Absorbability and Wettability Related to Stemflow Yield? Observations From Isolated Trees in the Brazilian Cerrado. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.650665>. Acesso em: 4 nov. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.* Rainfall partitioning in the Cerrado and its influence on net rainfall nutrient fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 303, p. 108372, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108372> Acesso em: 4 nov. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.* Stemflow variability across tree stem and canopy traits in the Brazilian Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 308–309, n. July 2020, p. 108551, 2021c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108551>. Acesso em: 4 nov. 2021.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T. Does Exists Some Relationship between Restoration and Hydrology of Forests Ecosystems? **Agricultural Research & Technology: Open Access Journal**, v. 13, n. 4, p. 117–120, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.13.555894>. Acesso em: 4 nov. 2021.

TUKEY, H. B. The Leaching of Substances from Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 21, n. 1, p. 305–324, 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.21.060170.001513>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN, J. T. *et al.* Throughfall and stemflow are major hydrologic highways for particulate traffic through tree canopies. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fee.2360>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; DYMOND, S. F.; KLAMERUS-IWAN, A. Bark-Water Interactions Across Ecosystem States and Fluxes. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 660662, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.660662>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; GORDON, D. A. Mini-Review: Stemflow as a Resource Limitation to Near-Stem Soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00248>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN II, J. T.; LEVIA, D. F. Inter- and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. **Ecohydrology**, v. 3, n. 1, p. 11–19, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.83>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN II, J. T.; ALLEN, S. T. What We Know About Stemflow's Infiltration Area. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 61. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00061>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; VAN STAN, J. H.; LEVIA, D. F. Meteorological influences on stemflow generation across diameter size classes of two morphologically distinct deciduous species. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 10, p. 2059–2069, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0807-7>. Acesso em: 4 nov. 2021.

WEATHERS, K. C.; PONETTE-GONZÁLEZ, A. G. Atmospheric Deposition. In: LEVIA, D. F.; CARLYLE-MOSES, D. E.; TANAKA, T. (org.). **Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 335–370. E-book. Disponível em: doi.org/10.1007/978-94-007-1363-5. Acesso em: 4 nov. 2021.

WHITFORD, W. G.; ANDERSON, J.; RICE, P. M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. **Journal of Arid Environments**, v. 35, n. 3, p. 451–457, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0164>. Acesso em: 4 nov. 2021.

WITTIG, R.; NEITE, H. Acid indicators around the trunk base of *Fagus sylvatica* in limestone and loess beechwoods: distribution pattern and phytosociological problems. **Vegetatio**, v. 64, n. 2/3, p. 113–119, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00044787>. Acesso em: 4 nov. 2021.

XIAO, Q.; MCPHERSON, G. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 755–769, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0192-5>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Variations of Nutrients in Gross Rainfall, Stemflow, and Throughfall Within Revegetated Desert Ecosystems. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 6, p. 183, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2878-z>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ZIMMERMANN, A. *et al.* Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. **Journal of Hydrology**, v. 360, n. 1–4, p. 87–102, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.028>. Acesso em: 4 nov. 2021.

CAPÍTULO V : A CASCA COMO ELEMENTO EXPORTADOR DE NUTRIENTES VIA ESCOAMENTO PELO TRONCO E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO

RESUMO

O escoamento pelo tronco é uma importante via de entrada água e fornecimento de nutrientes para solos próximos ao tronco das árvores, podendo desempenhar amplas funções no ecossistema. No entanto, ao longo desse processo, pouco se sabe a respeito da contribuição da casca para o enriquecimento químico da água que escoo pelo tronco e alcança o solo. O objetivo desse estudo foi conhecer como as características de molhabilidade e constituição química da casca se relacionam com o processo de escoamento pelo tronco e, por fim, com a entrada de nutrientes no solo. Na investigação desse processo, i) caracterizou-se a molhabilidade e constituição química da casca de oito espécies em ambiente urbano, ii) analisou-se a concentração de íons no escoamento pelo tronco dessas espécies e iii) que foram relacionados à concentração de íons no solo da base de uma mesma árvore. Para viabilizar, foram instalados coletores de escoamento pelo tronco em meia circunferência da árvore, de tal forma que de um lado da árvore, o escoamento pelo tronco fluiu livremente até alcançar o solo (SF_{livre}) e no outro lado, ele foi interceptado (SF_{int}) e armazenado em recipientes. Os resultados indicaram a interação da casca com o escoamento pelo tronco, de tal maneira a contribuir para a inclusão de nutrientes no sistema solo em comparação com a precipitação, sendo que a composição química do escoamento pelo tronco foi específica de cada espécie. O ângulo de contato e molhabilidade da casca foram independente de sua textura. A concentração média de íons foi maior no solo que recebeu o SF_{livre} , principalmente para Ca^{1+} , K^+ e Cl^- . Na análise individual dos íons/espécie, SO_4^{2-} nos solos de *Pinus taeda* e Cl^- em *Schizolobium parahyba* e *Tabebuia roseoalba* apontaram incrementos significativos via escoamento pelo tronco. Esses resultados permitiram inferir que o contato da precipitação com a estrutura da árvore altera a composição química da água escoada pelo tronco através da transferência de elementos de deposição seca ou lixiviação de materiais intracelulares, o que acarretou a entrada de maiores quantidades de íons no solo. Contudo, há de se considerar que essa é uma relação espécie-dependente, que tende a aumentar a eficiência de utilização de nutrientes e as taxas de ciclagem, além de servir como uma fonte vital de nutrientes para as plantas crescimento e desenvolvimento das espécies.

Palavras-chave: Ângulo de contato. Ecohidrologia. Fluxo de nutrientes. Hidrologia florestal. Molhabilidade da casca.

THE BARK AS AN EXPORTING ELEMENT OF NUTRIENTS VIA STEMFLOW AND ITS EFFECTS ON SOIL CHEMISTRY

ABSTRACT

The stemflow is an important way of entering water and supplying nutrients for soils close to the trunk of trees, and it can play a wide role in the ecosystem. However, throughout this process, little is known about the contribution of the bark to the chemical enrichment of the water that flows through the trunk and reaches the ground. The objective of this study was to know how the wettability characteristics and chemical constitution of the bark are related to the flow process through the trunk and, finally, to the input of nutrients in the soil. In the investigation of this process, i) the wettability and chemical constitution of the bark of 8 forest species was characterized, ii) the concentration of ions in the flow through the trunk of these species was analysed and iii) that were related to the concentration of ions in the soil of the base of the same tree. To make it feasible, stemflow collectors (SF) were installed in half a circumference of the tree, in such a way that in half a tree, the stemflow flowed freely until it

reached the ground (SF_{free}) and in the other half, it was intercepted (SF_{int}) and stored in containers. The results indicated the interaction of bark with stemflow, in such a way as to contribute to the inclusion of nutrients in the soil system in comparison with precipitation, and the chemical composition of stem flow was specific to each species. The contact angle and wettability of the shell-bark were independent of its texture. The mean concentration of ions was higher in the soil that received free stemflow, mainly for Ca^{1+} , K^{+} and Cl^{-} . In the individual ion/species analysis, SO_4^{2-} in soils of *Pinus taeda* and Cl^{-} in *Schizolobum parahyba* and *Tabebuia roseoalba* showed significant increases via SF. These results allowed us to infer that the contact of precipitation with the tree structure alters the chemical composition of the SF through the transfer of elements from dry deposition or leaching of intracellular materials, which led to the entry of greater amounts of ions into the soil. However, it must be considered that this is a species-dependent relationship, which tends to increase the efficiency of nutrient use and cycling rates, in addition to serving as a vital source of nutrients for plants to grow and develop species.

Keywords: Contact angle. Ecohydrology. Nutrient fluxes. Forest hydrology. Peel-Bark wettability.

1 INTRODUÇÃO

O formato da casca externa é muito diversa: varia entre espécies, idade da árvore, fatores ecológicos e ainda, ao longo de diferentes partes de uma mesma árvore (ILEK *et al.*, 2021; ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2019; VAN STAN; DYMOND; KLAMERUS-IWAN, 2021). Mas independente disso, são comumente utilizadas como bioindicadores de poluição atmosférica em áreas urbanas e industriais (MOREIRA *et al.*, 2018; OKA *et al.*, 2021a). Isso se deve ao fato da casca possuir uma grande área exposta ao ambiente, sendo que a sua estrutura e porosidade permite interceptar e reter a poluição por longo tempo (PONETTE-GONZÁLEZ, 2021; CATINON *et al.*, 2009; EJIDIKE E ONIANWA, 2015), inclusive por mais tempo do que a superfície das folhas (Mandiwana *et al.*, 2006; ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2019). Apesar de algumas possuírem a parede celular totalmente impermeável à água e gases (ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2019), a casca externa é muito mais rica em minerais do que a parte interna da madeira, mas varia significativamente entre as espécies (PÁSZTORY *et al.*, 2016).

Camadas mais finas de tecido morto, que comumente revestem ramos mais jovens e troncos de árvores, permitem alguma mobilidade de íons entre os tecidos internos funcionais mais próximos e a casca (LEGRAND; ASTA; GOUDARD, 1996). Conforme a casca aumenta em espessura e idade, o desenvolvimento do câmbio vascular, que origina as novas células do xilema e floema, promovem uma constante lixiviação de íons (CATINON *et al.*, 2009; ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2019), que, ao interagir com a chuva, podem facilmente serem lixiviados para o solo. Porém, tal como acontece com o movimento da água em todo o sistema

solo-planta-atmosfera, a água é capaz de se mover radialmente através dos tecidos lenhosos com base nos gradientes de potencial da água. Este movimento pode ser bidirecional, em que a água pode ser perdida por evaporação ou absorvida pela casca (BERRY *et al.*, 2021), sendo esse último processo e sua relação com a ecologia ainda pouco conhecido.

Especificamente, o escoamento pelo tronco possui contato direto com a estrutura da casca, uma vez que a água da chuva possui contato permanente com o tronco da árvore ao longo de um evento de chuva. As concentrações dos elementos no escoamento pelo tronco e na casca são intimamente ligados, já que a origem das substâncias na água do escoamento pelo tronco e na casca são as mesmas, e parte dos íons transportados pelo escoamento pelo tronco são depositados anteriormente na casca (FARMER; BATES; BELL, 1991). Dessa forma, o escoamento pelo tronco detém a capacidade de transferir a deposição seca e estimular a capacidade de troca iônica, resultando em um fluxo de água mais concentrado de nutrientes em relação a precipitação em aberto e precipitação interna (SU *et al.*, 2019), sendo de 10-100 vezes espacialmente e quimicamente mais concentradas (em solutos) do que a precipitação aberta (VAN STAN II; ALLEN, 2020).

Assim, a relevância das interações água-casca para os aspectos biogeoquímicos dos ecossistemas florestais também deve ser destacada, como as trocas de nutrientes do dossel e as propriedades do solo (VAN STAN; DYMOND; KLAMERUS-IWAN, 2021). Uma vez que as interações casca-água estão conectadas a processos biogeoquímicos com o transporte de solutos e particulados, a água do escoamento pelo tronco que drena para a superfície do solo, pode ser altamente enriquecida com nutrientes dissolvidos devido ao contato prolongado com a casca até alcançar o solo (VAN STAN; DYMOND; KLAMERUS-IWAN, 2021). Ao atingir o solo, essa solução de água e elementos dissolvidos, potencializa e altera condições edáficas próximas aos troncos de árvores individuais tais como, umidade do solo, pH e nutrientes minerais disponíveis para as plantas podendo variar especificamente entre as espécies (ROSIER *et al.*, 2016). Assim, as características anatômicas da casca e a concentração de nutrientes lixiviáveis pelo escoamento pelo tronco estão relacionados, e essas relações podem ser importantes para compreender o ciclo de nutrientes através da casca (OKA *et al.*, 2021b) por intermédio da chuva, especialmente em áreas antropizadas, onde se tem distúrbios na ciclagem de nutrientes.

Até o momento, a perspectiva dos ecólogos florestais tem se concentrado fortemente nas interações folha-água - deixando os papéis ecológicos da casca subestimados, simplificados demais ou omitidos do ciclo hídrico da floresta (VAN STAN; DYMOND; KLAMERUS-IWAN, 2021). Especialmente nos trópicos, pouco se conhece como

as características de molhabilidade e constituição química da casca se relacionam com o processo de escoamento pelo tronco e a entrada de nutrientes no solo, sendo esse o objetivo principal desse estudo. Especificamente buscou-se i) caracterizar a molhabilidade e constituição química da casca de 8 espécies florestais, ii) analisar a concentração de íons no escoamento pelo tronco dessas espécies e iii) relacioná-los à concentração de íons no solo da base de uma mesma árvore onde o escoamento pelo tronco alcançou o solo, assim como onde o escoamento pelo tronco foi interceptado (não atingindo o solo). As hipóteses testadas são: (1) a molhabilidade e a composição química da casca é espécie-dependente e influencia o fluxo de nutrientes via escoamento pelo tronco; (2) o escoamento pelo tronco irá alterar a química do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

O experimento foi conduzido em árvores localizadas na arborização da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, São Paulo (23°34'50.02" S, 47°31'26.23" W, altitude de 667m). O clima da região é classificado como Cwa, temperado seco e quente com verão quente, onde a temperatura anual média é de 22°C (KÖPPEN, 1948) e a precipitação média anual é de 1311 mm (CEPAGRI, 2020). Este está inserido em uma região de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista, com solos dos tipos Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (OLIVEIRA, 1999). A área de estudo encontra-se nas proximidades do rio Ipaneminha, integrante da bacia do rio Sorocaba e Médio Tietê.

A seleção de árvores para o desenvolvimento dessa pesquisa considerou a variação interespecífica das espécies quanto a entrada de nutrientes. Assim, as árvores foram amostradas com base no critério de que o indivíduo não tivesse contato de copa com outras espécies, a fim de se evitar a contaminação química das amostras. Desse modo, 24 árvores foram selecionadas, contemplando 3 indivíduos de cada uma das oito (8) espécies florestais listadas na Tabela 17, onde também se encontram suas respectivas médias (erro padrão) das características morfológicas.

Tabela 13 - Espécies monitoradas, e suas respectivas características morfológicas: diâmetro à altura do peito (DAP), geometria da copa (H:W) e textura da casca. Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão.

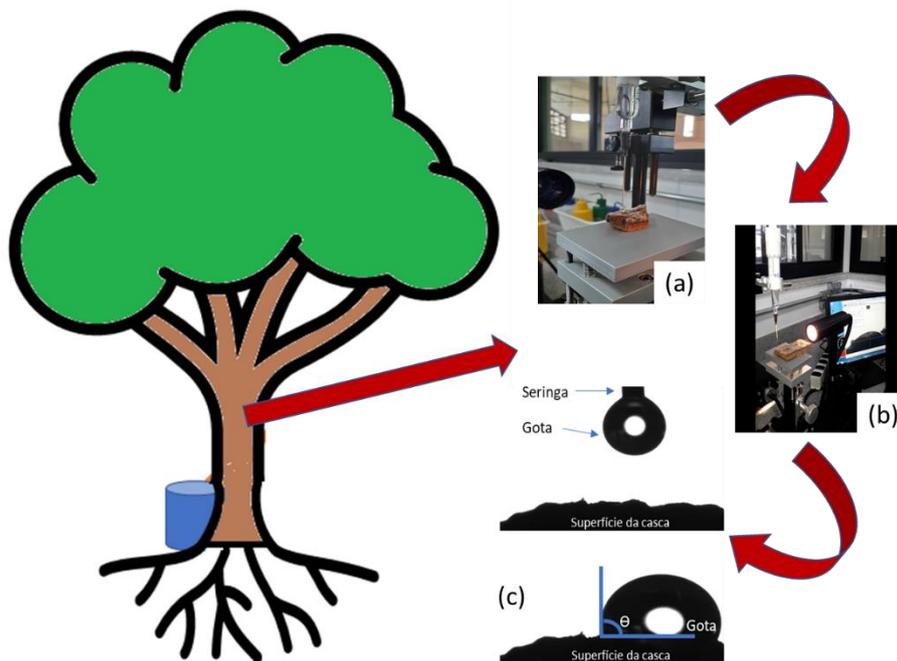
Espécies	DAP	H:W	Textura da casca
<i>Eucalyptus urograndis</i> *	23.6 (2.9)	2.4 (0.4)	Esfoliativa
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	19.4 (3.2)	0.6 (0.1)	Lisa
<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	20.2 (1.4)	0.8 (0.05)	Sulcada
<i>Paubrasilia echinata</i> (Lam.) Gagnon, H.C. Lima & G.P. Lewis	18.1 (1.3)	0.5 (0.1)	Esfoliativa
<i>Pleroma granulosum</i> (Desr.) D. Don	21.9 (2.5)	0.9 (0.04)	Esfoliativa
<i>Pinus taeda</i> L.	27.2 (3.7)	1.1 (0.1)	Esfoliativa
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	21.1 (0.8)	0.7 (0.3)	Lisa
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	20.0 (2.9)	0.5 (0.02)	Esfoliativa

Fonte: Autora (2021). *Híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

2.2 Caracterização física e química da casca externa

A capacidade da molhabilidade superficial da casca externa de cada espécie foi obtida pelo ângulo de contato (CA) da casca em condições de laboratório (TONELLO *et al.*, 2021a). Para tanto, as amostras foram obtidas a partir do tronco de cada indivíduo, totalizando em 3 amostras por espécie. As amostras foram secas a 35 °C até atingirem a massa constante e então submetidas à medição do ângulo de contato pelo método de gotículas sésseis (ERBIL, 2014; SINDERSKI, 2020) através do goniômetro Ramé-Hart. Por meio de uma seringa com agulha de diâmetro interno de 0,13 mm, colocou-se uma gota de água destilada (0,1 ml) nas laterais externas da casca, sendo o formato da gota e seu respectivo ângulo registrado pela câmera do software (Figura 34). As medições foram registradas a partir do segundo zero, com intervalos de 0,5 s até que a gota fosse totalmente absorvida ou até atingir o intervalo máximo de 480 s. Para análise, utilizou-se informações do CA inicial [CA_{in} , $t = 0,5s$], que representa o CA máximo; assim como a taxa de decaimento do CA [CA_{rate}] obtida a partir da diferença entre o CA_{in} e o CA_{final} dividida pelo tempo total de medição. Dessa forma, as médias de CA_{in} em e CA_{rate} foram usadas para caracterizar as espécies.

Figura 34 - Análise da molhabilidade superficial da casca externa. Detalhe da casca e seringa (a) e registro da imagem em software (b); detalhe da gota interagindo com a casca (c).



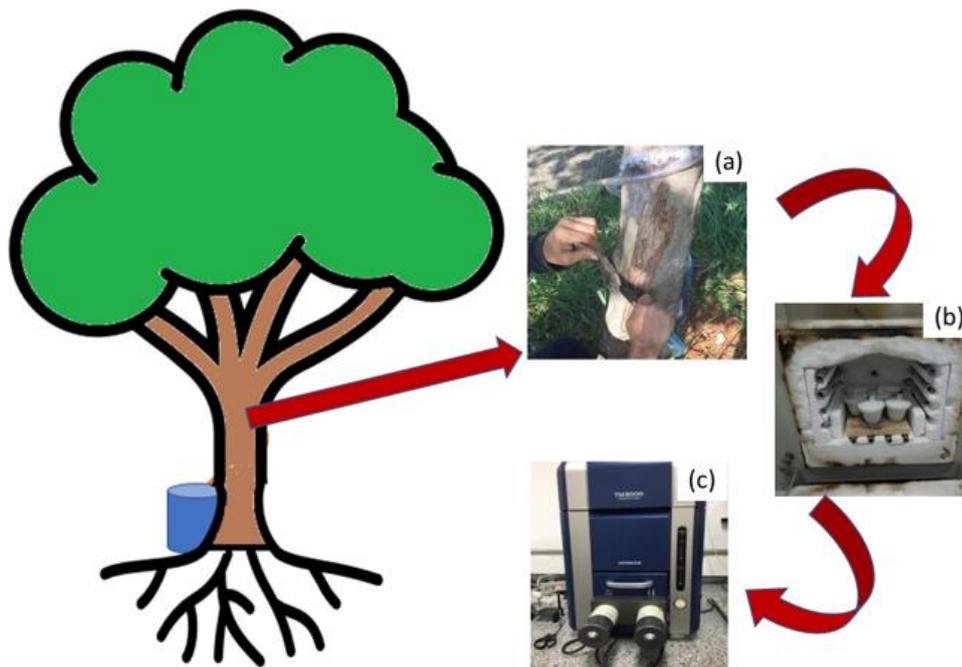
Fonte: Kelly Cristina Tonello (2021).

A análise química da casca externa foi realizada a partir de amostras coletadas nos meses de outubro de 2019 e abril de 2020 em cada árvore estudada. As amostras foram cuidadosamente removidas do tronco da árvore (Figura 35), de onde se determinou a concentração elementar média presente nos teores de cinza. As amostras foram secas em estufas com ventilação de ar forçada a 105 °C até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram trituradas com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey (MARCONI, modelo MA340) com a utilização da peneira de 10 mesh.

Os cadinhos e tampas foram previamente calcinados no forno mufla (JUNG, modelo LF00212) a 750 °C por 30 minutos, que receberam posteriormente, 1,0 g de casca e conduzidos à mufla aquecida a 600 °C. Inicialmente os cadinhos foram colocados na porta (aberta) por 2 min. Em seguida, os cadinhos foram movidos para dentro do forno, ainda com a porta aberta, por mais 3 min. Após essa etapa, os cadinhos foram movidos para o fundo da mufla e ficaram por mais 6 min com a porta fechada. Gradativamente aumentou-se a temperatura até 600 °C e dessa maneira as amostras permaneceram por um período de 6 horas. Por fim, os elementos químicos foram analisados nas cinzas das cascas com auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada (modelo TM 3000 e marca Hitachi), com a aceleração 15 KV, juntamente com o detector de energia dispersiva de raios-X (EDS), e fita adesiva de carbono para fixar o material. Embora o MEV forneça a concentração elementar de 12 íons, neste estudo,

para fins de comparação, utilizou-se somente as informações dos íons que também foram analisados nas análises químicas do escoamento pelo tronco e solos, sendo: Cl^- , S^0 , P^0 , Na^{2+} , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+} . Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

Figura 35 - Análise química da casca externa. Amostragem de casca externa das árvores selecionadas (a), Cadinhos com amostras de casca na mufla (b), processamento em microscopia eletrônica de varredura – MEV (c).



Fonte: Kelly Cristina Tonello (2021).

2.3 Variáveis hidrológicas analisadas

A precipitação em aberto foi obtida a partir de três pluviômetros confeccionados a partir de tubos e conexões de PVC (área de captação de 254,5 cm² e altura de 20 cm), instalados em área aberta, a 1,50 metros do solo. A precipitação foi calculada por meio da Equação 1.

$$P = \frac{V}{A} \quad (1)$$

Onde P é precipitação em aberto (mm), V é o volume acumulado no pluviômetro (L) e A é a área de captação do pluviômetro (m²).

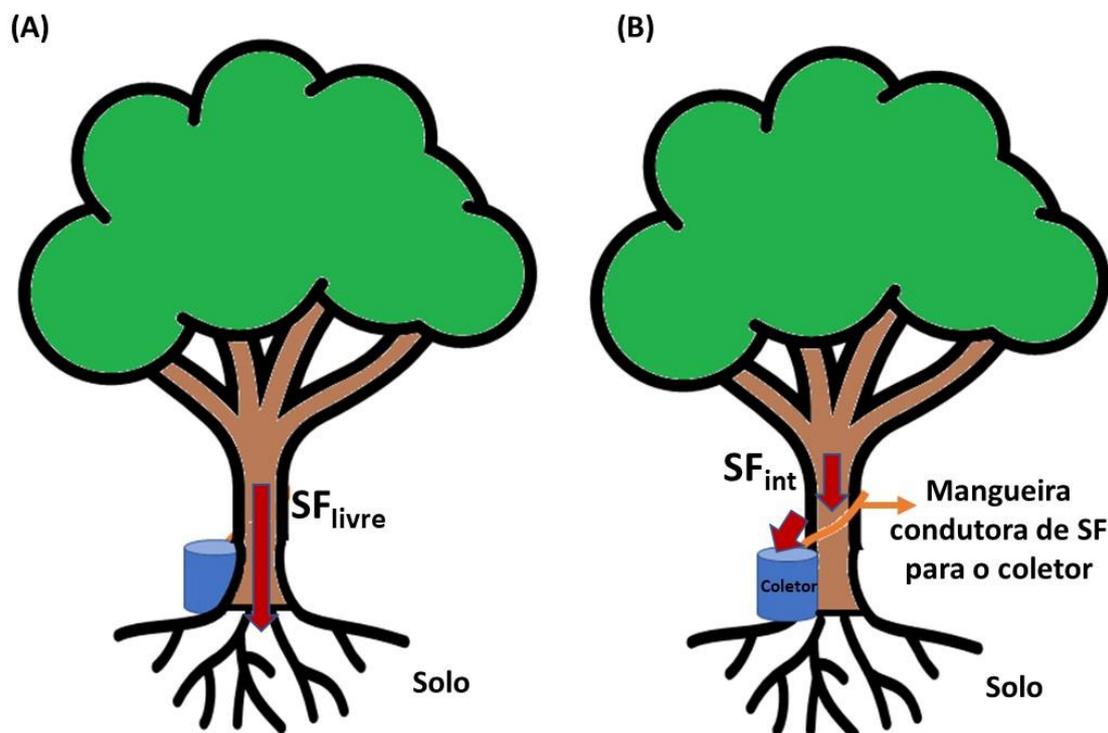
O monitoramento do escoamento pelo tronco (SF) foi baseado na metodologia proposta por Hofhansl et al. (2012) e Schooling et al. (2017), porém com modificações para o alcance dos objetivos aqui propostos. Nesse caso, mangueiras com 4 cm de diâmetro foram cortadas ao

⁹ O equipamento MEV realizou a leitura dos elementos enxofre (S) e fósforo (P), sendo estes comparados com os íons de sulfato (SO_4^{2-}) e fosfato (PO_4^{3-}), respectivamente, ambos presentes na água escoada pelo tronco e na solução do solo.

meio longitudinalmente e firmemente fixadas nos troncos das árvores em uma inclinação de 45° e em apenas meia circunferência do tronco. Essa metodologia foi aplicada para que a coleta da água do SF fosse realizada somente em um lado da árvore, permitindo que o processo de SF ocorresse livremente no lado oposto do tronco, e assim, alcançando o solo (Figura 36). Na extremidade inferior da mangueira, um trecho excedente foi deixado sem o corte longitudinal para conduzir a água até o interior do coletor de armazenamento. Tanto para precipitação em aberto como o escoamento pelo tronco, um funil e uma tela de polipropileno foram colocados na parte superior dos coletores para evitar a entrada de folhas, insetos e pequenos animais que pudessem contaminar a água captada e interromper o fluxo da água, bem como minimizar a evaporação da água.

Para a análise química da água da P e SF, foram coletadas amostras compostas mensais armazenadas em garrafas plásticas virgens de 300 ml, previamente lavadas com água deionizada para a não contaminação do material. Foram descartadas amostras de P e SF que estivessem obviamente contaminadas ou questionáveis, tal como as que apresentassem cores incomuns ou contendo materiais estranhos. Após a coleta, as garrafas foram armazenadas em local refrigerado à 4°C até o momento da análise química. Cada ocasião de amostragem consistiu em um ou mais eventos consecutivos de chuva. Um evento de chuva originalmente é definido como chuvas de pelo menos 1 mm de altura da lamina d'água, precedido por um período seco de no mínimo 12 h (ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008a).

Figura 36 - Análise química da água escoada pelo tronco. Escoamento pelo pelo tronco livre (SF_{livre}) até o solo em meia circunferência do tronco (A) e instalação da mangueira na outra metade da circunferência do tronco com a condução da água para o coletor (SF_{int}) (B).



Fonte: Kelly Cristina Tonello (2021).

2.4 Análise dos solos

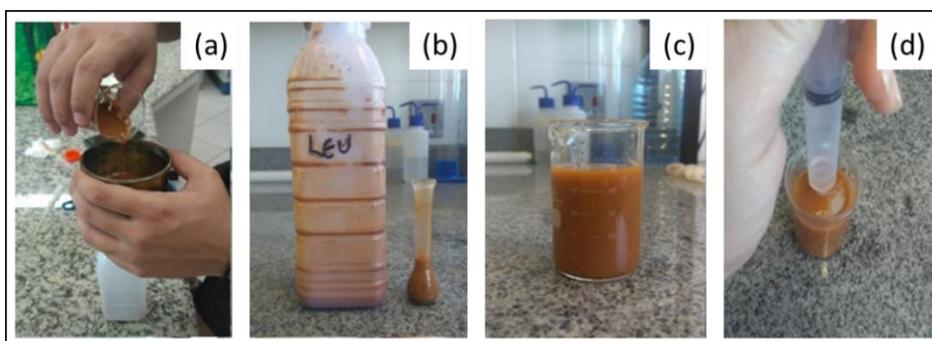
Amostra de solo foram obtidas nos dois lados da base dos troncos das árvores, ou seja, do lado que recebeu o SF livre, assim como do lado onde estava instalada a mangueira que interceptou o SF e o direcionou para o coletor de armazenamento, e dessa forma, não alcançando o solo. Dessa forma temos duas situações: (1) o solo que recebeu a água do SF livremente - SF_{livre} , e (2) o solo que não recebeu a água do SF - SF_{int} . As amostras de solo foram colhidas com o trado holandês à profundidade de 0 a 10 cm e à 15 cm de distância do tronco. Em seguida, as amostras foram armazenadas em local refrigerado à 4°C até o momento da análise química. Cada amostra consistiu em 6 subamostras por espécie (3 para SF_{livre} + 3 SF_{int}) /evento.

2.5 Análise química da precipitação, escoamento pelo tronco e solos

A concentração de íons (Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , K^+ , Ca^{1+} , Mg^{2+}) em amostras de P, SF e solos foi obtida a partir de amostras compostas referente aos eventos dos meses de outubro de 2019; janeiro, abril e julho de 2020. As determinações dos elementos químicos foram realizadas

no cromatógrafo líquido METROHM ECO IC do Laboratório de Hidrometeorologia de Água e Solos da Universidade Estadual Paulista, campus Sorocaba. No caso da análise química dos solos, foi preciso a sua preparação antes de submetê-los ao equipamento. Assim, 40 g de solos foram pesados em balança analítica e diluídos em 40 ml de água ultrapura. Após a homogeneização do substrato, utilizou-se a peneira granulométrica de 0,053 mm para a filtragem (Figura 37).

Figura 37 - Preparação das amostras de solos para análise no cromatógrafo de íons. (a) Filtragem da amostra de solos em peneira, (b-c) alíquotas de 5 ml de amostra e diluição em 50 ml de água ultrapura, (d) amostra filtrada em filtro de celulose de 0,45 µm.



Fonte: Autora (2021).

Tanto para as amostras de P, SF como de solos, alíquotas de 100 ml foram filtradas em filtro de celulose de 0,45 µm. A determinação por cromatografia foi realizada por meio da injeção de uma fase móvel, passando por uma coluna de troca iônica (fase estacionária) e a detecção feita por condutividade elétrica. As colunas analíticas empregadas foram IonPac AS11HC (4 mm) e CS12A (4 mm) para os ânions e cátions, respectivamente. Para o método de detecção de ânions foi empregada uma solução de eluente de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3) com concentrações de 0,3 M e 2,7 M, respectivamente. Para a detecção de cátions foi utilizada uma solução de eluente de ácido metanossulfônico ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) a uma concentração de 2,6 M. As análises foram gerenciadas automaticamente por computador com o auxílio do software Peaknet 6.0, e os resultados foram obtidos através de uma curva de calibração com padrões específicos do equipamento. O controle de qualidade dos resultados foi feito com o uso da amostra certificada TROIS-94. As concentrações foram obtidas por comparação com as normas específicas do equipamento. Concentrações de íons que apresentaram valores acima de 10 ppm foram diluídas com água ultrapura do tipo I, para evitar danos a coluna de troca iônica e para que os valores que fossem estimados passassem a ser mais próximos dos valores reais.

2.6 Análise dos dados

Estatísticas descritivas foram compiladas para os dados analisados. As análises estatísticas foram realizadas usando o software R 2.10.1 (R Development Core Team, Viena, Áustria). Todos os conjuntos de dados foram testados para normal distribuição com o teste de Shapiro-Wilk e para homogeneidade de variâncias com o teste de Levene.

Com o intuito de verificar a diferença estatística entre as espécies quanto ao ângulo de contato inicial e taxa de decaimento utilizou-se ANOVA seguido pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ANOVA e teste de Tukey (normalidade dos dados) ou Kruskal-Wallis e post hoc Dunn (dados não normais) foram utilizados a fim de avaliar a concentração elementar média (%) presente nos teores de cinzas das cascas entre as espécies a 5% de probabilidade. Para análise estatística entre concentração química da precipitação e escoamento pelo tronco das espécies estudadas aplicou-se o teste Mann-Whitney a 5% de probabilidade. Quanto a avaliação da variabilidade química dos solos entre os diferentes lados da base do tronco, aplicou-se o teste t-Student quando os dados eram normalmente distribuídos ou teste Mann-Whitney para dados não normais, a 5% de probabilidade.

Por fim, análises de coeficiente de correlação de Pearson foram realizadas para relacionar as propriedades de molhabilidade da casca e a concentração elementar presente nos teores de cinza das cascas externas por grupos de molhabilidade. Aplicou-se correlação de Pearson (dados normais) / Spearman (dados não normais) entre a concentração de íons do escoamento pelo tronco (SF) e solos (SF_{livre}), além de verificar também as possíveis associações entre a concentração de íons dos solos com SF_{livre} e solos SF_{int}.

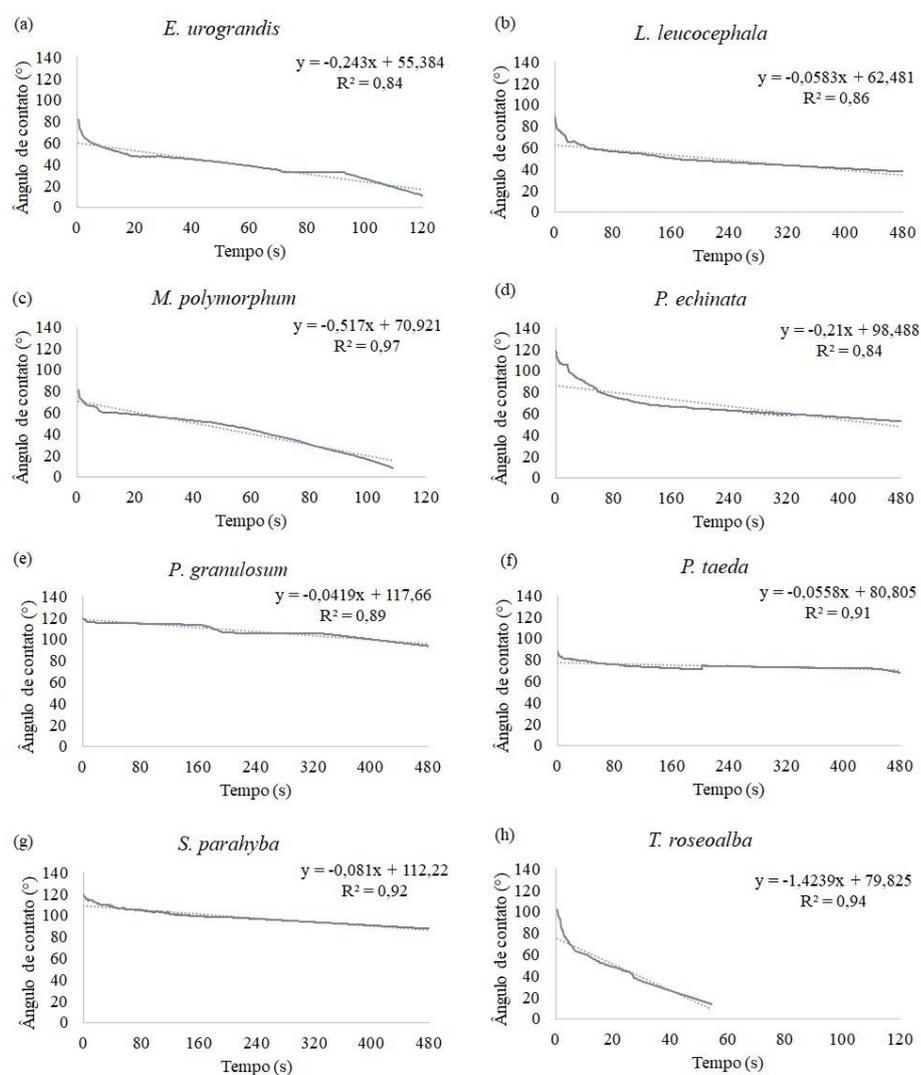
3 RESULTADOS

3.1 Ângulo de contato (CA) e molhabilidade da casca

Diferenças no CA e molhabilidade da casca foram mais expressivas em algumas espécies, ao passo que para outras, não houve diminuição do CA em função do tempo (Figura 38, Tabela 18). Espécies que possuem tanto casca esfoliativa (*P. echinata*, *P. granulosum*) quanto espécies de casca lisa (*S. parahyba*) tiveram os maiores valores de CA_{in}. Da mesma maneira, baixos valores de CA_{in} foram observados para as espécies com classes texturais diferentes. Por outro lado, o comportamento da taxa de decaimento do CA (CA_{rate}) permitiu a identificação de dois grupos: (1) espécies molháveis: aquelas em que a gota foi absorvida completamente antes de se completar 480s, representado pelas espécies *E. urograndis*, *M.*

polymorphum e *T. roseoalba*; e (2) espécies não molháveis: aquelas em que a gota não foi completamente absorvida até 480s, onde se tem as espécies *L. leucocephala*, *P. echinata*, *P. taeda*, *S. parahyba*, *P. granulosum*. Baixos valores CA_{in} não estiveram relacionados com maior molhabilidade, como foi observado para *L. leucocephala*; *P. taeda*. Da mesma maneira, espécies com alto CA_{in} , a gota de água foi completamente absorvida pela casca (*M. polymorphum* e *T. roseoalba*). Por sua vez, ao comparar as propriedades de molhabilidade da casca com o escoamento pelo tronco (SF, L), nota-se que *P. echinata*, *P. taeda* e *P. granulosum*, foram as espécies com maiores volumes escoados, em contraposição à *M. polymorphum* e *S. parahyba* (menores SF).

Figura 38 - Comportamento do ângulo de contato (CA) em função do tempo nas cascas externas das espécies em estudo.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 14 - Média (erro padrão) do ângulo de contato inicial (CA_{in}), taxa de decaimento (CA_{rate}), escoamento pelo tronco (SF) e classificação de molhabilidade *.

Espécies	CA _{in} (°)	CA _{rate} (° s ⁻¹)	SF (L)	Classificação
<i>E. urograndis</i>	88,9 (3,7) ^a	0,13 (0,007) ^a	9,34	Molhável
<i>L. leucocephala</i>	89,6 (5,3) ^a	0,10 (0,003) ^a	9,36	Não molhável
<i>M. polymorphum</i>	77,2 (4,0) ^a	0,67 (0,011) ^{a b}	3,47	Molhável
<i>P. echinata</i>	118,4 (10,7) ^b	0,11 (0,018) ^a	20,63	Não molhável
<i>P. granulorum</i>	119,2 (0,9) ^b	0,02 (0,007) ^a	22,61	Não molhável
<i>P. taeda</i>	96,5 (4,2) ^a	0,04 (0,003) ^a	19,32	Não molhável
<i>S. parahyba</i>	119,3 (2,5) ^b	0,04 (0,001) ^a	3,79	Não molhável
<i>T. roseoalba</i>	97,7 (4,3) ^{a b}	1,60 (0,540) ^b	16,90	Molhável

Fonte: Autora (2021). * Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2 Caracterização química da casca externa

A análise química da casca externa apontou diferenças significativas entre as espécies estudadas (Tabela 19). O Ca¹⁺ foi o íon que apresentou a maior concentração em todas as amostras de casca externa, seguido de K⁺ > Mg²⁺ > S > PO₄³⁻ > Na²⁺ > Cl⁻. Em especial, *P. echinata* registrou a concentração de Ca¹⁺, aproximadamente 3,5 vezes maior que *M. polymorphum*, e esta última, por sua vez, registrou ausência de Na²⁺. O Cl⁻ também esteve ausente na casca externa de *P. taeda* e *T. roseoalba*, contudo, *L. leucocephala* e *E. urograndis* apresentaram concentrações de Cl⁻ significativamente maiores que as demais espécies. Na casca externa de *S. parahyba* a concentração de S foi aproximadamente 32 vezes maior que *T. roseoalba*, a de P foi 5 vezes maior que *P. granulorum* e, K⁺ foi 5 vezes maior que *P. taeda*. Por outro lado, *E. urograndis* apresentou as maiores concentrações de Na²⁺ e Mg²⁺, aproximadamente 33 vezes maiores que *P. echinata* e 8 vezes maior que *P. echinata*, respectivamente. De forma geral, diante dos íons estudados, as maiores concentrações ocorreram na casca externa de *L. leucocephala* e *P. echinata* e menores em *M. polymorphum*.

Tabela 15 - Concentração elementar média (%) presente nos teores de cinza das cascas externas das espécies em estudo referente aos meses de outubro de 2019 e abril de 2020 *.

Espécie	%							Total
	Cl ⁻	S	P	Na ²⁺	K ⁺	Ca ¹⁺	Mg ²⁺	
<i>E. urograndis</i>	0,73 ^a (0,2)	1,05 ^{a b c} (0,6)	0,30 ^{a b} (0,0)	2,68 ^a (0,5)	4,88 ^{a b c} (0,5)	21,45 ^{a b} (1,6)	5,14 ^a (0,4)	36,23 (1,1)
<i>L. leucocephala</i>	1,10 (0,3) ^a	0,30 ^{b c} (0,0)	0,60 ^{a b} (0,0)	0,17 ^b (0,0)	10,36 ^{a b} (0,2)	30,29 ^{a c} (2,4)	1,48 ^{b c d} (0,1)	44,29 (1,6)
<i>M. polymorphum</i>	0,02 ^b (0,0)	1,76 ^b (0,3)	0,60 ^{a b} (0,1)	0,00 ^b (0,0)	6,42 ^{a b c} (0,9)	10,53 ^d (3,3)	0,83 ^{c d} (0,2)	20,16 (0,8)
<i>P. echinata</i>	0,02 ^b (0,0)	1,45 ^{a b} (0,1)	0,40 ^{a b} (0,0)	0,08 ^b (0,0)	3,81 ^{b c} (1,1)	37,65 ^c (2,4)	0,63 ^d (0,1)	44,04 (2,0)

<i>P. granulorum</i>	0,01 ^b (0,0)	0,60 ^{abc} (0,1)	0,20 ^b (0,0)	0,19 ^b (0,0)	2,50 ^c (0,3)	26,80 ^{ab} (2,4)	2,15 ^b (0,1)	32,45 (1,4)
<i>P. taeda</i>	0,00 ^b (0,0)	0,66 ^{abc} (0,1)	0,40 ^{ab} (0,0)	0,72 ^b (0,3)	1,99 ^c (0,1)	23,57 ^{ab} (0,7)	2,32 ^b (0,3)	29,66 (1,2)
<i>S. parahyba</i>	0,18 ^b (0,0)	3,49 ^d (0,2)	1,00 ^c (0,0)	0,15 (0,0)	11,82 ^a (2,6)	17,58 ^{bd} (1,3)	1,22 ^{cd} (0,1)	35,26 (1,1)
<i>T. roseoalba</i>	0,00 ^b (0,0)	0,11 ^c (0,0)	2,00 ^d (0,2)	0,20 ^b (0,1)	5,75 ^{ab} (1,3)	23,73 ^{ab} (0,9)	1,64 ^{bc} (0,2)	33,43 (1,3)
<i>Média</i>	0,26	1,18	0,69	0,52	5,94	23,95	1,93	34,39

Fonte: Autora (2021). * ¹ Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (normalidade dos dados) ou teste post hoc Dunn (dados não normais) a 5% de probabilidade.

3.3 Caracterização química da precipitação e escoamento pelo tronco

Em média, as concentrações dos íons na precipitação, seguiram a ordem: $\text{Ca}^{1+} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$; e no SF: $\text{K}^+ > \text{Ca}^{1+} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{Na}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Nota-se que grande parte das concentrações de íons no escoamento pelo tronco foram superiores às concentrações da precipitação (Tabela 20), sendo exceções: PO_4^{3-} e Na^{2+} no SF de *M. polymorphum*, assim como esse último elemento também foi inferior em outras 4 espécies (*L. leucocephala*, *P. taeda*, *S. parahyba*, *T. roseoalba*). Somente em *E. urograndis*, *P. echinata* e *P. granulorum* foi observado o incremento da concentração de Na^{2+} quando comparada à precipitação. Em *E. urograndis*, a concentração de Na^{2+} foi aproximadamente 50 vezes maior que o observado na precipitação. As concentrações mais representativas dos íons de Cl^- , Na^{2+} , Ca^{1+} e Mg^{2+} ocorreram em *E. urograndis*; SO_4^{2-} em *S. parahyba*, PO_4^{3-} em *P. taeda* e K^+ em *L. leucocephala*. O íon de maior destaque foi o K^+ , em que a concentração em *L. leucocephala* foi, aproximadamente, 30 vezes superior ao observado na precipitação e 7 vezes maior que em *P. echinata*. De forma geral, considerando o conjunto de íons analisados nesse estudo, as maiores concentrações médias foram observadas no escoamento pelo tronco de *E. urograndis* e *S. parahyba*, ao passo que *T. roseoalba* e *P. echinata* apresentaram os menores registros.

Tabela 16 - Média da concentração de íons (mg L⁻¹) do escoamento pelo tronco (SF) das espécies estudadas e da precipitação (P). *

Espécies	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Na ²⁺	K ⁺	Ca ¹⁺	Mg ²⁺	Média
<i>E. urograndis</i>	19,73 ^a (14,5)	2,37 ^b (1,9)	1,28 ^b (1,3)	13,62 ^a (10,1)	16,40 ^a (0,2)	16,80 ^b (12,0)	5,65 ^a (4,1)	10,84 (1,1)
<i>L. leucocephala</i>	8,40 ^b (4,4)	3,15 ^b (2,6)	0,87 ^b (0,5)	0,14 ^b (0,1)	41,63 ^a (25,0)	9,89 ^b (7,8)	0,85 ^b (0,3)	9,28 (2,1)
<i>M. polymorphum</i>	11,09 ^b (6,8)	3,51 ^b (3,1)	0,00 ^b (0,0)	0,10 ^b (0,1)	12,30 ^b (8,7)	10,92 ^b (9,9)	0,35 ^b (0,2)	5,47 (0,8)
<i>P. echinata</i>	5,21 ^b (2,5)	3,63 ^b (3,0)	0,83 ^b (0,8)	0,33 ^b (0,3)	4,84 ^a (1,8)	8,09 ^b (5,2)	0,31 ^b (0,2)	3,32 (0,4)
<i>P. granulorum</i>	5,08 ^b (2,8)	3,00 ^b (2,6)	1,80 ^b (1,8)	0,55 ^b (0,4)	8,60 ^a (3,0)	8,24 ^b (5,7)	2,46 ^a (1,5)	4,25 (0,5)

<i>P. taeda</i>	16,19 ^b (13,3)	15,59 ^b (15,2)	1,18 ^b (1,2)	2,49 ^b (2,0)	5,01 ^b (3,3)	30,59 ^b (25,1)	0,68 ^b (0,3)	10,25 (1,6)
<i>S. parahyba</i>	2,76 ^b (10,0)	17,15 ^b (9,3)	12,81 ^b (12,8)	0,20 ^b (0,1)	28,29 ^b (15,1)	9,81 ^b (5,8)	0,76 ^b (0,4)	10,25 (1,5)
<i>T. roseoalba</i>	3,51 ^b (2,0)	1,76 ^b (1,5)	0,83 ^b (0,5)	0,01 ^b (0,0)	6,66 ^a (2,5)	6,36 ^b (4,0)	0,41 ^b (0,3)	2,79 (0,4)
Média (Erro Padrão)	9,00 (2,2)	6,27 (2,2)	2,45 (1,5)	1,87 (1,7)	15,47 (4,6)	12,58 (2,8)	1,43 (0,6)	7,05 (0,8)
Precipitação (P)	0,71 ^b (0,2)	0,37 ^b (0,2)	0,40 ^b (0,3)	0,27 ^b (0,1)	0,79 ^b (0,2)	3,29 ^b (1,4)	0,25 ^b (0,1)	0,87 (0,2)

Fonte: Autora (2021). * Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Mann-Whitney a 5% de probabilidade.

3.4 Química do solo na base das árvores

De forma geral, concentração média de íons foi maior no solo que recebeu o SF_{livre}, principalmente para Ca¹⁺, K⁺ e Cl⁻ (Tabela 21). Observou-se exceções nos solos da base de *P. echinata* e *P. granulosum* em que, somente as concentrações de PO₄³⁻ e K⁺ no solo do SF_{livre} foram maiores que no SF_{int} para *P. echinata*, e PO₄³⁻ e K⁺ para *P. granulosum*. Apesar disso, não houveram diferenças significativas entre as médias das concentrações gerais dos solos com SF_{livre} e SF_{int} para nenhuma espécie. Na análise individual dos íons/espécie, SO₄²⁻ nos solos de *P. taeda* e Cl⁻ em *S. parahyba* e *T. roseoalba* se diferiram estatisticamente.

Tabela 17 - Concentração de íons (mg L⁻¹) no solo presente na base das árvores analisadas: escoamento pelo tronco livre (SF_{livre}) e interceptado (SF_{int}).*

Espécies	Solo	mg L ⁻¹							
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Na ²⁺	K ⁺	Ca ¹⁺	Mg ²⁺	Média
<i>E. urograndis</i>	SF _{livre}	13,0 ^a (2,6)	4,3 ^a (0,7)	2,8 ^a (2,8)	1,5 ^a (0,5)	18,1 ^a (5,1)	16,3 ^a (5,9)	2,8 ^a (0,6)	8,4 ^a (2,7)
	SF _{int}	9,6 ^a (0,5)	4,0 ^a (0,1)	0,3 ^a (0,3)	1,7 ^a (1,2)	14,3 ^a (3,7)	14,2 ^a (5,0)	2,0 ^a (0,7)	6,6 ^a (2,3)
<i>L. leucocephala</i>	SF _{livre}	50,5 ^a (43,7)	5,0 ^a (1,1)	0,3 ^a (0,3)	0,2 ^a (0,2)	22,3 ^a (5,2)	18,0 ^a (7,8)	5,4 ^a (1,2)	14,5 ^a (6,8)
	SF _{int}	7,2 ^a (1,9)	4,4 ^a (1,0)	0,4 ^a (0,4)	0,1 ^a (0,1)	15,1 ^a (2,4)	13,1 ^a (5,1)	6,3 ^a (1,9)	6,7 ^a (2,2)
<i>M. polymorphum</i>	SF _{livre}	11,9 ^a (1,7)	4,9 ^a (2,0)	0,6 ^a (0,6)	0,7 [#] (0,7)	9,2 ^a (3,7)	14,0 ^a (6,0)	1,9 ^a (0,9)	6,2 ^a (5,0)
	SF _{int}	11,2 ^a (1,8)	3,3 ^a (1,3)	0,4 ^a (0,4)	0,0 [#] (0,0)	6,5 ^a (2,4)	4,5 ^a (2,5)	1,3 ^a (0,8)	3,9 ^a (4,8)
<i>P. echinata</i>	SF _{livre}	15,8 ^a (4,4)	5,0 ^a (2,1)	0,3 [#] (0,3)	0,0 [#] (0,0)	36,7 ^a (8,1)	16,8 ^a (4,9)	4,3 ^a (1,4)	11,3 ^a (3,4)
	SF _{int}	19,9 ^a (2,5)	5,8 ^a (1,9)	0,0 [#] (0,0)	0,3 [#] (0,3)	33,0 ^a (6,7)	22,9 ^a (9,7)	5,4 ^a (2,3)	14,6 ^a (3,3)
<i>P. granulosum</i>	SF _{livre}	6,3 ^a (0,8)	3,5 ^a (0,6)	0,7 ^a (0,4)	0,0 [#] (0,0)	13,4 ^a (4,9)	19,0 ^a (4,2)	3,9 ^a (0,9)	6,7 ^a (2,7)
	SF _{int}	5,7 ^a (1,2)	2,2 ^a (0,8)	3,7 ^a (3,3)	0,0 [#] (0,0)	15,3 ^a (3,7)	17,6 ^a (6,3)	3,7 ^a (1,2)	6,9 ^a (2,6)
<i>P. taeda</i>	SF _{livre}	18,0 ^a	4,5 ^a	4,3 ^a	0,0 [#]	7,9 ^a	25,0 ^a	5,5 ^a	9,5 ^a

		(8,9)	(0,9)	(4,3)	(0,0)	(2,0)	(10,2)	(1,6)	(2,9)
	SF _{int}	10,4 ^a	1,6 ^b	3,6 ^a	0,0 [#]	8,0 ^a	25,7 ^a	5,6 ^a	8,0 ^a
		(3,0)	(0,6)	(3,1)	(0,0)	(1,9)	(10,2)	(2,0)	(2,2)
<i>S. parahyba</i>	SF _{livre}	6,5 ^a	3,9 ^a	0,3 [#]	0,5 [#]	12,7 ^a	21,9 ^a	3,9 ^a	7,4 ^a
		(0,3)	(0,7)	(0,3)	(0,0)	(3,4)	(11,0)	(2,0)	(1,1)
	SF _{int}	3,4 ^b	2,0 ^a	0,0 [#]	0,0 [#]	10,0 ^a	16,1 ^a	4,1 ^a	5,1 ^a
		(1,2)	(0,4)	(0,0)	(0,0)	(2,0)	(7,4)	(2,3)	(0,8)
<i>T. roseoalba</i>	SF _{livre}	12,7 ^a	8,8 ^a	0,4 [#]	0,5 ^a	15,5 ^a	14,3 ^a	2,7 ^a	8,4 ^a
		(2,7)	(4,4)	(0,4)	(0,5)	(2,5)	(6,6)	(1,5)	(2,5)
	SF _{int}	5,0 ^b	3,0 ^a	0,0 [#]	1,1 ^a	9,5 ^a	9,2 ^a	1,4 ^a	5,0 ^a
		(0,6)	(0,4)	(0,0)	(1,1)	(1,1)	(3,8)	(0,6)	(1,5)
Média SF _{livre}		16,8 ^a	5,0 ^a	1,2 ^a	0,4 ^a	17,0 ^a	18,2 ^a	3,8 ^a	8,9 ^a
		(5,5)	(0,7)	(0,6)	(0,1)	(2,1)	(2,4)	(0,5)	(0,7)
Média SF _{int}		9,1 ^a	3,3 ^a	1,0 ^a	0,4 ^a	14,0 ^a	15,4 ^a	3,7 ^a	6,7 ^a
		(0,2)	(0,1)	(0,1)	(0,0)	(0,3)	(0,3)	(0,4)	(0,0)

Fonte: Autora. *Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste t-Student (normalidade dos dados) ou teste Mann-Whitney (dados não normais) a 5% de probabilidade. (#): não foi possível verificar a diferença estatísticas devido não haver concentração do íon no solo (SF_{livre} e ou SF_{int}).

3.5 Integração casca-escoamento pelo tronco-solo

Foram observadas correlações fortes e inversas entre o CA_{in} das espécies de cascas molháveis e as concentrações elementares de Cl⁻, Na²⁺ e Mg²⁺ na casca, ao mesmo tempo que CA_{rate} esteve fortemente associado aos teores de P e K⁺ (relação direta) e S (relação inversa) (Tabela 22). Esse comportamento indica que para as espécies categorizadas com cascas molháveis, a hidrofobicidade se relaciona inversamente com as concentrações de Cl⁻, S, Na²⁺ e Mg²⁺, e de forma direta com as concentrações de P e K⁺. Em contrapartida, as cascas das espécies não molháveis (hidrofóbicas) apresentaram uma correlação moderada positiva para as concentrações de S (CA_{in}); e forte para Ca¹⁺ (CA_{rate}), porém, e inversa moderada para Na²⁺ (CA_{in}) e inversa forte para Mg²⁺ (CA_{rate}).

Tabela 18 - Correlação de Pearson entre as propriedades de molhabilidade da casca e a concentração elementar presente nos teores de cinza das cascas externas por grupos de molhabilidade.

	Medidas	Cl ⁻	S	P	Na ²⁺	K ⁺	Ca ¹⁺	Mg ²⁺
Espécies molháveis ¹³	CA _{in}	-0,93	0,27	0,35	-0,96	0,43	-0,66	-0,98
	CA _{rate}	-0,60	-0,86	1,00	-0,53	0,98	0,55	-0,43
Espécies não molháveis ¹⁴	CA _{in}	-0,52	0,60	0,10	-0,65	-0,02	0,00	-0,41
	CA _{rate}	0,45	-0,12	0,07	-0,52	0,28	0,81	-0,80

Fonte: Autora (2021). ^{10 11}

¹⁰ *E. urograndis*, *M. polymorphum* e *T. roseoalba*.

¹¹ *L. leucocephala*, *P. echinata*, *P. taeda*, *S. parahyba*, *P. granulosum*.

Os resultados das correlações positivas entre as análises químicas da casca externa e a concentração de íons presente no escoamento pelo tronco, entre as espécies, leva-nos a inferir que a composição química da casca interfere na concentração química da água escoada pelo tronco. Observa-se que as espécies apresentaram diferentes comportamentos quanto essa relação (Tabela 23). *E. urograndis*, *L. leucocephala*, *P. echinata*, *P. granulosum* e *T. roseoalba* tiveram as maiores correlações positivas correspondente ao íon SO_4^{2-} , e apesar da espécie *S. parahyba* ter alta concentração do SO_4^{2-} tanto no SF quanto na casca, moderada foi a correlação encontrada entre as duas variáveis, sendo que o Na^{2+} foi o íon que apresentou maior correlação para esta espécie. Em função do Na^{2+} , a espécie *P. taeda* teve uma correlação perfeita positiva. Quanto ao íon K^+ , as espécies *T. roseoalba*, *E. urograndis*, *P. granulosum* e *L. leucocephala* tiveram relação inversa; em contrapartida, as espécies *S. parahyba*, *P. taeda*, *M. polymorphum* e *P. echinata* apresentaram relação direta, sendo que as duas últimas espécies mostraram correlação forte a muito forte. Cabe salientar a importância de se considerar os fluxos por espécie, uma vez que ao realizar as análises pela média geral de todas as espécies estudadas e os íons, não foram observadas nenhuma correlação forte entre esses elementos, com exceção do fluxo de moderado e positivo de Na^{2+} .

Tabela 19 - Correlação de Pearson / Spearman entre a concentração elementar da casca e concentração de íons no escoamento pelo tronco das espécies.

Espécies	Cl^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Na^{2+}	K^+	Ca^{1+}	Mg^{2+}
<i>E. urograndis</i>	0,20	0,80	-0,77	0,20	-0,26	-0,48	0,20
<i>L. leucocephala</i>	0,20	0,80	-0,24	0,26	-0,60	-0,40	-0,63
<i>M. polymorphum</i>	0,77	0,40	-	-	0,92	0,64	0,75
<i>P. echinata</i>	0,77	0,80	-0,74	0,32	0,80	-0,60	-0,99
<i>P. granulosum</i>	-0,55	0,63	-0,82	-0,20	-0,11	0,00	-0,60
<i>P. taeda</i>	-	-0,40	-0,77	1,00	0,40	0,40	-0,88
<i>S. parahyba</i>	-0,18	0,40	0,26	0,67	0,33	0,60	0,03
<i>T. roseoalba</i>	-	0,80	-0,99	-0,77	-0,40	0,19	-0,92
Geral (todas as espécies)	0,22	0,34	0,03	0,51	0,25	0,03	0,28

Fonte: Autora (2021). (-): Não apresentaram concentrações na casca e/ou no escoamento pelo tronco.

As correlações entre as concentrações de íons do escoamento pelo tronco e as observadas no solo divergiram amplamente entre as espécies (Tabela 24). Para *E. urograndis*, Cl^- mostrou uma relação forte e positiva entre SF e SF_{livre} , e relação forte negativa para a concentração de K^+ . O fluxo de Cl^- e Mg^{2+} entre SF e SF_{livre} estiveram correlação forte e positiva para *T. roseoalba*. Para SO_4^{2-} , embora a maior concentração tenha sido observada no SF de *S. parahyba*, somente *P. echinata* e *P. granulosum* apontaram correlação forte e positiva no fluxo de SF para o solo. Diante desse mesmo pensamento, somente *P. echinata* mostrou uma correlação positiva entre SF e solo quanto PO_4^{3-} . K^+ foi o íon com moderada a forte correlação

inversa entre as concentrações de SF e solos de *E. urograndis*, *M. polymorphum*, *S. parahyba* e *P. granulosum*, apenas a espécie *T. roseoalba* apresentou relação direta. *L. leucocephala*, *S. parahyba* e *T. roseoalba* apontaram correlação forte positiva com Mg^{2+} . Por sua vez, Na^{2+} e Ca^{1+} apontaram correlação fracas entre as concentrações de SF e solos. Ao considerar a média geral de todas as espécies estudadas, nota-se que apenas para o Ca^{1+} apresentou uma correlação moderada e positiva, enquanto que os outros elementos não foram observadas correlação forte entre a concentração dos íons do SF e SF_{livre} .

Tabela 20 - Correlação entre a concentração de íons do escoamento pelo tronco das espécies estudadas e solos onde a água não foi interceptada (SF_{livre}) na base do tronco das árvores.

Espécies	Cl^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Na^{2+}	K^+	Ca^{1+}	Mg^{2+}
<i>E. urograndis</i>	0,82	-0,42	-0,33	-0,25	-0,88	0,12	-0,44
<i>L. leucocephala</i>	-0,43	-0,41	0,08	-0,33	-0,47	-0,21	0,99
<i>M. polymorphum</i>	-0,16	-0,34	-	-0,35	-0,70	-0,29	0,48
<i>P. echinata</i>	0,57	0,92	1,00	-	-0,16	0,06	0,10
<i>P. granulosum</i>	0,13	0,98	-0,33	-0,46	-0,90	-0,06	0,08
<i>P. taeda</i>	-0,43	-0,34	-0,33	-	-0,66	-0,20	0,67
<i>S. parahyba</i>	-0,13	-0,19	-0,33	-0,10	-0,73	-0,36	0,82
<i>T. roseoalba</i>	0,98	-0,40	-0,49	-0,33	0,64	0,11	0,94
<i>Média (todas as espécies)</i>	0,11	-0,29	0,02	-0,24	0,05	0,67	0,12

Fonte: Autora (2021).¹²

4. DISCUSSÃO

4.1 A casca como componente do escoamento pelo tronco

Os resultados desse estudo sugerem uma conexão, até então pouco documentada, entre as características físicas e químicas da casca externa com o escoamento pelo tronco e desses com as propriedades químicas dos solos na base das árvores. Apesar de se ter o conhecimento na literatura de que $CA_{in} < 90^\circ$ implica em uma alta molhabilidade, (enquanto valores acima de 90° corresponderem a sistemas de baixa molhabilidade) (SINDERSKI, 2020; PRAKASH; RAJ; PRASANTH, 2017), os resultados desse estudo mostraram-se contraditórios entre as espécies estudadas. Nesse caso, baixos valores iniciais de CA_{in} na casca externa não corresponderam à maior molhabilidade. Esses resultados reforçam a teoria encontrada por Tonello et al. (2021a), e apontam que os grupos de molhabilidade da casca não foram formados por espécies com uma única textura de casca. Tal fato nos permite inferir que, além do ângulo de contato inicial da água sobre a superfície da casca outras propriedades da casca devem ser investigadas, tal como a molhabilidade, ou seja, a evolução temporal da absorção da gota (PAPIEROWSKA *et al.*,

¹² (-): Não apresentaram concentrações no escoamento pelo tronco e/ou nos solos onde a água não foi interceptada.

2018; TONELLO *et al.*, 2021a). Essa é uma característica particularmente interessante do ponto de vista ec hidrológico, uma vez que possui implicação direta com a absorção da água que escoar pelo tronco. Nesse processo, a água do escoamento pelo tronco pode diluir ou “lavar” os íons presentes tanto na superfície como no interior da casca, sendo a origem desses tanto de deposição atmosférica como aqueles resultantes de processos fisiológicos das espécies (CATINON *et al.*, 2009).

Diante da correlação entre o ângulo de contato/molhabilidade e concentração dos íons, para as cascas com características molháveis, o comportamento dos íons em função do CA_{rate} mostrou-se mais propensas ao K^+ , sabendo que este é um íon de alta lixiviação das partes vegetativas das plantas. Ainda em espécies que possuem cascas molháveis, a correlação perfeita positiva do PO_4^{3-} relacionado ao CA_{rate} , dá-nos a entender que este íon é normalmente lavado da casca, sendo provavelmente derivado de deposição seca na superfície da árvore. Além disso, a casca das árvores também fornece amplo habitat para uma grande variedade de metazoários, incluindo vegetação epífita como líquenes, briófitas e plantas vasculares. habitat para metazoários como rotíferos, nematoides, tardígrados, ácaros e colêmbolos (Guidone, Gordon, and Van Stan 2021; Miller, Gallardo, and Clark 2013; A. Ponette-González, Van Stan II e Magyar 2020; Christoph Ptatscheck and Traunspurger 2014; Shaw 2015), que por sua vez, podem afetar a concentração de elementos que são lixiviados pela chuva. A alta concentração de PO_4^{3-} , por exemplo, pode ser advinda da lavagem dos materiais fecais e exsudatos contidos nas estruturas das árvores (TÓBON *et al.*, 2004).

De qualquer forma, a interação da casca com o escoamento pelo tronco apontou um incremento da concentração de íons quando comparado à chuva, sendo que este enriquecimento não foi atribuído exclusivamente a textura da casca. Assim, esses resultados corroboram com a hipótese de que a constituição química do escoamento pelo tronco é espécie-dependente e não dependente da textura de casca, somente. Não se pode esquecer que o escoamento pelo tronco não surge a partir do tronco da árvore. Primeiramente, ocorre a saturação do dossel, a partir de então, que essa água é escoada pelo tronco. Por esse motivo, não apenas a casca deve ser levada em consideração na análise do fluxo de nutrientes, mas também as condições da copa, tais como, a morfologia da folha, ângulo de inserção da folha e galho, e vários outros fatores bióticos que influenciam no depósito e lixiviação de íons.

A espécie *L. leucocephala*, a qual possui casca lisa, foi a que teve maior destaque quanto a lixiviação média dos íons. Este resultado contradiz os estudos anteriores o qual concordam que o escoamento pelo tronco de árvores com casca áspera são mais enriquecidos em comparação

com espécies de casca lisa (PARKER, 1983; PONETTE-GONZÁLEZ, 2021; LEVIA JR.; HERWITZ, 2000; XU *et al.*, 2019), tais como as espécies de *Quercus rubra* (LEVIA; HERWITZ, 2005); *Quercus virginiana* (VAN STAN *et al.*, 2017); *Fraxinus pennsylvanica* (SCHOOLING *et al.*, 2017). Isso demonstra que, tanto o rendimento como a química do escoamento pelo tronco podem variar significativamente dependendo das espécies de árvores, devido à variação na morfologia da planta (CARLYLE-MOSES; SCHOOLING, 2015; YUAN; GAO; FU, 2017). Além disso, existem diferenças notáveis que podem estar intimamente relacionados à lixiviação, difusão passiva e troca dos íons, tais como, a capacidade de absorção e composição do material dos diferentes órgãos da planta e organismos epifíticos (VAN STAN; PYPKER, 2015), a absorbilidade e molhabilidade da casca (TONELLO *et al.*, 2021a) e deposição atmosférica no dossel da árvore, que não necessariamente esteja relacionada apenas com a textura da casca.

S. parahyba teve um comportamento diferenciado das demais espécies em função do íon SO_4^{2-} , com elevada concentração tanto no escoamento pelo tronco como na casca externa, o que sugere que, nessa espécie, este íon seja principalmente derivado da própria composição da casca. Comportamento semelhante foi observado em *Chamaecyparis obtusa* Endl., em que as concentrações de SO_4^{2-} no escoamento pelo tronco foram atribuídas não apenas à lavagem da deposição seca da casca, mas também à lixiviação, à longo prazo, deste íon constituinte da casca (KOICHIRO *et al.*, 2001). Ao avaliar as outras espécies, fica claro a importância das árvores urbanas na captação dos elementos que compõem o ar atmosférico, sabendo que a região do estudo é próximo à rodovia, as concentrações de SO_4^{2-} na água escoada podem estar relacionadas ao alto uso de combustível fóssil devido a circulação de caminhões e carros, além de que ser provável que parte deste íon seja proveniente das frequentes queimadas na região que contribuem para a deposição deste elemento sobre as estruturas das árvores.

Íons de Cl^- foram encontrados em maior quantidade no escoamento pelo tronco de *E. urograndis*, *P. taeda* e *M. polymorphum*, espécie que possuem casca cortiçosa (tecido morto). O mesmo foi observado por Su *et al.* (2019) que maiores concentrações de Cl^- foram encontrados em espécies decíduas que possuem maior quantidade de tecido morto podendo libertar grandes quantidades de Cl^- , o qual será dissolvido no SF. As elevadas concentrações de cloro encontradas na casca de *E. urograndis* (textura esfoliativa) reforça essa teoria, entretanto, resultado contrário também foi encontrado, tendo maior destaque de Cl^- a espécie que possui casca lisa (*L. leucocephala*).

Por sua vez, *E. urograndis* teve maiores concentrações de Mg^{2+} tanto na casca como no escoamento pelo tronco. Tem-se conhecimento que este íon tem característica de baixa mobilidade devido a ligação existente entre as moléculas orgânicas, tal como a clorofila (MOSLEHI et al., 2019). A adição deste íon na água de escoamento pelo tronco pode ser originada da deposição de solo seco sobre as copas e troncos das árvores das florestas, ocasionando um enriquecimento da água com esse elemento (DE MELO e SÁ, 2002).

Semelhante observação foi correspondente ao íon Na^{2+} , em que a espécie *E. urograndis* foi a que teve maior concentração na casca e escoamento pelo tronco, reforçando que parte do Na^{2+} na água escoada pode ser advinda da própria composição da casca. Em contraponto com tal objeção, devemos considerar que o *E. urograndis* possui maior H:W (altura e largura da copa) com relação às demais espécies, conseqüentemente maior será a área para deposição de íons. Os autores Parker (1983); Staelens et al., (2008); Sun et al., (2021) reforçam que a presença do Na^{2+} pode ser atribuída ao depósito de sal marinho na estrutura vegetal advindo por deposição atmosférica, sendo apenas um grau muito pequeno de lixiviação do dossel, por causa de uma concentração muito baixa nas folhas das árvores.

A presença do K^+ é o resultado da lixiviação deste íon do próprio dossel (RODRIGO; AVILA; RODÀ, 2003; TONELLO et al., 2021). As espécies *L. leucocephala* e *S. parahyba* tiveram a concentração mais representativa de K^+ na água escoada pelo tronco, além de ser a espécie com alta concentração deste íon na casca. Conforme os autores, a alta suscetibilidade do K^+ , pode ser atribuído a sua fácil mobilidade e abundância nas folhas (TÓBON; SEVINK; VERSTRATEN, 2004; MOMOLLI et al., 2018) e como existe um alto gradiente de concentração entre os tecidos do xilema da folha e a precipitação incidente permite seu efluxo para fora dos tecidos foliares (LIN et al., 2001).

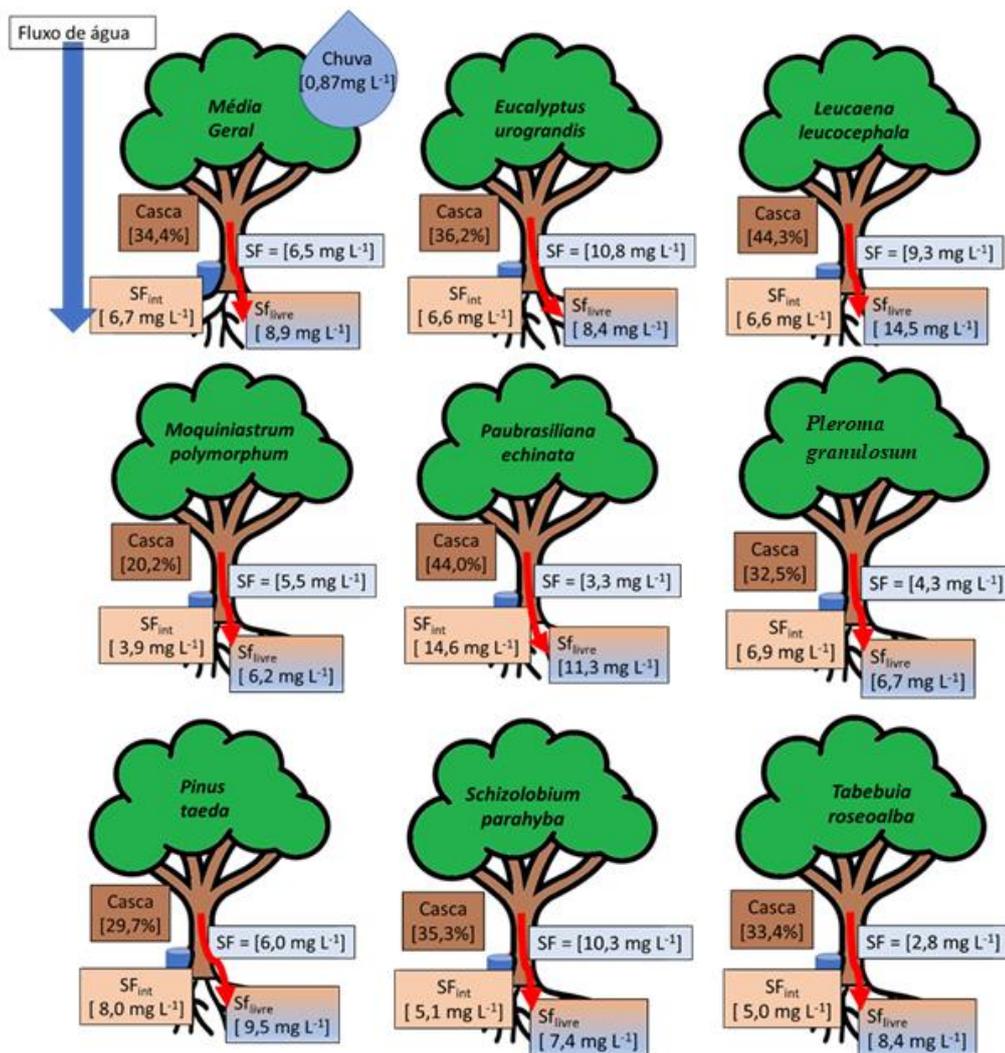
Quanto ao Ca^{1+} foi o íon de maior concentração na casca das espécies, e altas concentrações também foram encontradas no escoamento pelo tronco, com maior destaque para o *E. urograndis*, *P. echinata* e *P. taeda*. Sabendo que o cálcio é de difícil lixiviação, este estudo sugere que a sua presença é impulsionada pela proximidade do local do estudo à mineradoras de calcário presente na região, de tal forma que este íon esteja depositado na própria casca. Estes resultados reafirma a proposta de Moslehi et al. (2019) em que o Ca^{1+} está intimamente associado à parede celular vegetal, de tal maneira a dificultar a lixiviação deste íon. Clemens, Palmgren e Krämer (2002) e Palmgre (2001) relatam que o cálcio é um componente com presença significativa nas células vivas e também envolvido no regulamento do pH intracelular e extracelular, além disso, está envolvido como um cátion neutralizando de ácidos orgânicos.

4.2 Muito além da água: íons também são transferidos para a zona de infiltração do escoamento pelo tronco.

Em função das espécies estudadas se encontrarem em ambientes distintos, isso não nos permitiu desenvolver a comparação da concentração de íons do solo entre as espécies. Entretanto, como para cada uma das espécies o solo foi coletado na base da árvore, foi possível a comparação da constituição química da porção do solo que recebeu o escoamento pelo tronco e aquele que não o recebeu. Algo importante a se colocar é que as árvores estudadas não se encontram em ambientes florestais, onde há naturalmente a ciclagem de nutrientes por meio da deposição e decomposição de matéria orgânica. As árvores aqui estudadas encontram-se em um ambiente antropizado, compondo o meio urbano de um campus universitário, sem técnicas de manejo e/ou adubação.

De fato, foi observado o enriquecimento na água do escoamento pelo tronco após a interação com a estrutura da árvore em todas as espécies, evidenciando sua função como fonte de nutrientes para os solos próximos a base das árvores, ainda que não tenha se observado diferenças estatísticas entre a maior parte dos íons (Figura 39).

Figura 39 - Enriquecimento na água do escoamento pelo tronco após a interação com a estrutura da árvore.



Fonte: Kelly Cristina Tonello (2021) ¹³

Nesse sentido, é de se destacar a importância da relação casca-escoamento pelo tronco-solo no fluxo de nutrientes. A importância ecoidrológica do escoamento pelo tronco é frequentemente baseada em suposições sobre como ele se infiltra em solos próximos aos troncos (VAN STAN II; ALLEN, 2020). Diversas pesquisas buscam compreender como essas pequenas quantidades de escoamento pelo tronco podem ser notavelmente importantes se os dosséis afunilarem a água de modo que ela se infiltre preferencialmente em torno da base do tronco (LEVIA; GERMER, 2015; CARLYLE-MOSES *et al.*, 2018; VAN STAN II; ALLEN, 2020). Embora essa não seja uma questão a ser discutida nesse estudo, diante dos resultados

¹³ Fluxo da concentração de íons (média) das espécies estudadas. Considerou-se a média de Cl⁻, S, P, Na²⁺, K⁺, Ca¹⁺, Mg²⁺ para a casca, e Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Na²⁺, K⁺, Ca¹⁺, Mg²⁺ para a água da chuva, escoamento pelo tronco (SF), solos com escoamento pelo tronco livre (Sf_{livre}) e interceptado (SF_{int}).

aqui apresentados, podemos inferir que juntamente com a água do escoamento pelo tronco, temos também íons que são carregados para a superfície e interior do solo. Desse modo, além de água, temos nutrientes na zona de infiltração do escoamento pelo tronco e essa discussão precisa ser explorada. Nesse estudo, embora as concentrações de íons no solo tenham sido, na maioria das vezes, maiores na área em que o solo recebeu o escoamento pelo tronco, pesquisas apontam que a área de influência do escoamento pelo tronco no solo pode seguir caminhos preferenciais (GONZALEZ-OLLAURI; STOKES; MICKOVSKI, 2020), existindo maneiras divergentes da água infiltrar no solo e, por consequência, carrear consigo os nutrientes. Isso ocorre porque a água do escoamento pelo tronco presumivelmente se infiltra vertical e lateralmente ao redor do perímetro do tronco (VAN STAN II; ALLEN, 2020; FRIESEN, 2020; GÓMEZ *et al.*, 2002) Provavelmente seja esse o motivo de não se ter observado diferenças significativas entre os solos. Apesar disso, Van Stan e Gordon (2020) enfatizam a necessidade de medições sistemáticas de áreas de infiltração para melhorar nosso entendimento em nível de processo de como a infiltração do escoamento pelo tronco afeta a água do solo (disponível para as plantas). Como objeto de estudos futuros, seria plausível uma análise mais detalhada dos solos em profundidade e distância da base do caule, para melhor mensurar a contribuição química do escoamento pelo tronco para os solos e conhecer a heterogeneidade espacial desse processo ao longo do seu perfil.

5 CONCLUSÃO

O enriquecimento na água do escoamento pelo tronco das espécies, evidenciou sua função como fonte de nutrientes para os solos próximos a base das árvores para a maior parte dos íons, ainda que pouco tenha se observado diferenças estatísticas entre os solos em que o escoamento pelo tronco atingiu ou não o solo diretamente. Diante dos resultados deste experimento, sugerimos que, as mudanças nas propriedades químicas do solo sejam devido ao aumento das concentrações dos íons existentes no escoamento pelo tronco, em comparação a precipitação em aberto, tendo a casca como elemento transportador de nutrientes.

As análises de molhabilidade e química da casca externa e a concentração de íons presente no escoamento pelo tronco, entre as espécies, leva-nos a inferir que a composição química da casca interfere na concentração química da água escoada pelo tronco e é independentemente da textura da casca, destacando-se que as espécies apresentaram diferentes comportamentos quanto essa relação. Não necessariamente a composição química da casca externa esteja relacionada a lixiviação dos íons, mas também pode ser influenciada pela deposição atmosférica assim como pela a troca iônica.

Os resultados deste estudo provocam a importância de se estudar a relação entre casca-escoamento pelo tronco-solo no fluxo de nutrientes, sugerindo a existência da conexão até então pouco documentada entre as características físicas e químicas da casca externa com o escoamento pelo tronco, e destes, com as propriedades químicas dos solos na base das árvores.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. **Science of the Total Environment**, v. 393, n. 1, p. 72–83, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.002>
- BERRY, Z. C. *et al.* Beneath the Bark : Assessing Woody Stem Water and Carbon Fluxes and Its Prevalence Across Climates and the Woody Plant Phylogeny. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. July, p. 1–8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.675299>
- CARLYLE-MOSES, D. E.; SCHOOLING, J. T. Tree traits and meteorological factors influencing the initiation and rate of stemflow from isolated deciduous trees. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 18, p. 4083–4099, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.10519>
- CARLYLE-MOSES, Darryl E. *et al.* Expressing stemflow commensurate with its ecohydrological importance. **Advances in Water Resources**, v. 121, p. 472–479, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.08.015>
- CATINON, M. *et al.* The anthropogenic atmospheric elements fraction: A new interpretation of elemental deposits on tree barks. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 5, p. 1124–1130, 2009a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.11.004>
- CATINON, M. *et al.* The inclusion of atmospheric particles into the bark suber of ash trees. **Chemosphere**, v. 77, n. 10, p. 1313–1320, 2009b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.039>
- CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP**. 2020. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_118.html. Acesso em: 20 jul. 2020.
- CLEMENS, S.; PALMGREN, M. G.; KRÄMER, U. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 7, p. 309–315, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02295-1](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02295-1). Acesso em: 29 set. 2020.
- DE MELO, V. S.; SÁ, T. D. de A. Variação temporal de nutrientes na água escoada pelo caule em floresta primária explorada no nordeste do Pará. **Acta Amazonica**, v. 32, n. 4, p. 605–612, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43922002324612>
- EJIDIKE, I. P.; ONIANWA, P. C. Assessment of Trace Metals Concentration in Tree Barks as Indicator of Atmospheric Pollution within Ibadan City, South-West, Nigeria. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, v. 2015, p. 1–8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/243601>
- ENDRES JÚNIOR, D. *et al.* Host tree bark traits and development of reintroduced *Cattleya*

intermedia (Orchidaceae) plants in Southern Brazil. **Rodriguésia**, v. 70, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/2175-7860201970046>

ERBIL, H. Y. The debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: A review. **Surface Science Reports**, v. 69, n. 4, p. 325–365, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2014.09.001>

FARMER, A. M.; BATES, J. W.; BELL, J. N. B. Seasonal variations in acidic pollutant inputs and their effects on the chemistry of stemflow, bark and epiphyte tissues in three oak woodlands in N.W. Britain. **New Phytologist**, v. 118, n. 3, p. 441–451, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00026.x>

FRIESEN, J. Flow Pathways of Throughfall and Stemflow Through the Subsurface. *In*: VAN STAN II, J. T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (org.). **Precipitation Partitioning by Vegetation**. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020. p. 215–227. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2_13

GÓMEZ, J. . *et al.* Rainfall concentration under olive trees. **Agricultural Water Management**, v. 55, n. 1, p. 53–70, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00181-0)

GONZALEZ-OLLAURI, A.; STOKES, A.; MICKOVSKI, S. B. A novel framework to study the effect of tree architectural traits on stemflow yield and its consequences for soil-water dynamics. **Journal of Hydrology**, v. 582, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124448>

GUIDONE, M.; GORDON, D. A.; VAN STAN, J. T. Living particulate fluxes in throughfall and stemflow during a pollen event. **Biogeochemistry**, v. ?, p. ?, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00787-7>

HOFHANSL, F. *et al.* Controls of hydrochemical fluxes via stemflow in tropical lowland rainforests: Effects of meteorology and vegetation characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 452–453, p. 247–258, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.057>

ILEK, A. *et al.* Vertical Variability in Bark Hydrology for Two Coniferous Tree Species. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. 687907, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.687907>

JOTHI PRAKASH, C. G.; CLEMENT RAJ, C.; PRASANTH, R. Fabrication of zero contact angle ultra-super hydrophilic surfaces. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 496, p. 300–310, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.007>

KOICHIRO, K. *et al.* Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. **Hydrological Processes**, v. 15, n. 10, p. 1967–1978, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.250>. Acesso em: 13 jul. 2020.

LEGRAND, I.; ASTA, J.; GOUDARD, Y. Variations in bark acidity and conductivity over the trunk length of silver fir and Norway spruce. **Trees**, v. 11, n. 54–58, 1996.

LEONARDI, S.; FLUCKIGER, W. Short-term canopy interactions of beech trees: mineral ion leaching and absorption during rainfall. **Tree Physiology**, v. 3, n. 2, p. 137–145, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/3.2.137>. Acesso em: 29 set. 2020.

LEVIA, D. F.; HERWITZ, S. R. Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils. **Catena**, v.

64, n. 1, p. 117–137, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.001>

LEVIA, Delphis F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p. 673–714, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>

LEVIA JR., D. F.; HERWITZ, S. R. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 4, p. 662–666, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x99-244>. Acesso em: 4 abr. 2020.

LIN, T.-C. *et al.* Base cation leaching from the canopy of a subtropical rainforest in northeastern Taiwan. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 7, p. 1156–1163, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x01-035>. Acesso em: 16 set. 2020.

MANDIWANA, K. L. *et al.* The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 137, n. 2, p. 1241–1245, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.015>

MILLER, W. R.; GALLARDO, L.; CLARK, T. Do Water Bears Climb Trees Too? *In*: LOWMAN, M.; DEVY, S.; GANESH, T. (org.). **Treetops at Risk: Challenges of Global Canopy Ecology and Conservation**. 1. ed. New York, NY: Springer, New York, NY, 2013. p. 307–311. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7161-5_30

MOMOLLI, D. R. *et al.* Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 199–208, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n118.06>. Acesso em: 16 set. 2020.

MOREIRA, T. C. L. *et al.* The Use of Tree Barks to Monitor Traffic Related Air Pollution: A Case Study in São Paulo–Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00072>

MOSLEHI, M. *et al.* Base cation dynamics in rainfall, throughfall, litterflow and soil solution under Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees in northern Iran. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 2, p. 55, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0837-8>

OKA, A. *et al.* Bark Effects on Stemflow Chemistry in a Japanese Temperate Forest I. The Role of Bark Surface Morphology. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. April, p. 1–10, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.654375>

OKA, A. *et al.* Bark Effects on Stemflow Chemistry in a Japanese Temperate Forest II. The Role of Bark Anatomical Features. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.657850>

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. [S. l.: s. n.], 1999.

PALMGREN, M. G. Plant Plasma Membrane H⁺-ATPases: powerhouses for Nutrient Uptake. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, n. 1, p. 817–845, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.817>. Acesso em: 29 set. 2020.

PAPIEROWSKA, E. *et al.* Contact angle measurements and water drop behavior on leaf surface for several deciduous shrub and tree species from a temperate zone. **Trees**, v. 32, n. 5, p. 1253–1266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1707-y>

- PARKER, G. G. Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle. **Advances in Ecological Research**, v. 13, p. 57–133, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60108-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60108-7)
- PÁSZTORY, Z. *et al.* The Utilization of Tree Bark. **Bioresource**, v. 11, n. 3, p. 7859–7888, 2016.
- PONETTE-GONZÁLEZ, A. G. Accumulator, Transporter, Substrate, and Reactor: Multidimensional Perspectives and Approaches to the Study of Bark. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. August, p. 1–7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.716557>
- PONETTE-GONZÁLEZ, A.; VAN STAN II, J. T.; MAGYAR, D. Things Seen and Unseen in Throughfall and Stemflow. *In*: VAN STAN II, J. T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (org.). **Precipitation Partitioning by Vegetation - A Global Synthesis**. Springer Ned. Switzerland: Things Seen and Unseen in Throughfall 5 and Stemflow, 2020. p. 71–87. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2>
- PTATSCHECK, C.; TRAUNSPURGER, W. The meiofauna of artificial water-filled tree holes: Colonization and bottom-up effects. **Aquatic Ecology**, v. 48, n. 3, p. 285–295, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10452-014-9483-2>
- RODRIGO, A.; AVILA, A.; RODÀ, F. The chemistry of precipitation, throughfall and stemflow in two holm oak (*Quercus ilex* L.) forests under a contrasted pollution environment in NE Spain. **The Science of the total environment**, v. 305, n. 1–3, p. 195–205, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00470-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00470-9)
- ROSIER, C. L. *et al.* Seasonal dynamics of the soil microbial community structure within the proximal area of tree boles: Possible influence of stemflow. **European Journal of Soil Biology**, v. 73, p. 108–118, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.02.003>
- SCHOOLING, J.T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>
- SCHOOLING, Julie T. *et al.* Stemflow chemistry in relation to tree size: A preliminary investigation of eleven urban park trees in British Columbia, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 129–133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.013>
- SHAW, P. How high do Collembola climb? Studies of vertical migration in arboreal Collembola. **Soil Organisms**, v. 87, p. 229–235, 2015. Disponível em: www.soil-organisms.de
- SIEGERT, C. M. *et al.* Do storm synoptic patterns affect biogeochemical fluxes from temperate deciduous forest canopies? **Biogeochemistry**, v. 132, n. 3, p. 273–292, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0300-6>
- SINDERSKI, L. G. Z. Ângulo de Contato e Rugosidade de Madeiras, uma breve revisão. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n1p1-11>
- STAELENS, J. *et al.* Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: Influence of foliation, rain event characteristics,

and meteorology. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 1, p. 33–45, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.6610>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SU, L. *et al.* Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 507, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10060507>

SUN, X. *et al.* Canopy modification of base cations deposition in a subtropical broadleaved forest: Spatial characteristics, canopy budgets and acid neutralizing capacity. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. February, p. 118863, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118863>

TÓBON, C.; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J. M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 1–25, 2004.

TONELLO, K. C. *et al.* How Is Bark Absorbability and Wettability Related to Stemflow Yield? Observations From Isolated Trees in the Brazilian Cerrado. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. May, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.650665>

TONELLO, K. C. *et al.* Rainfall partitioning in the Cerrado and its influence on net rainfall nutrient fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 303, n. May 2020, p. 108372, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108372>

VAN STAN, J. T. *et al.* Temporal Dynamics in the Concentration, Flux, and Optical Properties of Tree-Derived Dissolved Organic Matter in an Epiphyte-Laden Oak-Cedar Forest. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 122, n. 11, p. 2982–2997, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017JG004111>

VAN STAN, J. T.; DYMOND, S. F.; KLAMERUS-IWAN, A. Bark-Water Interactions Across Ecosystem States and Fluxes. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, n. March, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.660662>

VAN STAN II, J. T.; ALLEN, S. T. What We Know About Stemflow's Infiltration Area. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, n. May, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00061>

VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G. **A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation**. [S. l.]: Elsevier, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.134>

XU, X. *et al.* Atmospheric particulate matter accumulation on trees: A comparison of boles, branches and leaves. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 349–356, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.072>

YUAN, C.; GAO, G.; FU, B. Comparisons of stemflow and its bio-/abiotic influential factors between two xerophytic shrub species. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 3, p. 1421–1438, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1421-2017>

CAPÍTULO VI: CONCLUSÃO GERAL

A pesquisa documentou o papel ecohidrológico da água escoada pelo tronco de árvores pertencentes a área urbana, revelando sua contribuição para a recarga hidrológica, ciclagem de nutrientes e transporte de metazoários, além de que, os resultados indicaram a existência da interação da casca com o escoamento pelo tronco, de tal maneira a contribuir para a inclusão de nutrientes nos solos próximos a base ~~do tronco~~ da árvore, sendo que a composição química do escoamento pelo tronco foi específica de cada espécie.

Para as espécies analisadas, os fatores bióticos tiveram diferentes influências das características dendrométricas e morfológicas para o rendimento do escoamento pelo tronco, e apenas uma variável não foi capaz de prever, além de ser específico de cada espécie. O escoamento pelo tronco demonstrou ser um importante meio conectivo entre os metazoários habitantes da estrutura vegetal ao solo, não sendo possível padronizar a sua presença com base ~~em~~ em ~~nos~~ grupos de estruturas morfológicas de árvores. O conteúdo químico da água escoada pelo tronco apresentou um aumento muito claro das concentrações de nutrientes em relação àqueles da precipitação, demonstrando relevância para a ciclagem hidroquímica a beneficiar as espécies arbóreas. A morfologia da casca apresentou diferentes influências quanto ao transporte dos íons analisados.

Por ser rica e importante para o crescimento e manutenção dos indivíduos arbóreos, é de suma importância garantir que a água escoada pelo tronco seja infiltrada em áreas tão impermeabilizadas, como é o caso de ambientes urbanos, locais onde habitualmente o espaço de solo é limitado e dificultoso o processo de infiltração da água. Para que seja mais eficiente a infiltração do escoamento pelo tronco, sugere-se a manutenção dos solos próximo a base das árvores, tal como a descompactação, tendo como essa base científica objeto auxiliar para os planos de gestão municipal.

Este estudo impulsiona novas pesquisas que anteriormente não realizavam este tipo de análise quanto ao escoamento pelo tronco. Não se pode esquecer que o escoamento pelo tronco não surge a partir do tronco da árvore, primeiramente ocorre a saturação do dossel e somente então que essa água é escoada pelo tronco. Por esse motivo, além da casca, existem as condições da copa que podem interferir no fluxo de nutrientes e transporte de metazoários, assim como, a morfologia da folha, ângulo de inserção da folha e galho, além de tantos outros componentes os quais poderão ser melhores compreendidos, como o estudo de outras espécies arbóreas, em outros ambientes, e outros íons além dos analisados. Ainda, o estudo de outros organismos

presentes no escoamento pelo tronco como bactérias, protozoários, ou ainda, a relação da química do escoamento pelo tronco para a abundância dos metazoários.

Conforme observado, há complexidade na compreensão dos fatores que interferem a composição química da água escoada pelo tronco, sejam esses íons advindos da deposição atmosférica, lixiviação da própria estrutura vegetal ou ainda, por troca iônica. No entanto, fica claro a função da arborização urbana na captura e lixiviação desses íons, reafirmando a importância das árvores para a melhoria da qualidade ambiental.