



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Julia Soares Drummond

**Associação de organismos epifíticos e seu efeito sobre o ciclo da
água no nível ecossistêmico: discutindo o conceito do holobionte na
ecohidrologia**

Rio de Janeiro
2022

Julia Soares Drummond

Associação de organismos epifíticos e seu efeito sobre o ciclo da água no nível ecossistêmico: discutindo o conceito do holobionte na ecohidrologia

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Henrique Pimentel Rosado

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/A

D795 Drummond, Júlia Soares.
 Associação de organismos epifíticos e seu efeito sobre o ciclo da
 água no nível ecossistêmico: discutindo o conceito do holobionte na
 ecohidrologia/ Júlia Soares Drummond. – 2022.
 86 f. : il.

Orientador: Bruno Henrique Pimentel Rosado
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade do
Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara
Gomes.

1. Epífita- Teses. 2. Fisiologia vegetal - Teses. 3. Mudanças
climáticas - Teses. I. Rosado, Bruno Henrique Pimentel. II.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto
Alcantara Gomes. III. Título.

CDU 632.53

Patricia Bello Meijinhos CRB7/5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

19 de Agosto de 2023

Assinatura

Data

Julia Soares Drummond

Associação de organismos epifíticos e seu efeito sobre o ciclo da água no nível ecossistêmico: discutindo o conceito do holobionte na ecohidrologia

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas

Aprovada em 29 de Setembro de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Henrique Pimentel Rosado (Orientador)
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes – UERJ

Prof.^a Dra. Gisele Lôbo Hajdu
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Prof. Dra. Rosana Mazzoni Buchas
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Rio de Janeiro
2022

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as pessoas que foram direta ou indiretamente afetadas pela pandemia de Covid-19 e para todas aquelas que sofrem e sofrerão as consequências das mudanças climáticas. São as pessoas da base da pirâmide socioeconômica, desfavorecidas e subjugadas, que lutam pela sobrevivência nesse modelo competitivo de sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu orientador Bruno Rosado por estar presente durante todo o processo e lembrar sempre minha capacidade, não me deixando fraquejar nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha mãe Eneida, minha tia mãe Edelweiss e a meu pai Hiram, por serem suporte, apoio e compreensão, e pela base e incentivo a sempre seguir meus sonhos e objetivos.

Agradeço a todas as professoras e professores que passaram pela minha vida acadêmica, que colaboraram pra que eu adquirisse todo conhecimento que tenho hoje, servindo como guias nessa jornada.

Agradeço a UFF e a UERJ, universidades públicas e de excelente qualidade que me proporcionaram os melhores anos da minha vida, contribuindo tanto para minha formação profissional quanto para minha formação pessoal e política.

Agradeço a minhas amigas e amigos que fizeram parte dessa trajetória, principalmente a Helena Roland que me apresentou o LEV e contribuiu muito para que mergulhasse nessa jornada de me tornar mestre, sempre me apoiando e incentivando a continuar.

Agradeço a toda equipe do LEV, por serem suporte e contribuírem imensamente em todos os momentos ao longo desse percurso.

Agradeço a CAPES e todas as agências de fomento à pesquisa, pelas bolsas de estudo e apoio financeiro.

Agradeço as Unidades de Conservação Brasileiras, as quais contribuem imensamente com a pesquisa e ensino, especialmente ao Parque Nacional de Itatiaia, Parque Nacional da Tijuca e Parque Estadual Serra Negra da Mantiqueira, onde foram realizadas as fotografias apresentadas neste trabalho.

Agradeço a vida, e ao estudo dela, a Biologia, por abrir minha mente para desvendar os mistérios da existência.

Por último, sou grata a minha força e coragem de encarar mais uma batalha e ir até o fim, passando por todos os percalços sem desistir.

Fomos, durante muito tempo, embalados com a história de que somos a humanidade e nos alienamos desse organismo em que somos parte, a Terra, passando a pensar que ele é uma coisa e nós, outra: a Terra e a humanidade. Eu não percebo que exista algo que não seja natureza. Tudo é natureza. O cosmos é natureza. Tudo em que eu consigo pensar é natureza.

Ailton Krenak, O Amanhã não está à venda, 2020.

RESUMO

DRUMMOND, Julia Soares. *Associação de organismos epifíticos e seu efeito sobre o ciclo da água no nível ecossistêmico: discutindo o conceito do holobionte na ecohidrologia*. 2022. 86f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

As plantas vasculares são o alvo principal dos estudos envolvendo o ciclo global da água e seus processos ecossistêmicos, como a interceptação de água da chuva, escoamento por ramos e troncos (*stemflow*), gotejamento para o solo (*throughfall*), e o retorno para a atmosfera a partir da evaporação. Porém, pouco se sabe sobre o efeito combinado entre a vegetação e os seres vivos associados a elas, como fungos, líquens, bactérias e plantas não vasculares. Este fenótipo estendido do somatório de características de plantas hospedeiras e sua biota associada, o chamado holobionte, passou a ser recentemente reconhecido como a unidade tanto de resposta de um indivíduo aos fatores ambientais, quanto de seu efeito sobre processos ecológicos uma vez que esta integração determina as interfaces de interação do organismo com o meio. Tendo em vista que o todo pode ser maior do que a soma das partes, este trabalho tem como objetivo discorrer sobre o efeito ecohidrológico desse conjunto de espécies que compõem o holobionte, ou seja, o somatório das características funcionais de toda a comunidade epifítica encontrada sobre a vegetação juntamente com as características da planta hospedeira e qual sua contribuição para o ciclo da água a nível ecossistêmico. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico buscando compreender o que vem sendo estudado sobre o tema e discorrer sobre possíveis lacunas do conhecimento e necessidade de estudos posteriores tendo em vista o atual cenário de emergência climática. Como resultado dos artigos selecionados, encontrou-se uma íntima relação entre os seres epifíticos e seu efeito hidrológico a nível ecossistêmico, como a manutenção da temperatura e umidade, bem como na capacidade de escoamento da água. Compreender essa inter-relação é de vital importância para ambientes com grande cobertura de epífitas como as Florestas Tropicais, Nebulares e Amazônica, uma vez que essas vêm sofrendo diretamente as consequências dos impactos antrópicos, o que pode gerar consequência para o ciclo global da água.

Palavras-chave: Ecologia Funcional. Epífitas. Filosfera. Fitosfera. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

DRUMMOND, Julia Soares. *Association of epiphytic organisms and their effect on the water cycle at the ecosystem level*: discussing the concept of the holobiont in ecohydrology. 2022. 86f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Vascular plants are the main target of studies involving the global water cycle and its ecosystem processes, such as the interception of rainfall, runoff through branches and trunks (stemflow), drip to the ground (throughfall), and the return to the atmosphere from evaporation. However, little is known about the combined effect between vegetation and the living beings associated with them, such as between lichens, bryophytes and vascular plants. This extended phenotype of the sum of characteristics of host plants and their associated biota, the so-called holobiont, has recently come to be recognized as the unit of both an individual's response to environmental factors and its effect on ecological processes, since this integration determines the interface of interaction of the organism with the environment. Considering that the whole can be greater than the sum of the parts, this work aims to discuss the ecohydrological effect of this set of species that make up the holobiont, that is, the sum of the functional characteristics of the entire epiphytic community found on the vegetation together with the characteristics of the host plant and its contribution to the water cycle at an ecosystem level. For this, a systematic review was carried out in order to understand the current knowledge state, discuss possible knowledge gaps and the need for further studies in light of the current climate emergency scenario. As a result of the selected articles, an intimate relationship was found between epiphytic beings and their hydrological effect at the ecosystem level, such as the maintenance of temperature and humidity, as well as in the water flow capacity. Understanding this interrelation is of vital importance for environments with large coverage of epiphytes such as Tropical, Cloud and Amazon Forests, since these have been directly suffering the consequences of anthropic impacts, which can have consequences for the global water cycle.

Keywords: Functional Ecology. Epiphytes. Philosphere. Phytosphere. ClimateChange.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo da água envolvendo a vegetação...	21
Figura 2 - Diferenças morfológicas entre líquens...	30
Figura 3 - Medidas de capacidade de retenção de água...	32
Figura 4 - Diferenças morfológicas entre bromélias...	35
Figura 5 - Biodiversidade encontrada na filosfera...	37
Figura 6 - O holobionte vegetal...	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FWU	<i>Foliar Water Uptake</i> - Absorção de água pela folha
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
STM	<i>Specific Tallus Mass</i> - massa específica do talo
TMCF	<i>Tropical Montane Cloud Forests</i> - Florestas tropicais alto montanas
VPD	<i>Vapour Pressure Deficit</i> - Déficit de pressão de vapor
WHC	<i>Water Holding Capacity</i> - capacidade de retenção de água

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	14
1.1	Objetivo	16
1.2	Hipótese	17
2	METODOLOGIA.....	17
2.1	Levantamento bibliográfico.....	17
2.2	Artigo <i>On the role of the phyllosphere community to leaf wettability and water shedding</i> (Apêndice E).....	18
3	DESENVOLVIMENTO.....	19
3.1	Água: Interconexão dos sistemas biótico e abiótico	19
3.2	Processos Ecohidrológicos	21
3.2.1	<u>Interceptação da chuva</u>	22
3.2.2	<u>Evapotranspiração: manutenção da temperatura e umidade do ar</u>	23
3.2.3	<u>Throughfall: água em queda livre após interceptação</u>	25
3.2.4	<u>Stemflow: a canalização da água pelo caule</u>	25
3.3	Epífitas e sua relação com as plantas hospedeiras	26
3.4	Epífitas e sua relação com a água.....	27
3.4.1	<u>Líquens</u>	28
3.4.2	<u>Briófitas</u>	33
3.4.3	<u>Bromélias</u>	34
3.4.4	<u>Filosfera: os microrganismos presentes na folha</u>	36
3.5	Holobionte: o que é um indivíduo?	38
	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	45
	GLOSSÁRIO.....	52
	APÊNDICE A - Tabela 1: Primeira revisão de artigos a partir do título e resumo.....	53
	APÊNDICE B - Tabela 2: Segunda revisão de artigos a partir do texto completo	67
	APÊNDICE C - Tabela 3: Artigos finais incluídos na revisão: efeito	

ecossistêmico, metodologia utilizada, formas de vida, espécies hospedeiras e associadas	72
APÊNDICE D - Tabela 4: Área de estudo e dados climáticos dos artigos incluídos	74
APÊNDICE E - Mapa das áreas de estudo.....	75
APÊNDICE F - Artigo On the role of the phyllosphere community to leaf wettability and water shedding. Julia S. Drummond & Bruno H. P. Rosado (2022).....	76

INTRODUÇÃO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos presentes no planeta Terra e o seu ciclo, em parte, é regulado pela vegetação, bem como a composição da vegetação em determinado local é influenciada pela água. Nos dias atuais a biomassa vegetal representa cerca de 99% de toda a vida no planeta Terra, servindo de base para a sobrevivência dos outros seres vivos a partir dos recursos como abrigo, alimento e água, e a esse universo vegetal dá-se o nome de fitosfera (Svoboda, 1989).

A ecohidrologia é a ciência que estuda as relações entre as plantas e o ciclo global da água buscando compreender como ocorrem os *feedbacks* e interações entre os meios bióticos (plantas) e abióticos (água - solo - atmosfera), e quais as consequências a nível local e ecossistêmico (Asbjornsen *et al.*, 2011). Segundo Asbjornsen e colaboradores (2011), foi realizado um levantamento bibliográfico contendo o termo *Ecohydrology* e constatou-se que antes de 1991 nenhum estudo havia sido publicado, enquanto que de 2001 a 2010 apareceram 305 artigos na base de dados do *Web of Science* usando o termo. Ao realizar a pesquisa em março de 2022, apareceram 2.827 novos artigos entre o ano de 2011 e 2022 o que demonstra o interesse emergente nesse tema (*Web of Science*, 2022).

Os processos ecohidrológicos descritos neste trabalho compreendem o caminho que a água percorre ao longo da parte aérea da vegetação até chegar ao solo, que podem ser medidos a partir das características funcionais de repelência e retenção hídrica de cada parte da planta. Segundo Friesen (2020), são eles: i) Interceptação, a qual está relacionada a capacidade da parte aérea em interceptar a água da chuva ou de fontes alternativas como a névoa e a neblina, alterando a velocidade em que esta chega ao solo (dependendo das características de retenção e repelência); ii) *Stemflow*, ou seja, o escoamento de água através dos ramos e do tronco até chegar ao solo; iii) *Throughfall*, ou seja, o gotejamento de água pelas partes aéreas da planta e iv)

Evaporação, ou seja, a água retida e que não chega ao solo volta a atmosfera.

Essa capacidade de retenção e repelência pode ser medida a partir de experimentos em laboratório, como o ângulo de contato entre a gota de água e a superfície foliar, onde são consideradas hidrofílicas aquelas folhas com um menor ângulo de contato, ou seja, menor adesão e coesão das moléculas de água permitindo que a gota se espalhe sob a superfície, e hidrofóbicas aquelas com o maior ângulo de contato, o que facilita o escoamento para o solo (Rosado e Holder, 2013; Holder, 2007b). Para os efeitos no caule, muitas vezes (Ah-Peng *et al.*, 2017; Gay *et al.*, 2015; Guevara-Escobar *et al.*, 2011) são consideradas a diferença entre massa seca e massa úmida da planta, relacionando com a capacidade de interceptação e gotejamento para o solo após a saturação, o que pode reduzir a velocidade de escoamento, sendo disponibilizada para evaporação, contribuindo para a manutenção da umidade e da temperatura localmente (Guevara-Escobar *et al.*, 2011).

Em termos de efeitos da vegetação sobre processos ecossistêmicos, ou seja, como a vegetação influencia os processos a nível ecossistêmico, tem-se buscado identificar como a composição funcional da vegetação, em termos de características de repelência hídrica, tais como ceras cuticulares e tricomas, podem mediar balanços ecohidrológicos por afetarem processos de interceptação e escoamento de água (Rosado & Holder, 2013). O papel das epífitas na mediação das respostas das plantas ao ambiente está sendo estudado (Rosado *et al.*, 2018), e já se sabe que a presença de fungos e bactérias simbiotes nas plantas contribui para a proteção contra danos causados por estresse (biótico ou abiótico), bem como contribui para aquisição de componentes indispensáveis a seu metabolismo como a água, sendo também fundamentais para o ciclo global de carbono e nitrogênio (Yang *et al.*, 2012). Porém, o efeito destes organismos sobre processos ecohidrológicos permanece negligenciado (Rosado *et al.*, 2018; Almeida, 2018). Portanto, a inclusão de toda comunidade epifítica na ecologia funcional é um passo fundamental para a elaboração de modelos robustos que formulem respostas aos efeitos da vegetação no atual cenário de mudanças ambientais (Asplund *et al.*, 2016).

Para isso é necessário observar todo o conjunto da obra, ou seja, o holobionte, o qual se caracteriza pelos somatórios das características funcionais da planta hospedeira e de toda a comunidade epifítica associada. Desta forma, essa entidade simbiótica deve ser considerada como uma unidade nos efeitos sobre os processos ecossistêmicos, uma vez que essa interação pode ser responsável pela estruturação da comunidade e a capacidade de passar pelos filtros ambientais (Carthy *et al.*, 2019).

O aumento na frequência, intensidade e duração dos eventos de seca são citados como algumas das principais consequências das mudanças climáticas, bem como a alteração no regime de chuvas e formação de nuvens (McDowell, 2011; IPCC, 2022). Neste sentido, a literatura sobre ecologia funcional de plantas tem recebido nos últimos anos um grande aporte de estudos tanto sobre as respostas das espécies afetando sua mortalidade em função da seca (McDowell, 2011; Oliveira *et al.*, 2014; Martinez-Vilalta *et al.*, 2019), quanto ao efeito de suas características sobre os processos ecohidrológicos (Rosado & Holder, 2013). No atual cenário de emergência climática, é crucial compreender a relação dos seres vegetais com a água para então desenvolver medidas de mitigação dos efeitos negativos do aquecimento global, propondo soluções para que haja um menor impacto na vida, nas populações e nos recursos hídricos.

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo é compreender os efeitos combinados da vegetação, ou seja, do holobionte sobre o ciclo da água a partir dos mecanismos e processos envolvidos na sua regulação como a retenção e a repelência hídrica. Neste sentido, esta dissertação está dividida em um corpo principal no qual foi realizada uma revisão bibliográfica na base de dados *Web of Science* com intuito de avaliar o Estado da Arte sobre como o papel da filosfera sobre processos ecohidrológicos é compreendido e apresentado na literatura. A pergunta principal que motivou a pesquisa foi: *Qual o efeito combinado das epífitas (i.e. holobionte) no balanço hidrológico dos ecossistemas?*

1.2 Hipótese

A hipótese inicial é de que todos os componentes vegetais geram um efeito direto ou indireto na ecohidrologia, podendo reter água da chuva, bem como de fontes alternativas como a neblina, sendo interceptados e armazenados (i.e. copos das bromélias). Portanto, influenciam nos processos como evaporação, para a manutenção do microclima. O processo de repelência da água pode levar ao gotejamento pelas folhas através do processo denominado *Throughfall* ou levar ao escoamento pelo tronco (*Stemflow*) até infiltrar no solo, aumentando o *input* de água próximo a vegetação e posteriormente recarregando os aquíferos.

2 METODOLOGIA

2.1 Levantamento bibliográfico

Tendo como hipótese que todos os seres epifíticos que constituem a vegetação, sejam eles líquens, briófitas, pteridófitas, bromélias, tem papel fundamental para o funcionamento e regulação do ciclo ecohidrológico, devido a suas características funcionais de interceptação, absorção, escoamento da água das chuvas e muitas vezes de fontes alternativas como da neblina, foi realizada a investigação para verificar quais os efeitos destes no ciclo da água.

Foram testadas palavras-chave para encontrar a melhor combinação e estimar o número de artigos relevantes a serem analisados, a partir de critérios de inclusão e exclusão. A combinação escolhida foi:

((("phytosphe*" OR "phyllosphe*" OR "epiphyt*" OR "epiphyll*" OR "bryophyt*" OR "lichen*" OR "pteridophyt*" OR "orchid*" OR "bromeli*" OR "liverwort*" OR "moss*" OR "fung*" OR "fern*" OR "holobiont*") AND ("ecohydrolog*" OR "rainfall intercept*" OR "leaf water repellen*" OR "leaf water retent*" OR "stemflow*" OR "throughfall*" OR "rainfall retent*")) NOT ("soil*" OR "biomedicine*" OR "sea*" OR "ocean*" OR "fish*" OR "mammal*" OR "bird*" OR "marine freshwater biology*" OR "zoolog*" OR "entomolog*"))).

No total, foram encontrados 146 artigos, excluindo as abas que não se tratavam do tema, como "entomology" e "zoology", restaram 143 para serem analisados.

A primeira seleção de textos ocorreu a partir do título e do resumo dos artigos, separando aqueles pertinentes ao tema e excluindo os que fugiam do foco da pesquisa. Dos 143 artigos inicialmente selecionados (Apêndice A), após a leitura do título e do resumo, restaram 45 para a análise minuciosa, que incluiu a leitura e compreensão de todo o corpo do texto para verificar a compatibilidade com o tema proposto (Apêndice B). Destes 45, 10 artigos foram selecionados para serem incluídos na revisão por estarem de acordo com o tema proposto para a investigação, dos quais se extraíram dados sobre a metodologia utilizada, espécies vegetais hospedeiras, formas de vida associadas, efeito ecossistêmico e os métodos de medida do efeito (Apêndice C). Dados complementares das áreas de estudo e características climáticas de cada artigo, como

local, coordenadas geográficas, clima, altitude, temperatura e precipitação média anual também foram coletados (Apêndice D). Os resultados encontrados e possíveis lacunas no conhecimento serão apresentados e discutidos ao longo da dissertação. Devido à variedade dos dados encontrados, bem como ao número reduzido de artigos, o método de análise escolhido foi a revisão sistemática dos dados (Koricheva *et al.*, 2013).

Foram excluídos aqueles artigos que fugiam do tema proposto, como características de resposta das epífitas ao aumento de minerais como Nitrogênio e Fósforo, briófitas formando turfeira no solo, fertilização e dispersão de sementes e esporos, filogenia e taxonomia, participação na teia alimentar, dentre outros (Apêndices A e B).

Uma pesquisa adicional foi realizada a fim de complementar as informações encontradas, bem como foram incluídas as referências cruzadas encontradas nos artigos chave a serem incorporadas ao corpo do texto com o intuito de discutir sobre o efeito combinado das epífitas, ou seja, do holobionte para o ciclo da água.

2.2 **Artigo *On the role of the phyllosphere community to leaf wettability and water shedding* (Apêndice E)**

Na segunda parte desta dissertação consta nosso artigo aceito para publicação no Journal of Experimental Botany, como *View Point*. O foco foram as lacunas deixadas na literatura que negligenciam o efeito da filosfera na dinâmica hidrológica atuando diretamente no molhamento das folhas, ou seja, como as características foliares influenciam na capacidade de retenção e repelência hídrica vegetal nos processos ecohidrológicos.

Apresentada como Apêndice E, o artigo *On the role of the phyllosphere community to leaf wettability and water shedding* trata da importância da filosfera e do conceito de holobionte para processos ecohidrológicos associados à retenção e ao escoamento de água nas folhas, dando luz às novas perspectivas de estudos envolvendo a ecohidrologia.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Água: Interconexão dos sistemas biótico e abiótico

A água, como recurso fundamental para a manutenção da vida, é crucial na formação dos ecossistemas e no estabelecimento de espécies vegetais. Todos os seres que aqui habitam necessitam dela em maior ou menor grau para exercer suas funções fisiológicas e ecológicas. No ciclo hidrológico, a água é disponibilizada na atmosfera via evaporação dos oceanos e rios, bem como através da transpiração das plantas, formando as nuvens, a névoa e a neblina (Burgues, 2011). Quando é condensada em gotículas ocorre a precipitação que leva a recarga dos aquíferos e é disponibilizada como recurso novamente para os seres vivos. Por mais que seja um recurso renovável, devido a seu ciclo biogeoquímico, as mudanças climáticas estão alterando os processos e a disponibilidade desse recurso em diferentes locais do globo (IPCC, 2022).

As plantas estão ligadas diretamente ao ciclo hidrológico, devido a sua capacidade de absorver água do solo e bombear de volta para a atmosfera, bem como de interceptar a chuva. Isso, depende de padrões espaço temporais bem como da sua fisiologia. Porém, geralmente os estudos consideram apenas as plantas vasculares, aquelas com sistemas complexos de aquisição e transporte de água. Há uma negligência sobre os efeitos das plantas não vasculares que absorvem a água de forma passiva e liberam água constantemente em forma de vapor, como é o caso dos líquens e das briófitas, onde estão ausentes estruturas especializadas como raízes e mecanismos de transporte internos (Savenije, 2018).

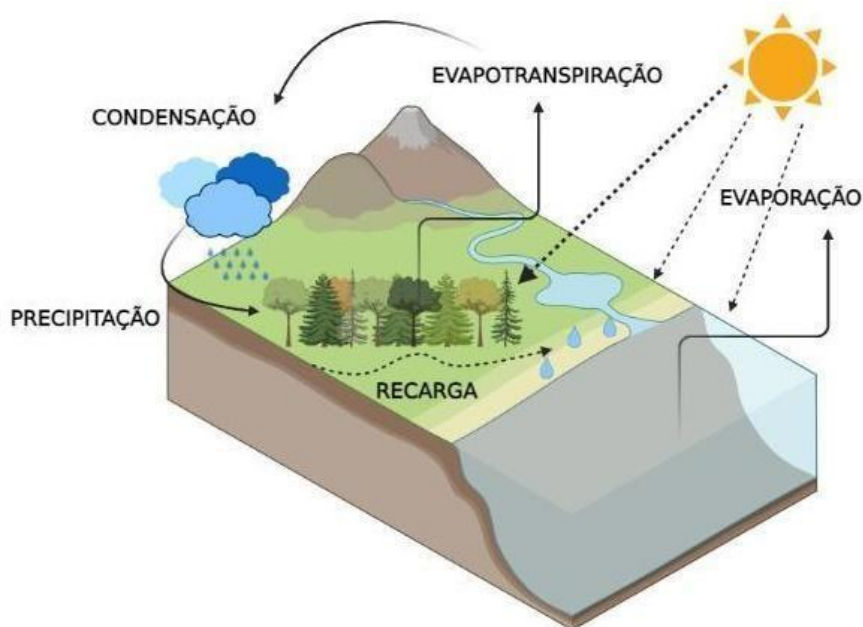
Segundo o relatório do IPCC (2022), nas regiões áridas e semiáridas haverá um aumento da duração e da intensidade das secas, enquanto em regiões tropicais as chuvas se tornaram mais concentradas, alterando os períodos de monções. A poluição atmosférica também interfere na precipitação, uma vez que os aerossóis contribuem na coalescência das gotículas de água, fazendo com que essas precipitem antes da formação completa das nuvens, o que altera o regime de chuvas. Parte da água doce fica estocada na forma de geleiras, que também serão afetadas devido ao aumento da temperatura, o que pode levar a um aumento do nível do mar bem como no aumento de

metano na atmosfera devido a decomposição de matéria orgânica que antes estava coberta por gelo no *permafrost* (Parmesan *et al.*, 2022).

Essas alterações no ciclo da água irão gerar consequências para a população como secas severas impossibilitando a plantação, deslizamento de terra e enchentes proveniente das chuvas concentradas. Essas consequências irão impactar diretamente a vida principalmente das classes desfavorecidas socioeconomicamente, já que estas são as mais vulneráveis por habitarem locais de risco iminente.

O histórico no uso da terra, como o desmatamento de áreas florestais para a criação de áreas de pastagem e agricultura também impacta diretamente no ciclo da água (Figura 1), uma vez que todos os processos acabam sendo afetados, seja a evaporação via transpiração ou a recarga dos cursos hídricos, fazendo com que essas regiões se tornem mais secas.

Figura 1- Ciclo da água envolvendo a vegetação.



Legenda: Esquema ilustrativo da vegetação influenciando o ciclo da água através da proteção do solo e dos mananciais, bombeamento de água de volta a atmosfera via evapotranspiração.

Fonte: A autora 2022. (Criado no biorender.com)

3.2 Processos Ecohidrológicos

A precipitação é uma etapa fundamental no ciclo da água, a qual segue caminhos distintos, dependendo da composição vegetal e de sua capacidade de retenção ou repelência, podendo ser retida pela copa das árvores através da interceptação, ser encaminhada para o solo via *stemflow* e *throughfall* ou imediatamente evaporar, retornando como vapor de água para a atmosfera (Savenije, 2018).

As plantas possuem características funcionais que contribuem para sua capacidade de retenção ou repelência hídrica, como tricomas, ceras e o grau de inclinação das folhas. Essas características podem influenciar neste ciclo hídrico dentro da vegetação (Rosado *et al.*, 2010), acelerando ou retardando a velocidade em que a água chega ao solo. Sendo assim, influencia tanto na fisiologia das plantas quanto na função de todo o ecossistema. A capacidade de retenção ou repelência estão relacionadas a capacidade de interceptação e a drenagem de volta ao solo a partir dos processos de *throughfall* e *stemflow*, por exemplo (Sikorska *et al.*, 2017).

Com a passagem da água da chuva pelo dossel florestal, uma das consequências é a alteração da química dos compostos carregados pela chuva, como o Nitrogênio (N). A presença de líquens epifíticos e microrganismos presentes nas folhas, podem absorver e transformar esse composto em N orgânico, tornando-o disponível e levando a um incremento, que posteriormente, chegar ao solo via lixiviação ou decomposição, pode ser então absorvido pelas árvores (Woods, 2012).

3.2.1 Interceptação da chuva

A chuva que cai sobre a vegetação, em parte é interceptada por ela antes de chegar ao solo, ficando retida em sua copa e nas epífitas circundantes, podendo haver uma perda de 10% a 40% da recarga do solo através da evaporação (Van Stan, 2016). Foi demonstrado que briófitas e líquens foliosos e fruticulosos podem aumentar essa

interceptação devido a suas características funcionais e estruturais, sendo sua capacidade diretamente proporcional ao volume e intensidade dos eventos de chuva, uma vez que formam tapetes que impedem o escoamento da água (Pypker *et al.*, 2006). A maioria dos estudos não leva em conta o efeito dessas plantas não vasculares e líquens para o cálculo da interceptação global (Savenije, 2018; Porada *et al.*, 2018).

Porada e colaboradores (2018) demonstraram, a partir de modelagens computacionais, que ao incluir plantas não vasculares na estimativa de interceptação da água há um incremento significativo que deve ser levado em conta nos modelos de estimativas globais. Essa interceptação é importante, pois reduz a velocidade em que a água chega ao solo, diminuindo assim o risco de enchentes, deslizamentos de terra e assoreamento de rios. Porém, também reduz o incremento de água para a recarga dos aquíferos e a disponibilidade para a captação pelas raízes mais superficiais.

Além disso, as epífitas podem contribuir com a umidade relativa do ar. A manutenção da temperatura a partir da interceptação da neblina, que após sua saturação, pode gotejar contribuindo para a disponibilidade hídrica local, sendo pouco considerada nos estudos ecohidrológicos (Guevara-Escobar *et al.*, 2011). Em florestas tropicais alto montanas (TMCF, *Tropical Montane Cloud Forests*), por exemplo, foi demonstrado que as epífitas influenciam na capacidade de interceptação de água, e, por possuírem grande biomassa nessas regiões, podem contribuir com a formação de nuvens e neblina localmente através da evaporação, influenciando assim o ciclo hidrológico (Ah-Peng *et al.*, 2017).

Após a capacidade do dossel em estocar água ser saturada, essa água interceptada pela copa pode voltar ao solo através de processos ecohidrológicos definidos como *stemflow* e *throughfall*, bem como evaporar, sendo a evaporação responsável pela devolução de cerca de 60% da precipitação de volta a atmosfera (Savenije, 2018).

3.2.2 Evapotranspiração: manutenção da temperatura e umidade do ar

Através da evapotranspiração, as plantas liberam continuamente vapor de água para a atmosfera. Para realizar a fotossíntese, as plantas possuem a desvantagem de

perder água para conseguirem o carbono necessário para seu desenvolvimento. A transpiração é então regulada por fatores intrínsecos à planta (potencial hídrico), biomassa foliar, bem como fatores abióticos, como umidade relativa do ar, quantidade de água no solo, temperatura e velocidade do vento (Asbjornsen, 2011; Lemordanta et al., 2018).

A transpiração das plantas pode ocorrer através das cutículas ou pelos poros estomáticos presentes nas folhas, porém as cutículas também servem como barreira para perda de água sendo apenas 10% da água transpirada através dela. Grande parte da água perdida para o meio é através dos estômatos. Durante o processo de fotossíntese, as plantas abrem os estômatos e a água flui através deles, solubilizando o CO_2 fundamental para o processo. Quando o ar está saturado, ou seja, com alta umidade, a perda de água é reduzida, já que a superfície foliar se encontra úmida, otimizando o processo. Esse movimento de abertura e fechamento dos estômatos é induzido pela luz solar, onde a incidência luminosa leva a abertura e, a ausência, ao fechamento. Apenas as plantas que realizam fotossíntese do tipo CAM, abrem seus estômatos à noite, pois apresentam a capacidade de transformar o CO_2 em ácidos orgânicos e depois com a incidência de luz, utilizam o carbono estocado para a geração de energia. Esse mecanismo é comumente encontrado em plantas de ambientes áridos e com grande incidência de luz, que passam por restrições hídricas (Raven, 2014). Cerca de 57% das epífitas realiza esse tipo de fotossíntese, pois mesmo vivendo majoritariamente em ambientes úmidos, são dependentes da umidade atmosférica, não tendo acesso direto à água. Com isso, conseguem realizar fotossíntese mesmo passando por estresse hídrico, mantendo um balanço de carbono positivo em momentos de escassez (Kersten, 2010).

Essa abertura e o fechamento estomáticos são regulados pelo déficit de pressão de vapor (VPD, *Vapour Pressure Deficit*), onde o aumento da transpiração está diretamente relacionado ao aumento do VPD (Asbjornsen, 2011). Essa água, que é então transpirada, evapora da superfície de contato, favorecendo um microclima úmido próximo a vegetação.

Fatores abióticos também influenciam na evapotranspiração, como a temperatura e a umidade do ar. Ao se elevar a temperatura, a água disponível nas superfícies foliares tende a evaporar, levando ao aumento da transpiração, enquanto os estômatos

permanecem abertos e naquelas sem mecanismos específicos de regulação da perda de água, leva a dessecação. Como consequência ocorre uma ciclagem rápida da água. A evaporação influencia diretamente no microclima, na umidade, na temperatura e o albedo da região, devolvendo a umidade para a atmosfera, seguindo o curso até a formação de nuvens e a futura precipitação (Savenije, 2018).

É importante pensar que a densidade do dossel e a associação de formas de vida circundantes podem afetar nesse microclima, pois ele influencia na capacidade de transpiração da planta e no total de água interceptada disponível para a evaporação (Asbjornsen, 2011). Por exemplo, o caso das hifas de fungos que penetram nos estômatos alterando seu funcionamento, modulando a entrada e saída de água (Rosado e Almeida, 2020). As folhas possuem ainda a capacidade de absorver água (*Foliar Water Uptake*), regulando os déficits hídricos, dependendo da saturação da atmosfera. Essa capacidade também pode ser alterada devido a presença de outros seres sobre a superfície foliar, como bactérias, fungos, líquens e briófitas. Esses seres podem possuir capacidades antagônicas de reter ou repelir a água, podendo também afetar o efeito ecológico prestado (Almeida, 2018). Sendo assim, as epífitas devem ser levadas em consideração ao se analisar a capacidade de liberação de água pela paisagem como um todo.

3.2.3 Throughfall: água em queda livre após interceptação

No processo denominado *throughfall*, a água é direcionada ao solo a partir do gotejamento proveniente das folhas e epífitas circundantes após sua saturação. Esse gotejamento pode perdurar por longos períodos, mesmo após parar de chover, dependendo das taxas evaporativas e capacidade de retenção ou repelência da vegetação (Delphis et al., 2017; Friesen, 2020). Ao entrar em contato com a vegetação, a água também vai lavar os poluentes presentes na copa depositados através da poeira (deposição seca) levando-os para o solo, podendo ficar retidos pela serrapilheira ou lixiviados para os cursos hídricos próximos (Glinski et al., 2018; Skudnik et al., 2015).

Essa capacidade de gotejamento está ligada às características foliares, como a

presença de ceras e tricomas, o ângulo de inclinação da folha, bem como características abióticas como o tamanho da gota de chuva e a velocidade do vento (Lenz *et al.*, 2021). Porém, para uma melhor inferência sobre a capacidade de escoamento da água através das folhas, características relacionadas às epífitas foliares devem ser levadas em conta (Rosado *et al.*, 2018; Rosado e Almeida, 2020).

3.2.4 Stemflow: a canalização da água pelo caule

Já no processo de *stemflow* a água que foi captada pela copa é canalizada e escorre pelos galhos e tronco, podendo ser interceptada pelas epífitas ali presentes, ou escorrer diretamente ao solo. Esse caminho depende das características da vegetação, como ranhuras no caule, inclinação dos ramos e densidade da copa. Outra característica importante é a textura do tronco, visto que troncos lisos e sem epífitas possuem um aumento da canalização de água, fazendo com que essa chegue mais rapidamente ao solo.

Os fatores abióticos também têm influência, como a intensidade da chuva e do vento. Essas variáveis associadas contribuem para que a capacidade de escoamento seja diretamente proporcional a densidade da copa e a quantidade de água recebida via precipitação (Friesen, 2020; Zimmermann *et al.*, 2015).

E dessa forma, para inferir corretamente, não se deve olhar unicamente a característica de uma única árvore, mas de todos os seres associados para uma melhor predição. A partir desse processo, o influxo hídrico na base da árvore pode ser superior a 100 vezes a entrada de água via precipitação, contribuindo significativamente para o incremento de águas subterrâneas (Zimmermann *et al.*, 2015).

3.3 Epífitas e sua relação com as plantas hospedeiras

Os seres epifíticos são aqueles que vivem em simbiose com sua planta hospedeira, não dependendo dela para adquirir seus nutrientes e se desenvolver, usam

apenas como substrato para seu crescimento. Foi definida a primeira vez por Mirbel, em 1815, como “Plantas que germinam em outras plantas sem tirar seu alimento delas” (*apud* Zotz, 2016). Sendo assim, uma única árvore pode abrigar diversas espécies, de diferentes grupos taxonômicos, que poderão influenciar no balanço hídrico dos ecossistemas a nível local, e no ciclo da água em escala global devido a suas características funcionais de retenção e repelência hídricas. Além de absorver nutrientes e poluentes atmosféricos, funcionam como sumidouros de carbono terrestre, habitat para diversos animais e participam do processo de sucessão ecológica a partir da formação de substratos sobre os galhos e troncos (Ah-Peng *et al.*, 2017).

Existe uma variação tanto individual quanto populacional na colonização por epífitas, que deve ser levada em conta para inferir corretamente a função dessas para o ecossistema e a montagem das comunidades. A colonização por epífitas pode estar relacionada a características espaço temporais como capacidade de dispersão e fatores estocásticos como quem chega primeiro para a posterior sucessão ecológica, bem como a características das próprias plantas hospedeiras (Vacher *et al.*, 2016). A presença de determinadas formas de vida pode estar associada ao tipo de substrato, neste caso, dos ramos e troncos em interceptar e escoar a água, tornando-as dependentes dessa característica funcional para seu estabelecimento e desenvolvimento (Callaway *et al.*, 2002).

Essa colonização por epífitas possibilita a ocupação de nichos pouco explorados para as plantas, pois ao invés de competirem no solo da floresta, conseguem habitar outros estratos florestais, possibilitando assim a aquisição de recursos (i.e. água e luz), que antes não estariam disponíveis. Mesmo sendo consideradas espécies subordinadas as dominantes, e possuírem uma biomassa inferior à dos vegetais vasculares, o somatório das características pode contribuir ao nível da comunidade a partir do aumento da diversidade filogenética e funcional do ecossistema (Grime, 1998).

3.4 Epífitas e sua relação com a água

As epífitas dominam grande parte dos ambientes terrestres e oferecem um suporte extra para o armazenamento adicional de água no ciclo ecohidrológico. Mesmo

com seu tamanho reduzido possuem a grande capacidade de absorver água (WHC, *Water Holding Capacity*) e por vezes, não são consideradas nos estudos (Ure & Stanton, 2019; Savenije, 2018). Quando são, foca-se principalmente na presença e ausência de determinado grupo, sem levar em conta o *continuum* de espécies e suas relações interespecíficas que ocorrem sobre as plantas hospedeiras (Gay *et al.*, 2015). Como não estão fixadas no solo, existe uma dependência da água provinda da chuva ou de fontes alternativas como a garoa e a neblina que é interceptada pelas epífitas para que essas consigam exercer suas funções fisiológicas (Hietz, 2010).

Quanto aos mecanismos de regulação hídricas, são divididas em dois grupos: as poiquilohídricas (líquens e plantas não vasculares), que não possuem a capacidade de controlar a aquisição da água de forma ativa, ou seja, realizam a absorção de água e nutrientes diretamente do ambiente sem estruturas especializadas. Sendo assim, o conteúdo de água e a capacidade de realizar fotossíntese depende diretamente da disponibilidade deste recurso (Ure & Stanton, 2019). As epífitas não vasculares podem ter um melhor desempenho em locais com água em abundância, seja na forma líquida ou através da precipitação oculta como a neblina em florestas nebulares, por exemplo, uma vez que a cutícula fina permite a entrada de água de forma passiva (Hietz, 2010).

Foi demonstrado por Pypker (2006) em uma análise laboratorial que líquens foliosos, líquens fruticosos e briófitas podem absorver, respectivamente, 2.2, 3.4, e 10 vezes o conteúdo de água comparados a sua massa seca. Desta forma, a água retida é liberada vagarosamente de volta a atmosfera, o que pode contribuir com a manutenção do microclima e da umidade tanto no nível do dossel, quanto na floresta como um todo (Ure & Stanton, 2019).

Já as homohídricas (plantas vasculares) apresentam estruturas especializadas para manutenção do potencial hídrico, sejam estas relacionadas à reserva ou a redução da perda para o meio (Hamashi, 2013).

Em florestas de coníferas nas regiões temperadas, Barbour (2005) demonstrou que a contribuição das epífitas foi responsável por 25% da evaporação total do ecossistema. Em Florestas Tropicais Nebulares, a biomassa de epífitas pode ser superior a biomassa foliar e, devido a sua capacidade de retenção através de fontes alternativas, sua contribuição passa a ser essencial para o ciclo hidrológico no nível do dossel, principalmente nessas regiões onde há um incremento substancial de água em

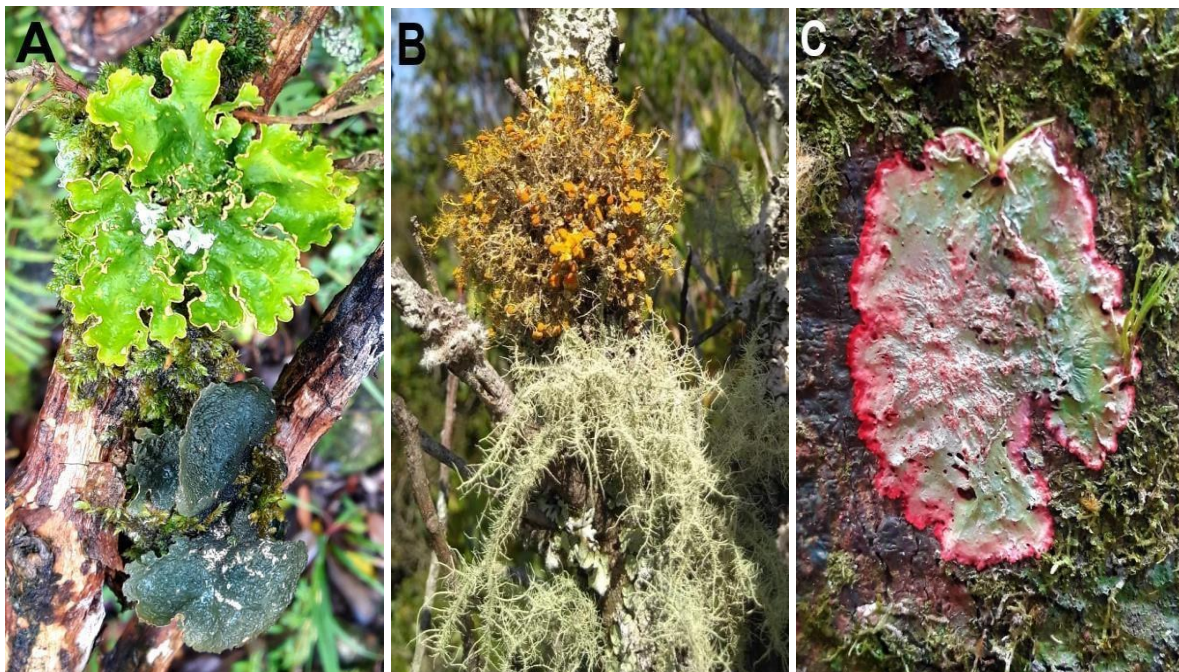
forma de vapor (Hietz, 2010). Porém, pouco se sabe como a organização multiestrutural da comunidade de epífitas, onde suas associações geram um balanço entre os *feedbacks* negativos e positivos, podem contribuir para o ciclo da água (Gay *et al.*, 2015).

3.4.1 Líquens

Os líquens são simbiotes obrigatórios formados pela associação entre um fungo e algas e/ou cianobactérias. Absorvem água e nutrientes diretamente da atmosfera (poiquilohídricos), liberando de forma passiva e gradual, contribuindo para a manutenção do microclima e a disponibilidade desse recurso (Ure & Stanton, 2019; Woods, 2012; Jovan *et al.*, 2012). Colonizaram grande parte dos ambientes terrestres, desde as Florestas Tropicais às Tundras Árticas, podendo crescer em diversos tipos de substratos, como as folhas, tronco, solos e rochas.

Devido às variadas propriedades associadas a forma de crescimento e a morfologia do tálus (Figura 2), os foliosos e fruticulosos podem reter uma quantidade de água superior a cinco vezes a sua massa corporal, tanto internamente nas hifas, quanto externamente no córtex, enquanto os líquens crustosos possuem uma maior capacidade de repelência hídrica devido à presença de hidrofobinas em sua superfície (Ure & Stanton, 2019).

Figura 2- Diferenças morfológicas entre líquens



Legenda: Os líquens são divididos em grupos de acordo com a morfologia de seu tálus, sendo denominado folioso (A), fruticoso (B) e crustoso (C). As fotos foram tiradas na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Chapadão da Serra Negra, Mata Atlântica - Minas Gerais (A e C) e Parque Nacional de Itatiaia, Campos de Altitude - Rio de Janeiro (B).

(Fonte: a autora, 2019)

Os clorolíquens (fungos associados a algas) são capazes de absorver água de fontes alternativas, como o orvalho e a neblina, enquanto os cianolíquens (fungos associados a cianobactérias) necessitam de água na forma líquida para sobreviver, crescer e realizar a fotossíntese (Gauslaa *et al.*, 2011). Foi demonstrado por Gauslaa e colaboradores (2011) que os cianolíquens presentes em grande parte das florestas tropicais possuem uma maior capacidade de armazenamento de água, quando comparadas aos clorolíquens, ressaltando a importância do fotobionte na regulação hídrica presente nos líquens. Isso implica em uma maior contribuição na manutenção do microclima, aumentando a umidade do ar após eventos de chuva, contribuindo assim para o balanço hídrico em regiões com grande cobertura destes.

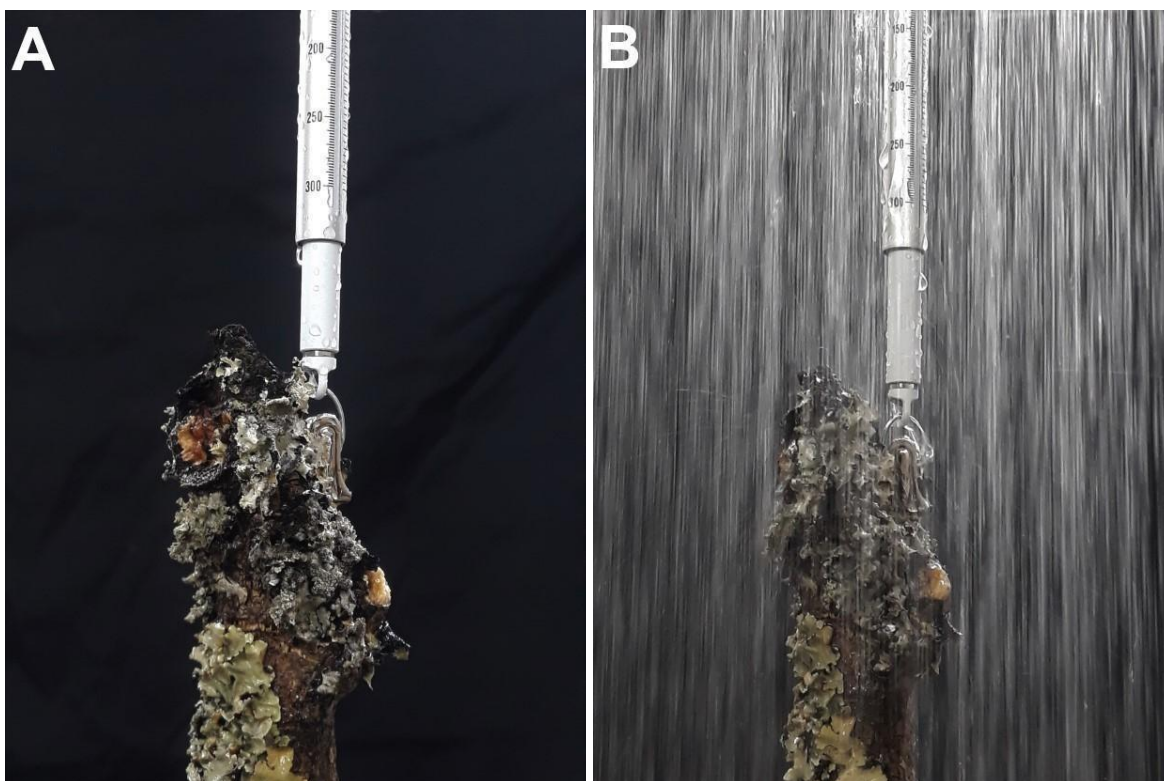
Os líquens possuem um crescimento lento e estão associados ao histórico no

uso da terra, visto que floresta mais maduras têm um maior potencial de abrigar uma maior densidade desses seres. Isso se torna preocupante, visto que o desmatamento e a formação de grandes áreas voltadas à agricultura e pastagem, podem influenciar no potencial deste de se regenerar e contribuir no ciclo da água (Savenije, 2018).

Suas características morfológicas e anatômicas são variáveis, dependendo dos seres que estão associados (algas, fungos e cianobactérias), e portanto, sua função ecohidrológica também varia. Como sugestão para pesquisas envolvendo a ecohidrologia dos líquens, Joseph (2019) apresenta as *Medidas de capacidade de retenção de água* (WHC, *Water Holding Capacity*). O experimento visa comparar a diferença entre a massa úmida e seca de um líquen, proporcional à sua área bidimensional, com a finalidade de saber a quantidade de água retida por unidade de área. A taxa de secagem é calculada a partir da velocidade de perda d'água durante determinado período de tempo (Figura 3). Como resultado, ele encontrou que existe uma forte relação entre a capacidade de retenção e a massa específica do talo, não havendo diferença significativa entre as espécies estudadas (*Evernia mesomorpha*, *Usnea subfloridana*, *Usnea hirta*), demonstrando uma convergência nas características funcionais relacionadas à hidrologia.

A modelagem numérica é outra forma para se medir a capacidade de interceptação dos líquens, que por vezes não são considerados nos estudos, levando a uma subestimativa dos processos (Savenije, 2018). Ambas as técnicas são promissoras, principalmente devido a capacidade de se comparar táxons em diferentes escalas espaço temporais, medindo a capacidade de retenção e liberação de água para atmosfera.

Figura 3- Medidas de capacidade de retenção de água



Legenda: Imagem ilustrativa das medidas de capacidade de retenção de água (WHC, *Water Holding Capacity*), onde inicialmente é medido o peso seco do ramo contendo a amostra (A) com o auxílio de uma pesola e em seguida é submetido ao molhamento para se calcular o peso após a saturação (B). Com isso é possível medir a quantidade de água interceptada e retida no ramo, que pode conter apenas líquens ou todas as epífitas associadas. Com esse experimento, também é possível medir a velocidade de escoamento da água.

Fonte: A autora, 2019.

Dessa forma, a identidade em si do líquen não é o mais importante, mas o efeito combinado da comunidade epifítica sobre o ciclo ecohidrológico. Para estudos complementares, pode-se usar medidas simples de biomassa ou porcentagem de cobertura para estimar efeito ecossistêmico para o ciclo da água.

Os líquens funcionam também como sumidouros de poluição atmosférica, que podem ser lixiviados a partir da chuva ou ficarem estocados, se tornando disponíveis após chegarem ao solo pelo processo de decomposição. Visto que eles são mais dominantes em galhos mortos, a disponibilização para a ciclagem desse nutriente está

relacionada à queda do ramo, o que pode variar dependendo da composição da vegetação (Woods, 2012). Os líquens epifíticos são sensíveis ao aumento na concentração de nitrogênio, podendo ser substituídos por outras comunidades mais resistentes, caso haja um aumento na deposição desse mineral. Isto poderia gerar uma grave consequência, visto que se reduziria o potencial de contribuição no ciclo ecológico (Jovan *et al.*, 2012).

3.4.2 Briófitas

As Briófitas possuem a capacidade de absorver e armazenar água diretamente do ambiente devido a suas características morfológicas e anatômicas, onde a água passa por difusão através de suas células, podendo ficar retida tanto externamente entre os rizódios quanto internamente em suas papiloidades, que variam de acordo com a espécie (Ah-Peng *et al.*, 2017). Essa água armazenada contribui significativamente na manutenção da umidade local, principalmente em locais em que a abundância epifítica de briófitas é de cerca de 75% da cobertura vegetal, como é o caso das Florestas Tropicais Alto Montanas (TMCF). Em períodos em que a precipitação está ausente, são capazes de absorver água da nuvem e da neblina, disponibilizando-a através da evaporação, contribuindo assim com esse efeito ecossistêmico (Ah-Peng *et al.*, 2017). Neste estudo, Ah-Peng e colaboradores (2017) avaliam a capacidade de interceptação de água através das nuvens (excluindo-se a precipitação) e sua disponibilização para o meio a partir da evaporação. Demonstraram que a arquitetura dos seres epifíticos está intimamente relacionada ao potencial ecológico das briófitas, fazendo delas elementos cruciais na reserva e liberação de água para a atmosfera.

Após a saturação, as briófitas começam a gotejar, podendo ainda contribuir para o incremento de água no solo. As espécies usadas no estudo (*Mastigophora diclados*; *Bazzania decrescens*) diferem quantitativamente na capacidade de interceptação e armazenamento (720% vs 1070% do peso seco), devido a suas características anatômicas. Isto sugere a necessidade de uma visão mais integrativa de toda a comunidade epifítica para compreender melhor o funcionamento a nível ecossistêmico.

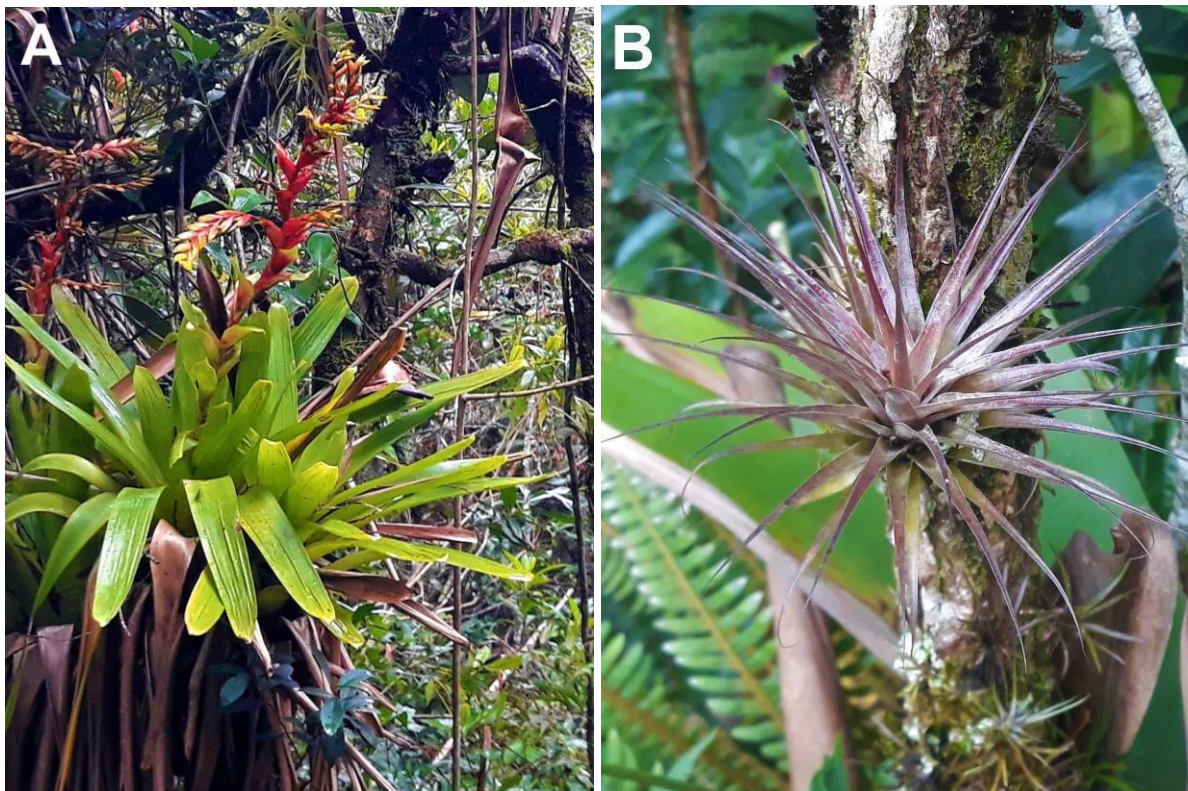
Essa aquisição de água a partir de fontes alternativas pode ser prejudicada com o aumento da elevação das nuvens, levando a um feedback negativo da disponibilidade hídrica e consequentemente aumento da temperatura a nível local (IPCC, 2022).

Ao longo do tempo, as briófitas que crescem sobre os galhos e tronco das árvores vão formando uma cobertura vegetal que durante o processo de decomposição propiciam o desenvolvimento de um solo, o qual contribui para a absorção de água e que servirá como substrato para o desenvolvimento de outras epífitas. Posteriormente, caracterizam um processo de facilitação para o estabelecimento de uma comunidade epifítica através da sucessão ecológica (Hietz, 2010).

3.4.3 Bromélias

As bromélias são epífitas que apresentam diferentes anatomias e capacidade de interceptação e retenção de água da chuva (Hietz, 2010). Os tanques presentes em algumas espécies, como *Vriesea bituminosa* (Figura 4A), *Aechmea aquilega*, *Hohenbergia castelanosii*, *Billbergia amoena*, por exemplo, possuem a capacidade de interceptar e estocar grande quantidade de água por longos períodos de tempo. Para saber qual a capacidade máxima de armazenamento dos tanques de bromélias em restingas, Cogliatti-Carvalho e colaboradores (2010) mediram o armazenamento real das bromélias em campo e compararam com o armazenamento máximo potencial para verificar se a capacidade de armazenamento varia entre os indivíduos e as espécies. Como resultado, foi encontrado que quanto maior a biomassa maior a capacidade de armazenamento, independentemente da espécie. Essa água fica então disponível para a utilização por outros organismos, contribuindo para a disponibilidade hídrica neste ambiente, mesmo em períodos de seca.

Figura 4- Diferenças morfológicas entre bromélias



Legenda: Diferenças morfológicas entre os tipos de bromélia influenciam na sua capacidade de interceptação e retenção hídrica. A, *Vriesea bituminosa*; B, *Tillandsia* sp. Fotografias tiradas na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Chapadão da Serra Negra, Mata Atlântica, Minas Gerais.

Fonte: a autora, 2019

Algumas bromélias como a *Tillandsia* sp. possuem um copo pequeno (Figura 4B), porém podem ter grande contribuição no ciclo ecohidrológico devido a superfície foliar que é coberta por tricomas. Esse gênero chega a interceptar entre 20% a 90% de água quando comparada a vegetação sem epífitas (dependendo da frequência e duração dos eventos de chuvas), em florestas de *Quercus virginiana* Mill. cuja a biomassa de epífitas pode chegar a 70% da cobertura da cobertura vegetal das árvores (Van Stan *et al.*, 2016). Outro estudo usando a *Tillandsia* sp., Gay e colaboradores (2015) destacaram a influência desta, tanto na capacidade de interceptação de água da chuva, como na retenção de nutrientes e poluentes atmosféricos, que são lavados e então lixiviados via *throughfall* e *stemflow*, sendo

devolvidos ao solo. Isto ocorre devido à presença de tricomas e a formação de um substrato a partir da retenção de serapilheira em sua base, o que favorece o acúmulo de água e nutrientes (Gay *et al.*, 2015; Guevara-Escobar *et al.*, 2011). Neste mesmo estudo, constatou-se que a abundância de *Tillandsia* sp. é inversamente proporcional ao *throughfall*, ou seja, quanto mais epífitas, menor a liberação de água para o solo, ficando armazenada sobre o dossel podendo evaporar em seguida. Porém, dependendo de condições abióticas como a temperatura e a intensidade da chuva e do vento a quantidade de água retida pode variar.

Após experimentos em laboratório, Guevara-Escobar e colaboradores (2011) identificaram que existe uma maior interceptação em *Tillandsia recurvata* em eventos de neblina, quando comparados a eventos de chuva, pois conforme chega perto da saturação, seus tricomas ficam colados sobre a superfície foliar, aumentando a repelência hídrica e conforme o aumento do tamanho da gota de água, maior a força da gravidade agindo. Essa absorção de água da névoa e neblina é importante por contribuir com um aumento da umidade local a partir da evaporação, o que reduziria o déficit de pressão de vapor (VPD) nas plantas hospedeiras.

3.4.4 Filosfera: os microrganismos presentes na folha

A presença de seres epifílicos nas folhas inclui bactérias, vírus, fungos, algas e líquens. A presença desses seres pode contribuir com a interceptação de água, nutrientes e poluentes depositados sobre ela, uma vez que podem alterar a capacidade de retenção ou repelência das folhas (Holder, 2007a). Muitos desses organismos são quimioheterotróficos, ou seja utilizam os minerais como fonte de energia, absorvendo os compostos via deposição seca ou úmida, metabolizando-os, transformando-os em formas que podem ser utilizadas (ex: Nitrogênio orgânico). Cerca de 50% de sua população é lavada a cada evento de chuva, fazendo com que esses nutrientes se tornem disponíveis no solo da floresta (Woods *et al.*, 2012).

Essa biodiversidade também influencia no efeito de absorção de água pela folha (FWU, *Foliar Water Uptake*), devido às características de repelência e retenção de cada ser encontrado sob a superfície foliar (Rosado e Almeida, 2020). Essa característica

pode influenciar no balanço hídrico da planta, aumentando ou reduzindo a absorção de água e por isso devem ser considerados nos estudos, uma vez que em florestas tropicais podem ocupar grande parte da superfície foliar (Figura5).

Figura 5- Biodiversidade encontrada na filosfera



Legenda: Figura ilustrativa da diversidade de epífilas presente em folhas do sub bosque coletadas do Parque Nacional da Tijuca, Mata Atlântica, Rio de Janeiro. É possível observar a presença de diversos tipos de líquens (crustosos e foliosos), algas e briófitas cobrindo quase toda a superfície foliar.

Fonte: a autora, 2022

Essas relações por vezes são antagônicas, como é o caso das briófitas que podem reter grande quantidade de água em seu interior, favorecendo um microclima mais úmido, enquanto alguns líquens, por possuírem substância hidrofóbicas (hidrofobinas), podem repelir essa água da superfície foliar (Almeida, 2018). Sendo assim, a associação desses seres teria um efeito no balanço final da capacidade de

absorção de água pela folha, bem como em sua capacidade de interceptação, quantidade de água disponível para evaporação e o escoamento para o solo via *throughfall*. Portanto, é necessário compreender o balanço entre os diversos seres presentes na superfície foliar, para então calcular as estimativas em locais com alta cobertura da filosfera.

A comunidade epifítica é então moldada de acordo com as pressões seletivas externas como as características abióticas (temperatura e umidade) que variam localmente, bem como a partir das pressões seletivas internas que ocorrem através das interações bióticas entre os seres presentes na folha (Violle *et al.*, 2012), porém são pouco estudadas quanto ao efeito combinado para o ciclo ecohidrológico. Para compreender melhor sobre as relações entre a filosfera e o ciclo ecohidrológico, veja o Apêndice E.

3.5 Holobionte: o que é um indivíduo?

A organização dos seres vivos se dá do micro ao macro. Para Stuart Kauffman (2000) a definição de vida tem a ver com autonomia e um ser vivo, portanto, seria um “agente autônomo, capaz de agir em seu próprio nome”. Em organismos multicelulares a célula funciona tanto para sua própria sobrevivência bem como para o funcionamento do organismo como um todo, formando os tecidos, que compõem os órgãos, onde seu conjunto formam os sistemas, que compõem o indivíduo multicelular. Os indivíduos da mesma espécie, ou seja, com genoma semelhante, em um mesmo local formam uma população, enquanto várias populações de espécies diferentes compõem uma comunidade, onde as interações interespecíficas formam um ecossistema. Todos os ecossistemas juntos e os seres vivos que nele habitam formam a biosfera.

O conceito de indivíduo carrega consigo a ideia de unidade, aquilo que não pode ser dividido (Oxford Languages) e é determinado pelas características genéticas presentes nos genes que serão manifestadas (Iglesias-Rios, 2019). Porém, essa é uma visão reducionista das partes. Em uma visão mais holística, os indivíduos funcionam juntos, através de mecanismos de cooperação (simbiose), se tornando uma única

entidade dinâmica, formando o chamado Holobionte (Vandenkoornhuyse, 2015). Para Wilson e Sober (1989) deve-se levar em conta a ideia de superorganismo, o qual funcionaria então como uma unidade funcional, podendo ser a associação de organismos multiespécies (comunidade). Portanto, é nesse conjunto que ocorre o processo de seleção natural e a passagem pelos filtros ambientais, como é o caso dos líquens, que por si só são uma simbiose obrigatória entre um fungo e/ou alga e cianobactéria, contribuindo assim para o ecossistema como um todo,.

Outro exemplo que podemos citar é o caso da mitocôndria e dos cloroplastos, onde um ser procarionte ancestral foi fagocitado se tornando parte do indivíduo, e hoje, sem essas organelas é impossível realizar a respiração celular e a fotossíntese, respectivamente, nos organismos eucariontes, sendo fundamental para evolução da vida e o surgimento de novas espécies a partir da simbiogênese (Margulis, 1993). Outras associações entre microrganismos e seres vivos podem ser descritas, como é o caso das bactérias intestinais dos vertebrados, que são cruciais para o funcionamento do organismo da maioria dos animais, contribuindo para a digestão de alimentos que o próprio organismo hospedeiro não seria capaz de realizar sozinho (Iglesias-Rios, 2019; Zilber-Rosenberg e Rosenberg, 2008). Dessa forma, a colaboração (ou facilitação) seria um processo mais influente do que a competição na montagem das comunidades biológicas.

As plantas, assim como os animais, abrigam uma diversidade inimaginável de microrganismos, das raízes as folhas, dentro e fora, com uma abundância tamanha que pode superar a quantidade de células do próprio hospedeiro (Zilber-Rosenberg e Rosenberg, 2008). Os fungos micorrízicos, por exemplo, desempenham papel crucial na absorção de nutrientes, bem como podem ter contribuído com o processo evolutivo, onde as plantas passaram a habitar o ambiente terrestre, pois a sua associação, juntamente com a dinâmica do solo, pode favorecer a perpetuação das espécies (Vandenkoornhuyse, 2015). Os microrganismos endofíticos, ou seja, presentes no interior da planta, podem ainda modular a resposta de defesa, liberando compostos químicos que aumentam a saúde e, portanto, contribuem para a manutenção da vida (Friesen *et al*, 2011).

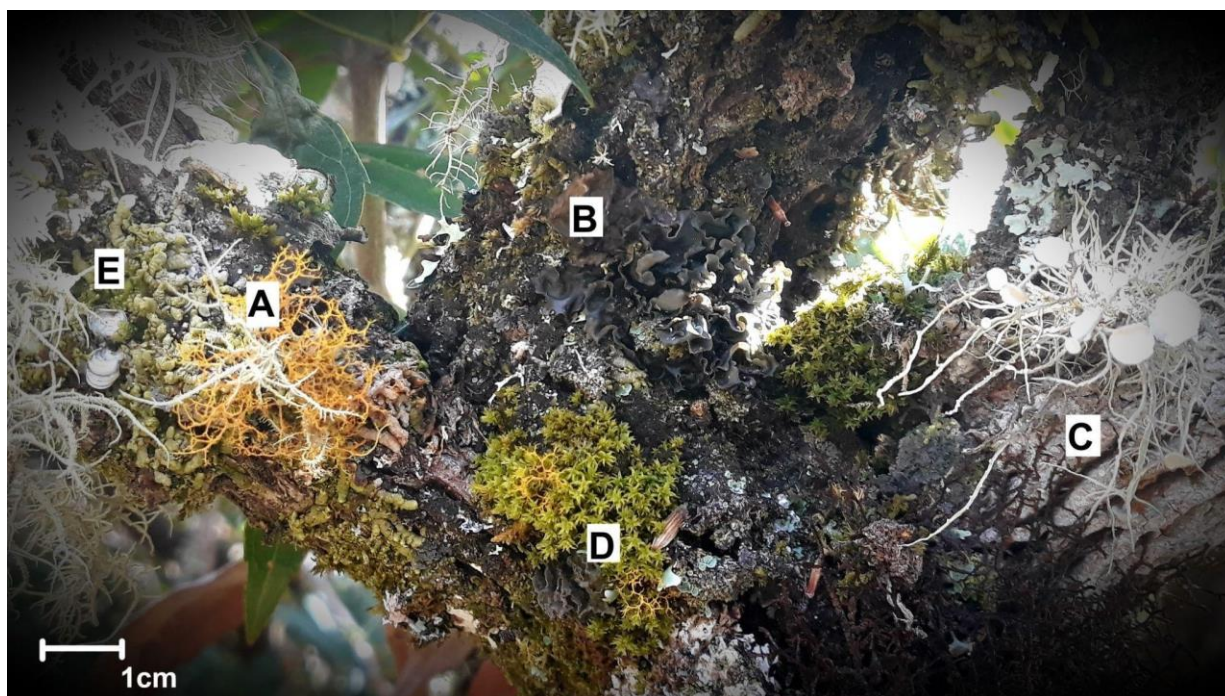
Desta forma, o processo de evolução passa a agir sobre esse organismo como um todo. As pressões dos filtros ambientais são exercidas nesse holobionte, ou seja,

no conjunto de características funcionais da espécie hospedeira e de seus organismos associados, onde *designs* alternativos entre espécies e táxons diferentes formam essa unidade funcional (Dias *et al.*, 2019). Sendo assim, a Teoria da Evolução do Hologenoma propõe que a unidade de seleção evolutiva deixa de ser o indivíduo *per si* e passa a ser essa comunidade viva e dinâmica, que opera em conjunto entre feedback positivos e negativos, contribuindo para os efeitos ecossistêmicos e possibilitando a perpetuação das espécies e, por conseguinte, das comunidades (Zilber-Rosenberg e Rosenberg, 2008). Essa característica adaptativa de simbiose pode, portanto, ter contribuído com a diversidade biológica encontrada na natureza.

Vários serviços ecossistêmicos realizados pelas florestas são dependentes da biodiversidade filogenética e funcional encontrada na comunidade vegetal, como a distribuição e purificação da água, a regulação climática e a proteção do solo (Van Stan, 2017). Sendo assim, a contribuição do holobionte deve ser considerada no influxo hídrico dos ecossistemas, uma vez que a interação entre eles pode alterar a velocidade de escoamento através do *throughfall* e *stemflow*, a quantidade de água que irá percolar e recarregar os aquíferos subterrâneos, bem como a água que será interceptada e voltará ao ciclo através da evaporação, o que pode contribuir com a manutenção da umidade e temperatura local e regional.

O todo pode ser muito maior do que a soma das partes (Figura 6). Grande parte dos estudos descritos nesta dissertação focam em uma espécie ou em um táxon, ignorando as interações entre eles no funcionamento do ecossistema. A unidade individual e a identidade taxonômica, portanto, podem ser menos fundamentais do que o balanço que ocorre a partir da comunidade biológica presente em um único indivíduo, o dito holobionte. A partir do levantamento bibliográfico realizado neste estudo, não foi encontrado nenhum trabalho correlacionando o holobionte com o efeito ecohidrológico, e por isso, é recomendado que mais pesquisas sejam realizadas considerando todo o conjunto de espécies envolvidas no ciclo da água e quais seus efeitos a nível ecossistêmico.

Figura 6- O holobionte vegetal



Legenda: Tronco coberto por epífitas nos Campos de Altitude do Parque Nacional de Itatiaia - Rio de Janeiro. É possível observar diferentes tipos de líquens fruticulosos (A), foliosos (B), crustosos (C) e briófitas (D e E) cobrindo quase toda a superfície.

Fonte: A autora, 2020

CONCLUSÃO

Na rede da vida não existe centro ou periferia, tudo faz parte do todo. Ao se pensar em perspectivas futuras, tendo em vista as mudanças climáticas previstas pelo IPCC (2022), onde, em sua melhor perspectiva haverá um aumento de 1,5°C na temperatura planetária até 2030, o aquecimento global vai intensificar os eventos de seca e chuva concentradas, tornando o ciclo hidrológico cada vez mais instável e variável, alterando o período e a frequência de monções (chuvas de verão no Brasil) e intensificando os eventos de seca. Como consequência, lugares com déficit hídrico, sofrerão cada vez mais com a falta de água, enquanto locais mais úmidos sofrerão com inundações, afetando diretamente a vida da população. Além disso, espera-se que os sumidouros de carbono, como é o caso das florestas, que absorvem as emissões de CO₂ diminuam essa atividade conforme o aumento do CO₂ atmosférico, sendo mais incerto ainda o cenário terrestre. O desmatamento também contribui significativamente para redução dessa captura de CO₂, gerando um *feedback* negativo: quanto menos árvores, menor é o sequestro de CO₂ o que leva a um aumento da temperatura. Outro *feedback* que é importante ressaltar, visto que o aumento da seca contribui para o incremento de biomassa seca no solo, é que poderá haver um aumento na incidência de incêndios e, conseqüentemente, a degradação da vegetação, contribuindo também para o aumento da temperatura. Portanto, entender como funciona o ciclo hidrológico e qual o efeito da vegetação nos ecossistemas é crucial para formulação de políticas públicas para a preservação da qualidade de vida, tanto dos seres humanos quanto da natureza como um todo.

Pensando nisso, esse estudo traz uma visão ecossistêmica do ciclo hidrológico, servindo de base para pesquisas futuras a respeito desse tema. Em determinados locais, a abundância de epífitas chega a ser maior do que a biomassa foliar, o que pode contribuir para a manutenção de um microclima (i.e. temperatura e umidade) a partir da disponibilidade hídrica devido a capacidade do holobionte de interceptar e reter grandes quantidades de água, podendo ser liberada para a atmosfera via evaporação ou ser disponibilizada ao solo via *stemflow* e *throughfall* após sua saturação. Por isso, deve-se levar em conta o conceito de holobionte, onde a interação entre as espécies é a chave

crucial tanto para compreender o funcionamento dos ecossistemas quanto para se pensar medidas de reestruturação e reconstrução destes. Para isso, as pesquisas experimentais tanto em campo quanto em laboratório, bem como as modelagens computacionais, devem levar em conta esse *continuum* de formas de vida associadas às plantas hospedeiras, que juntas fornecem funções ecológicas importantes para a biosfera (Conde-Pueyo *et al.*, 2020).

Ao se falar em preservação dos ecossistemas, a abundância de epífitas está diretamente relacionada à idade da floresta, visto que árvores mais velhas possuem uma maior biomassa, já que o processo de colonização e estabelecimento está diretamente relacionado ao tempo necessário para o desenvolvimento desses seres, que na maior parte das vezes possuem crescimento lento. Por isso, há necessidade de focar principalmente em florestas maduras e com grande biomassa vegetal, como a Mata Atlântica, a Floresta Amazônica e as Florestas Nubladas em estudos posteriores envolvendo o holobionte o seu efeito ecotológico.

É fundamental a criação de unidades de conservação, porém, só a preservação já não é mais suficiente para frear os impactos das mudanças climáticas, pois estamos frente a uma Emergência Climática. A precipitação e a temperatura são fatores abióticos cruciais no padrão de distribuição e dispersão das espécies, bem como em sua extinção, por isso devemos pensar em medidas de restaurar os ecossistemas e, consequentemente, os serviços prestados por eles. Para isso, é fundamental a articulação entre entidades federais, privadas, sociais e o investimento em pesquisa para o desenvolvimento de estratégias de regeneração dos ecossistemas para então mitigar os impactos já causados pelo ser humano.

A ONU, na tentativa de reparar os danos, declarou essa década (2021-2030) como *A Década das Nações Unidas da Restauração de Ecossistemas*, cujo objetivo é criar mecanismos para mitigar os impactos antrópicos e desenvolver estratégias de recuperação das áreas já degradadas.

Existe também a necessidade dos grandes centros urbanos se integrarem nesse processo, uma vez que retém muito calor e são atingidos diretamente pelas consequências (alagamentos, deslizamentos de terra, aumento do nível do mar, ondas de calor superiores a 1,5°C). Através da educação e conscientização da população, associado ao aumento do número de espécimes vegetais e a criação de novas saídas,

como associar plantas com alta capacidade de absorção de água e CO₂ as construções (i.e. telhados verdes, áreas verdes urbanas, agroflorestas) e a recuperação de áreas degradadas, principalmente em encostas onde os deslizamentos de tornarão mais frequentes.

Precisamos compreender a causa para agirmos pensando na fonte dos problemas, não apenas em suas consequências. O planeta é um só, e todos estamos passando por essa tempestade juntos. As medidas não podem mais ser apenas locais, é necessário a compreensão da interconexão do todo para entendermos o fato de que desmatar a Amazônia impacta diretamente na chuva no Sudeste, por exemplo (Lovejoy & Nobre, 2018).

Portanto, a ideia que prevalece neste estudo é a integração dos componentes da biosfera, onde deve-se levar em conta a ideia do holobionte tanto para o ciclo ecohidrológico, como para uma compreensão das interrelações dos seres vivos como um todo. É importante não dissociar o ser humano do resto, mas integrá-lo como parte do sistema vivo e, através da conscientização, trazer a compreensão de que somos responsáveis pela preservação da integridade da biosfera, dos seus sistemas e de seu funcionamento. É fundamental prezar por todos os seres, independentemente de sua identidade, por entender que todos possuem a importância intrínseca do ser, agindo colaborativamente em prol da regulação e manutenção da vida.

REFERÊNCIAS

AH-PENG, C. *et al.* (2017). *The role of epiphytic bryophytes in interception, storage, and the regulated release of atmospheric moisture in a tropical montane cloud forest*. Journal of Hydrology, v. 548, p. 665–673. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.03.043.

ALMEIDA, L.C. (2018). *Avaliação do efeito de organismos epifílicos no processo de decomposição*. Dissertação de mestrado PPGEE, UERJ. 121 f.

ANDEREGG, W. R. L. *et al.* (2020). *Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests*. Science, v. 368 (6497), p. eaaz7005.

ASBJORNSEN, H. *et al.* (2011). *Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review*. Journal of Plant Ecology, v. 4(1-2), p. 3-22.

BARBOUR, M. *et al.* (2005). *Components of ecosystem evaporation in a temperate coniferous rainforest, with canopy transpiration scaled using sapwood density*. New Phytol. v. 165 (2), p. 549–558.

BURGESS, S. S. (2011). *Can hydraulic redistribution put bread on our table?*. Plant and Soil, v. 341, n. 1, p. 25-29.

CALLAWAY, R. M. *et al.* (2002). *Epiphyte host preferences and host traits: mechanisms for species-specific interactions*. Oecologia, v. 132(2), p. 221–230. doi:10.1007/s00442-002-0943-3.

CALVO, P. *et al.* (2020). *Plants are intelligent, here's how*. Annals of Botany, v. 125, n. 1, p. 11-28.

CARETTA, M. A. *et al.* (2022). *Water*. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

CARTHEY, A. J. R. *et al.* (2019). *Conserving the holobiont*. Functional Ecology. v. 34(4), p. 764-776. doi:10.1111/1365-2435.13504.

CAVALLARO, A. *et al.* (2020). *Foliar water uptake in arid ecosystems: seasonal variability and ecophysiological consequences*. Oecologia. v. 193(2), p. 337-348. doi:10.1007/s00442-020-04673-1.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. (2009). *Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades*. Biota Neotropica, v. 9, p. 93-103.

COGLIATTI-CARVALHO, L. *et al.* (2010). *Volume de água armazenado no tanque de bromélias, em restingas da costa brasileira*. Acta Botanica Brasilica, v. 24, p. 84-95. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000100009>.

CONDE-PUEYO, N. *et al.* (2020). *Synthetic Biology for Terraformation Lessons from Mars, Earth, and the Microbiome*. Life, v. 10(2), p. 14. doi:10.3390/life10020014.

CORRÊA DIAS, A. T. *et al.* (2019). *Alternative plant designs: consequences for community assembly and ecosystem functioning*. Annals of Botany. v. 125(3), p. 391-398. doi:10.1093/aob/mcz180.

DEANE-COE, K. K.; STANTON, D. (2017). *Functional ecology of cryptogams: scaling from bryophyte, lichen, and soil crust traits to ecosystem processes*. New Phytologist, v. 213 (3), p. 993-995.

DELPHIS F. L. *et al.* (2017). *Throughfall drop size distributions: a review and prospectus for future research*. WIREs Water 2017, v. 4: e1225. doi: 10.1002/wat2.1225.

FRIESEN, M. L. *et al.* (2011). Microbially mediated plant functional traits. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 42(1), p. 23–46.

FRIESEN J. (2020) *Flow Pathways of Throughfall and Stemflow Through the Subsurface*. In: Precipitation Partitioning by Vegetation. Springer, Cham, p 215-228.

GAUSE, G. F. (1932). *Experimental studies on the struggle for existence*. Journal of experimental biology, v. 9(4), p. 389–402.

GAUSLAA, Y.; COXSON, D. (2011). *Interspecific and intraspecific variations in water storage in epiphytic old forest foliose lichens*. Botany, v. 89(11), p. 787–798. doi:10.1139/b11-070.

GAY, T. E. *et al.* (2015). *Throughfall alterations by degree of Tillandsia usneoides cover in a southeastern US Quercus virginiana forest*. Canadian Journal of Forest Research, v. 45(12), p. 1688–1698. doi:10.1139/cjfr-2015-0233.

GLINSKI, D. A. *et al.* (2018). *Analysis of pesticides in surface water, stemflow, and throughfall in an agricultural area in South Georgia, USA*. Chemosphere, v. 209, p. 496–507. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.06.

GRIME, J. P. (1998). *Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects*. Journal of Ecology, v. 86(6), p. 902–910. doi:10.1046/j.1365-2745.1998.00306.x.

GRIME, J. P. (2006). *Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: mechanisms and consequences*. Journal of vegetation science, v.17(2), p. 255-260.

GUEVARA-ESCOBAR, A. *et al.* (2011). *Fog interception by Ball moss (Tillandsia*

recurvata). Hydrology and Earth System Sciences, v. 15(8), p. 2509–2518. doi:10.5194/hess-15-2509-2011.

HAMACHI, L. (2013). *Mecanismos de Mitigação do Déficit Hídrico em Plantas Vasculares*. In: Botânica no Inverno 2013 / Org. de Alejandra Matiz Lopez [et al.]. – São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012. 202 p.

HAUCK, M. et al. (2011). *Small increase in sub-stratum pH causes the dieback of one of Europe's most common lichens, Lecanora conizaeoides*. Annals of Botany, v. 108(2), p. 359–366. doi:10.1093/aob/mcr136.

HIETZ, P. (2010). *Ecology and ecophysiology of epiphytes in tropical montane cloud forests*. In: Bruijnzeel, L.A., Scatena, F.N., Hamilton, L.S. (Eds.), Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management. Cambridge University Press, New York, p. 67–76.

HOLDER, C. D. (2007b). *Leaf Water Repellency as an Adaptation to Tropical Montane Cloud Forest Environments*. Biotropica, v. 39(6), p. 767–770. doi:10.1111/j.1744-7429.2007.00303.x.

HÖLSCHER, D. et al. (2004). *The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica*. Journal of Hydrology, v. 292 (1-4), p. 308-322.

HULSHOF, C. M. et al. (2020). *Trait-based signatures of cloud base height in a tropical cloud forest*. American Journal of Botany, v. 107 (6), p. 886-894.

IGLESIAS-RIOS, R. (2019). *Capitaloceno: a era da barbárie*. Yelow Carbo Design e Publishing. Rio de Janeiro.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. (2014). *Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives*. New phytologist, v. 204 (3), p. 459-473.

KAUFFMAN, S. (2000). *Investigations*. Oxford University Press. New York. 287 f.

KERSTEN, R. de A. (2010). *Epífitas vasculares: histórico, participação taxonômica e aspectos relevantes, com ênfase na Mata Atlântica*. Hoehnea, 37(1), 09–38. doi:10.1590/s2236-89062010000100001

KINKEL, L. L. *et al.* (1987). *Leaves as islands for microbes*. *Oecologia*, v. 71(3), p. 405–408. doi:10.1007/bf00378714.

KORICHEVA, J., GUREVITCH, J., & MENGERSEN, K. (Eds.). (2013). *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton University Press

KNOLL, D., & SCHREIBER, L. (2000). *Plant–Microbe Interactions: Wetting of Ivy (Hedera helix L.) Leaf Surfaces in Relation to Colonization by Epiphytic Microorganisms*. *Microbial Ecology*, v. 40(1), p. 33–42. doi:10.1007/s002480000012.

KRENAK, A. A. L. (2020). *O amanhã não está à venda*. 1ªed. São Paulo: Companhia das letras.

KRENAK, A. A. L. (2020). *A vida não é útil*. 1ªed. São Paulo: Companhia das letras.

LAMBAIS, M. R. *et al.* (2017). *Phyllosphere metaproteomes of trees from the Brazilian Atlantic forest show high levels of functional redundancy*. *Microbial ecology*, v. 73(1), p. 123–134.

LEMORDANT, L. *et al.* (2018). *Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO₂*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115(16), p. 4093–4098. doi:10.1073/pnas.1720712115.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. (2018) *Amazon tipping point*. Editorial. *Science Advances*, [S, l.], v. 4(2), p. 1.

MARGULIS, L. *et al.* (1990) *Handbook of Protozoa: the structure, cultivation, habitats, and life histories of the eukaryotic microorganisms and their descendants exclusive of animals, plants and fungi*. Boston. MA: Jones & Banlett. p. 914.

MARGULIS, L. (1993) *Symbiosis in Cell Evolution: Microbial Communities in the Archean and Proterozoic Eons*. 2nd ed. W.H. Freeman and Co., New York.

MARTINEZ-VILALTA. *et al.* (2019). *Greater focus on water pools may improve our ability to understand and anticipate drought-induced mortality in plants*. *New Phytologist*. v. 223 p. 22–32.

MCDOWELL, N. G.; BRODRIBB, T. J.; NARDINI, A. (2019). *Hydraulics in the 21st century*. *New Phytologist*, v. 224, n. PNNL-SA-147698.

MCDOWELL, N. G. *et al.* (2020). *Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world*. *Science*, v. 368 (6494), p. eaaz9463.

MEŽAKA, A. *et al.* (2022). *Life on a leaf: The development of spatial structure in epiphyll communities*. *Journal of Ecology*, v. 110, n. 3, p. 619–630.

MCDOWELL *et al.* (2011). *The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality*. Trends in ecology & evolution (Personal edition), v. 26, p. 523-532.

NADKARNI, N. M. & SUMERA, M. M. (2004). *Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception*. Forest Sci, v. 50, p. 290–98.

OLIVEIRA. *et al.* (2014). *The hydroclimatic and ecophysiological basis of cloud forest distributions under current and projected climates*. Annals of Botany. v. 113, p. 909–920, doi:10.1093/aob/mcu060.

PARMESAN, C. *et al.* (2022). *Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

PAKEMAN, R. J. (2011). *Functional diversity indices reveal the impacts of land use intensification on plant community assembly*. Journal of Ecology, v. 99(5), p. 1143-1151.

PORADA, P.; VAN STAN, J. T.; KLEIDON, A. (2018). *Significant contribution of non-vascular vegetation to global rainfall interception*. Nature Geoscience, v. 11(8), p. 563–567. doi:10.1038/s41561-018-0176-7.

PYPKER, T. G.; UNSWORTH, M. H.; BOND, B. J. (2006a). *The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. I. Laboratory measurements of water storage*. Canadian Journal of Forest Research, v. 36(4), p. 809–818. doi:10.1139/x05-298.

PYPKER, T. G.; UNSWORTH, M. H.; BOND, B. J. (2006b). *The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. II. Field measurements at the branch and canopy scale*. Canadian Journal of Forest Research, v. 36(4), p. 819–832. doi:10.1139/x05-286.

RAVEN, P. H.; EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F. (2014). *Biologia Vegetal*. 8ª Edição. Guanabara Koogan, 867p.

REMUS-EMSERMANN, M. N. P.; SCHLECHTER, R. O. (2018). *Phyllosphere microbiology: at the interface between microbial individuals and the plant host*. New Phytologist, v. 218(4), p. 1327-1333.

ROSADO, B. H. P. *et al.* (2018). *The importance of phyllosphere on plant functional ecology: a phyllo trait manifesto*. New Phytologist, v. 219, p. 1145–1149.

ROSADO, B. H. P. & HOLDER, D. C. (2013). *The significance of leaf water repellency in ecohydrological research: a review*. Ecohydrol. v. 6, p. 150–161.

ROSADO, B. H. P. *et al.* (2010). *Is leaf water repellency related to vapor pressure deficit and crown exposure in tropical forests?* Acta Oecologica, v. 36, p. 645-649. doi:10.1016/j.actao.2010.10.001.

ROSADO, B. H. P. & ALMEIDA, L. C. (2020). *The Importance of Phyllosphere on Foliar Water Uptake.* Trends in Plant Science, v. 25(11), p. 1058-1060. doi:10.1016/j.tplants.2020.09.002.

SAVENIJE, H. H. G. (2018). *Intercepted by lichens.* Nature Geoscience, v. 11(8), p. 548–549. doi:10.1038/s41561-018-0202-9.

SIKORSKA, D. *et al.* (2017). *Variation in Leaf Surface Hydrophobicity of Wetland Plants: the Role of Plant Traits in Water Retention.* Wetlands, v. 37, p. 997–1002. <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0924-2>.

SKUDNIK, M. *et al.* (2015). *Potential environmental factors that influence the nitrogen concentration and $\delta^{15}\text{N}$ values in the moss *Hypnum cupressiforme* collected inside and outside canopy drip lines.* Environmental Pollution, v. 198, p. 78–85. doi:10.1016/j.envpol.2014.12.032.

SVOBODA, J. (1989). *The Reality of the Phytosphere and (Ultimate) Values Involved.* Department of Botany, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada. Ultimate Reality and Meanin, v. 12(2), p. 104-112.

URE, J. D. & STANTON, D. E. (2019). *Co-dominant anatomically disparate lichens converge in hydrological functional traits.* The Bryologist, v. 122(3), p. 463-470. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-122.3.463>.

VACHER, C. *et al.* (2016). *The Phyllosphere: Microbial Jungle at the Plant–Climate Interface.* Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 47(1), p. 1–24. doi:10.1146/annurev-ecolsys-121415-032238.

VAN STAN, J. T. *et al.* (2016). *Modeling Rainfall Interception Loss for an Epiphyte-Laden Quercus virginiana Forest Using Reformulated Static- and Variable-Storage Gash Analytical Models.* Journal of Hydrometeorology, v. 17(7), p. 1985–1997. doi:10.1175/jhm-d-16-0046.1.

VANDENKOORNHUYSE, P. *et al.* (2015). *The importance of the microbiome of the plant holobiont.* New Phytologist, v. 206(4), p. 1196–1206. doi:10.1111/nph.13312.

VIOLLE, C. *et al.* (2012). *The return of the variance: intraspecific variability in community ecology.* Trends Ecol. Evol. v. 27(4), p. 244–52.

WEIBULL, H. (2001). *Influence of tree species on the epilithic bryophyte flora in deciduous forests of Sweden.* Journal of Bryology, v. 23:1, p. 55-66, doi:10.1179/jbr.2001.23.1.55.

WILSON, D. S. & SOBER, E. (1989) *Reviving the superorganism*. J Theor Biol, v. 136, p. 337–356.

WOODS, C. L. *et al.* (2012). *Epiphytes influence of transformation of nitrogen in coniferous forest canopies*. Boreal Environment Research, v. 17, p. 411–424.

WOODS, C. L.; CARDELÚS, C. L.; DEWALT, S. J. (2015). *Microhabitat associations of vascular epiphytes in a wet tropical forest canopy*. Journal of Ecology, v. 103(2), p.421-430.

YANG, T. *et al.* (2012). *Plant symbionts: keys to the phytosphere*. Symbiosis, v. 59(1), p. 1–14. doi:10.1007/s13199-012-0190-2.

ZILBER-ROSENBERG, I. & ROSENBERG, E. (2008). *Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution*. FEMS Microbiology Reviews, v. 32(5), p. 723–735. doi:10.1111/j.1574-6976.2008.00123.x.

ZIMMERMANN, A. *et al.* (2015). *Predictability of stemflow in a species-rich tropical forest*. Hydrological Processes, v. 29(23), p. 4947–4956. doi:10.1002/hyp.10554.

ZOTZ, G. (2016) *Plants on plants-the biology of vascular epiphytes*. Cham: Springer International Publishing. v. 15, p. 282. DOI 10.1007/978-3-319-39237-0_1.

GLOSSÁRIO

Ecohidrologia	Estudo das relações entre a água e os seres vivos e como um influencia no outro
Fitosfera	Todo o conjunto de plantas
Filosfera	Conjunto de organismos que vivem em cima das folhas
Holobionte	Somatório das características do hospedeiro e de todos os seus simbioses que vão passar pelos filtros ambientais
Hologenoma	Soma da informação genética do hospedeiro e dos organismos simbioses
Simbiogênese	Surgimento de novas espécies a partir da simbiose entre organismos
<i>Stemflow</i>	Escoamento de água pelos ramos e tronco
<i>Throughfall</i>	Água que goteja das folhas

APÊNDICE A - Tabela 1: Primeira revisão de artigos a partir do título e resumo

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
1	Williams <i>et al.</i>	2020	Vascular epiphytes show low physiological resistance and high recovery capacity to episodic, short-term drought in Monteverde, Costa Rica	Functional Ecology	Não	Epífitas e a resposta a seca
2	Salemaa <i>et al.</i>	2020	Forest mosses sensitively indicate nitrogen deposition in boreal background areas	Environmental Pollution	Talvez	<i>Throughfall</i> e incremento de nitrogênio
3	Sun <i>et al.</i>	2020	Evolutionary correlation of water-related traits between different structures of <i>Dendrobium</i> plants	Botanical Studies	Sim	Epífitas e retenção de água
4	Gaffney <i>et al.</i>	2020	Ecohydrological change following rewetting of a deep-drained northern raised bog	Ecohydrology	Sim	Briófitas e efeito ecohidrológico
5	Shcherbak <i>et al.</i>	2020	Autotrophic communities' diversity in natural and artificial water-bodies of a river estuary - A case-study of the Dnieper-Bug Estuary, Ukraine	Ecohydrology & Hydrobiology	Não	Ecosistema aquático
6	Bippus <i>et al.</i>	2019	Fossil fern rhizomes as a model system for exploring epiphyte community structure across geologic time evidence from Patagonia	Peerj	Não	Evolução da comunidade de epífitas
7	Hoffman <i>et al.</i>	2019	Nitrogen deposition sources and patterns in the Greater Yellowstone Ecosystem determined from ion exchange resin collectors, lichens, and isotopes	Science of the total environment	Talvez	<i>Throughfall</i> e incremento de nitrogênio
8	Ure & Stanton	2019	Co-dominant anatomically disparate lichens converge in hydrological functional traits	Bryologist	Sim	Líquen epifítico, interceptação e retenção de água

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
9	Shevchenko <i>et al.</i>	2019	Epiphyton of a cascade plain reservoir under different hydrodynamic conditions	Ecohydrology & Hydrobiology	Não	Avaliação em cursos hídricos
10	Kowalska; Pniewski; Latala	2019	DNA barcoding - A new device in phycologist's toolbox	Ecohydrology & Hydrobiology	Não	Sequenciamento de DNA de micro e macroalga
11	Salemaa <i>et al.</i>	2019	N-2 fixation associated with the bryophyte layer is suppressed by low levels of nitrogen deposition in boreal forests	Science of the total environment	Não	Fixação de N
12	Phinney	2019	3D modeling of thallus topography of <i>Lobaria pulmonaria</i> facilitates understanding of water storage pools	Lichenologist	Talvez	Líquen epifítico, interceptação e estocagem de água
13	Marler	2018	Host Tree Identity Influences Leaf Nutrient Relations of the Epiphyte <i>Dendrobium guamense</i> Ames.	Horticulturae	Não	Orquídeas e nutrientes
14	Gauthier; McCarter; Price	2018	The effect of compression on <i>Sphagnum</i> hydrophysical properties: Implications for increasing hydrological connectivity in restored cutover peatlands	Ecohydrology	Sim	Briófitas e funções ecohidrológicas
15	Glinski <i>et al.</i>	2018	Analysis of pesticides in surface water, stemflow, and throughfall in an agricultural area in South Georgia, USA	Chemosphere	Não	Acúmulo de pesticidas
16	Biddick; Hutton; Burns	2018	An alternative water transport system in land plants	Proceedings of the royal society B	Não	Não se trata de epífitas
17	Savenije	2018	Intercepted by lichens	Nature Geoscience	Sim	Líquen e interceptação da chuva
18	Manninen	2018	Deriving nitrogen critical levels and loads based on the responses of acidophytic lichen communities on boreal urban <i>Pinus sylvestris</i> trunks	Science of the total environment	Talvez	Líquen, <i>throughfall</i> e absorção de nitrogênio
19	Sioma; Socha; Klamerus-Iwan	2018	A new method for characterizing bark microrelief using 3D vision systems	Forests	Sim	Epífitas e <i>stemflow</i>

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
20	Sato; Takase; Yamaguchi	2017	Effects of bark washing and epiphytic moss on Cs-137 activity concentration in bark and stemflow in Japanese persimmon (<i>Diospyros kaki</i> Thunb.)	Journal of environmental radioactivity	Talvez	Briófita, <i>stemflow</i> e poluição radioativa
21	Li <i>et al.</i>	2017	A GDSL-motif esterase/acyltransferase/lipase is responsible for leaf water retention in barley	Plant direct	Não	Genética conservativa da cutícula
22	Punnuri <i>et al.</i>	2017	The genes Bm2 and Blmc that affect epicuticular wax deposition in Sorghum are allelic	Crop science	Não	Genética e resistência a estresse biótico e abiótico
23	Ah-Peng <i>et al.</i>	2017	The role of epiphytic bryophytes in interception, storage, and the regulated release of atmospheric moisture in a tropical montane cloud forest	Journal of hydrology	Sim	Briófitas, hepáticas e função ecohidrológica
24	Magyar <i>et al.</i>	2017	Phylogenetic analysis and description of two new species of pollen-parasitic <i>Retiarius</i> (anamorphic Orbiliomycetes)	Nova hedwigia	Não	Filogenia de fungo
25	Matsushita <i>et al.</i>	2017	Changes in the chemical compositions of leaf litter in the canopy of a Japanese cedar plantation	Journal of forest research	Não	Retenção de serrapilheira
26	Watanabe <i>et al.</i>	2016	Microbial nitrification in throughfall of a Japanese cedar associated with archaea from the tree canopy	Springerplus	Não	Nitrificação microbiana
27	Van Stan <i>et al.</i>	2016	Modeling rainfall interception loss for an epiphyte-laden quercus virginiana forest using reformulated static- and variable-storage gash analytical models	Journal of hydrometeorology	Sim	Epífitas, interceptação e estocagem de água
28	Skudnik <i>et al.</i>	2016	Spatial interpolation of N concentrations and delta N-15 values in the moss <i>Hypnum cupressiforme</i> collected in the forests of Slovenia	Ecological indicators	Não	Briófitas e concentração de nitrogênio
29	Goetz & Price	2016	Ecohydrological controls on water distribution and productivity of moss communities in western boreal peatlands, Canada	Ecohydrology	Sim	Briófitas, retenção, distribuição e estocagem de água
30	Morris <i>et al.</i>	2015	Untangling climate signals from autogenic changes in long-term peatland development	Geophysical research letters	Não	Não é epífita

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
31	Meyer <i>et al.</i>	2015	Relevance of canopy drip for the accumulation of nitrogen in moss used as biomonitors for atmospheric nitrogen deposition in Europe	Science of the total environment	Talvez	Briófitas e <i>throughfall</i>
32	Gay <i>et al.</i>	2015	Throughfall alterations by degree of <i>Tillandsia usneoides</i> cover in a southeastern US <i>Quercus virginiana</i> forest	Canadian journal of forest research	Sim	Epífitas, <i>throughfall</i> e águas pluviais
33	Zimmermann <i>et al.</i>	2015	Predictability of stemflow in a species-rich tropical forest	Hydrological processes	Talvez	Epífitas e <i>stemflow</i>
34	Swindles <i>et al.</i>	2015	Testing peatland water-table depth transfer functions using high-resolution hydrological monitoring data	Quaternary science reviews	Não	Não é epífita
35	Skudnik <i>et al.</i>	2015	Potential environmental factors that influence the nitrogen concentration and delta N-15 values in the moss <i>Hypnum cupressiforme</i> collected inside and outside canopy drip lines	Environmental pollution	Não	Briófita e concentração de nitrogênio
36	Koehler <i>et al.</i>	2015	An <i>in situ</i> method to measure and map bark pH	Journal of wood chemistry and technology	Não	pH do tronco
37	Rosengren & Cronberg	2014	The adaptive background of nannandry: dwarf male distribution and fertilization in the moss <i>Homalothecium lutescens</i>	Biological journal of the Linnean society	Não	Fertilização de briófitas dependente da água
38	Skudnik <i>et al.</i>	2014	Influence of canopy drip on the indicative N, S and delta N-15 content in moss <i>Hypnum cupressiforme</i>	Environmental pollution	Talvez	Briófitas, <i>throughfall</i> e concentração de nitrogênio e enxofre
39	Odor <i>et al.</i>	2014	Reprint of: Patterns and drivers of species composition of epiphytic bryophytes and lichens in managed temperate forests	Forest ecology and management	Talvez	Briófitas, líquens e umidade do ar
40	Legates <i>et al.</i>	2014	Using wavelet analysis to examine bark microrelief	Trees-structure and function	Não	Micro relevo do tronco

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
41	Czarnota; Kison; Seelemann	2014	Remarkable records of lichens and lichenicolous fungi from the Harz National Park (Lower Saxony and Saxony-Anhalt, Germany)	Herzogia	Não	Filogenia de líquen
42	Giordan <i>et al.</i>	2014	Detecting the nitrogen critical loads on European forests by means of epiphytic lichens. A signal-to-noise evaluation	Forest ecology and management	Talvez	Líquén, <i>throughfall</i> e deposição de nitrogênio
43	Odor <i>et al.</i>	2013	Patterns and drivers of species composition of epiphytic bryophytes and lichens in managed temperate forests	Forest ecology and management	Não	Artigo duplicado 39
44	Awasthi; Pande; Pande	2013	Bryophyte diversity on <i>Erythrina arborescens</i> in Nainital	Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences	Não	Diversidade de briófitas
45	Fenn <i>et al.</i>	2013	Atmospheric deposition of nitrogen and sulfur and preferential canopy consumption of nitrate in forests of the Pacific Northwest, USA	Forest ecology and management	Não	Não é epífita
46	Dezerald <i>et al.</i>	2013	Food-web structure in relation to environmental gradients and predator-prey ratios in tank-bromeliad ecosystems	Plos One	Talvez	Água na bromélia e teia alimentar
47	Chang <i>et al.</i>	2013	Exploring hydrobiogeochemical processes of floating treatment wetlands in a subtropical stormwater wet detention pond	Ecological engineering	Não	Macrófitas aquáticas em pântano
48	McMurray <i>et al.</i>	2013	Using epiphytic lichens to monitor nitrogen deposition near natural gas drilling operations in the Wind River Range, WY, USA	Water air and soil pollution	Talvez	Líquén, <i>throughfall</i> e deposição de nitrogênio
49	Woods <i>et al.</i>	2012	Epiphytes influence the transformation of nitrogen in coniferous forest canopies	Boreal environment research	Sim	Líquén e interceptação da chuva

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
50	Jovan <i>et al.</i>	2012	Eutrophic lichens respond to multiple forms of N: implications for critical levels and critical loads research	Ecological applications	Talvez	Líquen, <i>throughfall</i> e deposição de nitrogênio
51	Gauslaa & Goward	2012	Relative growth rates of two epiphytic lichens, <i>Lobaria pulmonaria</i> and <i>Hypogymnia occidentalis</i> , transplanted within and outside of Populus dripzones	Botany-botanique	Sim	Líquen e <i>throughfall</i>
52	Vishal; Asthana; Virendra	2012	In vitro propagation of an epiphytic pleurocarpous moss <i>Erythrodontium julaceum</i> (Schwaegr.) Par.	Journal of bryology	Não	Propagação <i>in vitro</i> de briófitas
53	Pascale <i>et al.</i>	2012	Species traits and their non-additive interactions control the water economy of bryophyte cushions	Journal of ecology	Sim	Briófitas e retenção de água
54	Gauslaa & Coxson	2011	Interspecific and intraspecific variations in water storage in epiphytic old forest foliose lichens	Botany-botanique	Sim	Líquen e capacidade de armazenamento de água
55	Oishi	2011	Protective management of trees against debarking by deer negatively impacts bryophyte diversity	Biodiversity and conservation	Não	Não é ecohidrologia
56	Loppi & Baragatti	2011	Influence of the health status of pine trees on the diversity of epiphytic lichens	Nova hedwigia	Talvez	Líquen e capacidade de armazenamento de água
57	Hauck <i>et al.</i>	2011	Small increase in sub-stratum pH causes the dieback of one of Europe's most common lichens, <i>Lecanora conizaeoides</i>	Annals of botany	Não	Redução de líquens em árvores
58	Rowntree <i>et al.</i>	2011	In vitro conservation of European bryophytes	In vitro cellular & developmental biology-plant	Não	Conservação de briófitas in vitro
59	Holwerda; Bruijnzeel; Scatena	2011	Comparison of passive fog gauges for determining fog duration and fog interception by a Puerto Rican elfin cloud forest	Hydrological processes	Não	Não é epífita
60	Révay & Gönczöl	2011	Canopy fungi ("terrestrial aquatic hyphomycetes") from twigs of living evergreen and deciduous trees in Hungary	Nova hedwigia	Não	Diversidade de fungos

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
61	Guevara-Escobar <i>et al.</i>	2011	Fog interception by Ball moss (<i>Tillandsia recurvata</i>)	Hydrology and earth system sciences	Sim	Epífitas e interceptação da névoa
62	Rosado; Oliveira; Aidar	2010	Is leaf water repellency related to vapor pressure deficit and crown exposure in tropical forests?	Acta oecologica-international journal of ecology	Não	Não é epífita
63	Kiraly & Odor	2010	The effect of stand structure and tree species composition on epiphytic bryophytes in mixed deciduous-coniferous forests of Western Hungary	Biological conservation	Não	Não é efeito ecohidrológico
64	Revay & Gonczol	2010	Rainborne hyphomycete conidia from evergreen trees	Nova hedwigia	Não	Diversidade de conídios
65	Lucchese <i>et al.</i>	2010	Organic matter accumulation in a restored peatland: Evaluating restoration success	Ecological engineering	Não	Não é epífita
66	Umana & Wanek	2010	Large canopy exchange fluxes of inorganic and organic Nitrogen and preferential retention of Nitrogen by Epiphytes in a tropical lowland rainforest	Ecosystems	Não	Deposição de nitrogênio
67	Van Stan; Jarvis; Levia	2010	An automated instrument for the measurement of bark microrelief	IEEE transactions on instrumentation and measurement	Não	Micro relevo do tronco
68	Campbell <i>et al.</i>	2010	The influence of overstorey <i>Populus</i> on epiphytic lichens in subboreal spruce forests of British Columbia	Canadian journal of forest research	Não	Presença/ausência de líquens
69	Sridhar & Karamchand	2009	Diversity of water-borne fungi in stemflow and throughfall of tree canopies in India	Sydowia	Não	Diversidade de conídios no <i>throughfall</i> e <i>stemflow</i>
70	Korpela <i>et al.</i>	2009	Airborne small-footprint discrete-return LiDAR data in the assessment of boreal mire surface patterns, vegetation, and habitats	Forest ecology and management	Não	Não é epífita
71	Magyar & Revay	2009	<i>Oncopodium eldeagni</i> , a new hyphomycete from Hungary	Nova hedwigia	Não	Dispersão de fungo por stemflow

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
72	Winkler & Zotz	2009	Highly efficient uptake of phosphorus in epiphytic bromeliads	Annals of botany	Não	Incorporação de fósforo em bromélia
73	Hauck & Javkhlan	2009	Epiphytic lichen diversity and its dependence on bark chemistry in the northern Mongolian dark taiga	Flora	Não	Não é efeito ecohidrológico
74	Hauck & Juergens	2008	Usnic acid controls the acidity tolerance of lichens	Environmental pollution	Não	Líquen e ácido úsnico
75	Ariyanti <i>et al.</i>	2008	Bryophytes on tree trunks in natural forests, selectively logged forests and cacao agroforests in Central Sulawesi, Indonesia	Biological conservation	Não	Não é efeito ecohidrológico
76	Cape	2008	Interactions of forests with secondary air pollutants: Some challenges for future research	Environmental pollution	Talvez	Organismos epifíticos e <i>throughfall</i>
77	Kuehne <i>et al.</i>	2008	Nutrient fluxes via leaching from coarse woody debris in a <i>Fagus sylvatica</i> forest in the Solling Mountains, Germany	Canadian journal of forest research	Não	Não é epífita
78	Leith <i>et al.</i>	2008	The influence of nitrogen in stemflow and precipitation on epiphytic bryophytes, <i>Isothecium myosuroides</i> Brid., <i>Dicranum scoparium</i> Hewd. and <i>Thuidium tamariscinum</i> (Hewd.) Schimp of Atlantic oakwoods	Environmental pollution	Não	Concentração de nitrogênio nas briófitas
79	Hauck	2008	Metal homeostasis in <i>Hypogymnia physodes</i> is controlled by lichen substances	Environmental pollution	Não	Não é efeito ecohidrológico
80	Gomez-Peralta <i>et al.</i>	2008	Rainfall and cloud-water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru	Forest ecology and management	Não	Não é epífita
81	Koehler <i>et al.</i>	2007	Biomass and water storage dynamics of epiphytes in old-growth and secondary montane cloud forest stands in Costa Rica	Plant ecology	Sim	Briófitas e armazenamento de água
82	Sudmeyer & Speijers	2007	Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition	Agroforestry systems	Não	Não é epífita
83	Holder	2007	Leaf water repellency as an adaptation to tropical montane cloud forest environments	Biotrópica	Sim	Epifitas e repelência de água foliar

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
84	Fischer <i>et al.</i>	2007	Monitoring of atmospheric deposition in European forests and an overview on its implication on forest condition	Applied geochemistry	Não	Não é epífita
85	Holder	2007	Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies	Journal of hydrology	Sim	Epífitas e repelência de água foliar
86	Fenn <i>et al.</i>	2007	Atmospheric deposition inputs and effects on lichen chemistry and indicator species in the Columbia River Gorge, USA	Environmental pollution	Não	Deposição de nitrogênio
87	Dietz <i>et al.</i>	2007	Vertical patterns and duration of surface wetness in an old-growth tropical montane forest, Indonesia	Flora	Sim	Epífitas e molhamento foliar
88	Hauck; Helms; Friedl	2007	Photobiont selectivity in the epiphytic lichens <i>Hypogymnia physodes</i> and <i>Lecanora conizaeoides</i>	Lichenologist	Não	Líquén e tolerância a poluição
89	Sridhar; Karamchand; Bhat	2006	Arboreal water-borne hyphomycetes on oak-leaf basket fern <i>Drynaria quercifolia</i>	Sydowia	Não	Conídios transportados pela água
90	LaGreca & Stutzman	2006	Distribution and ecology of <i>Lecanora conizaeoides</i> (Lecanoraceae) in eastern Massachusetts	Bryologist	Não	Líquén e tolerância a poluição
91	Hauck; Paul; Spribille	2006	Uptake and toxicity of manganese in epiphytic cyanolichens	Environmental and experimental botany	Não	Efeito de manganês em líquens
92	Forsum <i>et al.</i>	2006	Nitrogen utilization by <i>Hylocomium splendens</i> in a boreal forest fertilization experiment	Functional ecology	Não	Briófitas e incremento de nitrogênio
93	Hauck; Hofmann; Schnull	2006	Site factors determining epiphytic lichen distribution in a dieback-affected spruce-fir forest, on Whiteface Mountain, New York: microclimate	Annales botanici fennici	Não	Diversidade de líquens em resposta a água
94	Paul & Hauck	2006	Effects of manganese on chlorophyll fluorescence in epiphytic cyano- and chlorolichens	Flora	Não	Efeito de poluentes em líquens
95	Levia & Wubben	2006	Vertical variation of bark water storage capacity of <i>Pinus strobus</i> L. (Eastern white pine) in southern Illinois	Northeastern naturalist	Talvez	Resposta dos líquens a água

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
96	Clark; Nadkarni; Gholz	2005	Retention of inorganic nitrogen by epiphytic bryophytes in a tropical montane forest	Biotropica	Não	Efeito da retenção de nitrogênio pelas epífitas
97	Mitchell <i>et al.</i>	2005	A study of the epiphytic communities of Atlantic oak woods along an atmospheric nitrogen deposition gradient	Journal of ecology	Não	Efeito da poluição de nitrogênio nas epífitas
98	Hauck	2005	Epiphytic lichen diversity on dead and dying conifers under different levels of atmospheric pollution	Environmental pollution	Não	Efeito da poluição de nitrogênio nos líquens
99	Wanek & Portl	2005	Phyllosphere nitrogen relations: reciprocal transfer of nitrogen between epiphyllous liverworts and host plants in the understory of a lowland tropical wet forest in Costa Rica	New phytologist	Não	Transferência de nitrogênio das epífitas para planta hospedeira
100	Purvis <i>et al.</i>	2005	Investigating biogeochemical signatures in the lichen <i>Parmelia sulcata</i> at Burnham Beeches, Buckinghamshire, England	Lichenologist	Não	Concentração de diferentes elementos nos líquens
101	Schmull & Hauck	2005	<i>Lecidea hercynica</i> , a new montane epiphytic lichen from Germany	Lichenologist	Não	Taxonomia de líquen
102	Turk & Moser	2005	The effect of stemflow on transplanted <i>Hypogymnia physodes</i> in the urban area of Salzburg (Austria)	Phyton-annales rei botanicae	Talvez	Líquén e stemflow
103	Paul; Hauck; Langenfeld-Heyser	2004	Ultrastructural changes in soredia of the epiphytic lichen <i>Hypogymnia physodes</i> cultivated with manganese	Environmental and experimental botany	Não	Efeito do manganês no líquen
104	Loppi & Frati	2004	Influence of tree substrate on the diversity of epiphytic lichens: Comparison between <i>Tilia platyphyllos</i> and <i>Quercus ilex</i> (Central Italy)	Bryologist	Não	Efeitos bióticos e abióticos na diversidade de líquen
105	Gonczol & Revay	2004	Fungal spores in rainwater: stemflow, throughfall and gutter conidial assemblages	Fungal diversity	Não	Dispersão de esporos dos líquens via stemflow e throughfall

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
106	Nadkarni & Sumera	2004	Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception	Forest science	Sim	Efeito das epífitas na interceptação da chuva e <i>throughfall</i>
107	Mitchell <i>et al.</i>	2004	Growth and tissue nitrogen of epiphytic Atlantic bryophytes: effects of increased and decreased atmospheric N deposition	Functional ecology	Não	Efeito do incremento ou diminuição do nitrogênio em briófitas
108	Graham & Andrade	2004	Drought tolerance associated with vertical stratification of two co-occurring epiphytic bromeliads in a tropical dry forest	American journal of botany	Não	Bromélias e resposta a seca
109	Fottova	2003	Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the GEOMON network, Czech Republic, between 1994 and 2000	Water air and soil pollution	Não	Não é epífita
110	Paul; Hauck; Fritz	2003	Effects of manganese on element distribution and structure in thalli of the epiphytic lichens <i>Hypogymnia physodes</i> and <i>Lecanora conizaeoides</i>	Environmental and experimental botany	Não	Concentração de manganês em líquens <i>in vitro</i>
111	Gonzalez-Mancabo; Losada-Lima; McAlister	2003	Host specificity of epiphytic bryophyte communities of a laurel forest on Tenerife (Canary Islands, Spain)	Bryologist	Não	Especificidade do hospedeiro para estabelecimento das briófitas
112	Wiklund	2003	Phosphorus concentration and pH in decaying wood affect establishment of the red-listed moss <i>Buxbaumia viridis</i>	Canadian journal of botany	Não	Tipo de substrato e distribuição de briófitas
113	Schmull & Hauck	2003	Extraction methods for assessing the availability of cations for epiphytic lichens from bark	Environmental and experimental botany	Não	Abundância de líquens e concentração de minerais
114	Hauck & Zoller	2003	Copper sensitivity of soredia of the epiphytic lichen <i>Hypogymnia physodes</i>	Lichenologist	Não	Líquens e concentração de minerais
115	Hauck & Gross	2003	Potassium uptake in the epiphytic lichen <i>Hypogymnia physodes</i> at concentrations and pH conditions as found in stemflow	Flora	Não	Líquen e absorção de potássio <i>in vitro</i>

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
116	Schmull & Hauck	2003	Element microdistribution in the bark of <i>Abies balsamea</i> and <i>Picea rubens</i> and its impact on epiphytic lichen abundance on Whiteface Mountain, New York	Flora	Não	Líquens e concentração de minerais
117	Schmull <i>et al.</i>	2002	Site factors determining epiphytic lichen distribution in a dieback-affected spruce-fir forest on Whiteface Mountain, New York: stemflow chemistry	Canadian journal of botany	Não	Diversidade de líquens e concentração de nitrogênio
118	Hauck; Hesse; Runge	2002	The significance of stemflow chemistry for epiphytic lichen diversity in a dieback-affected spruce forest on Mt Brocken, northern Germany	Lichenologist	Não	Diversidade de líquens e concentração de nitrogênio
119	Liu; Fox; Xu	2002	Nutrient fluxes in bulk precipitation, throughfall and stemflow in montane subtropical moist forest on Ailao Mountains in Yunnan, south-west China	Journal of tropical ecology	Não	Absorção de nutrientes pelas briófitas via <i>throughfall</i> e <i>stemflow</i>
120	Callaway <i>et al.</i>	2002	Epiphyte host preferences and host traits: mechanisms for species-specific interactions	Oecologia	Não	Especificidade do hospedeiro para estabelecimento das epífitas
121	Oreshkin	2002	Estimations of the transparency of the forest canopy: Analysis of the ecological content	Russian journal of ecology	Talvez	Líquen, briófitas e interceptação da chuva
122	Jauhiainen; Laiho; Vasander	2002	Ecophysiological and vegetational changes in a restored bog and fen	Annales botanici fennici	Não	Resposta dos líquens a água
123	Tahvanainen <i>et al.</i>	2002	Spatial variation of mire surface water chemistry and vegetation in northeastern Finland	Annales botanici fennici	Não	Composição química da água superficial de lamaçal
124	Cercasov <i>et al.</i>	2002	Comparative study of the suitability of three lichen species to trace-element air monitoring	Environmental pollution	Talvez	Líquen, deposição de compostos via throughfall

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
125	Hauck & Runge	2002	Stemflow chemistry and epiphytic lichen diversity in dieback-affected spruce forest of the Harz Mountains, Germany	Flora	Talvez	Líquen, deposição de compostos via <i>stemflow</i>
126	Weibull	2001	Influence of tree species on the epilithic bryophyte flora in deciduous forests of Sweden	Journal of bryology	Não	Briófitas e especificidade do hospedeiro
127	Davis; McClenahan; Hutnik	2001	Use of an epiphytic moss to biomonitor pollutant levels in southwestern Pennsylvania	Northeastern naturalist	Talvez	Epífitas e biomonitoramento de poluentes via <i>stemflow</i>
128	Stadler & Michalzik	2000	Effects of phytophagous insects on micro-organisms and throughfall chemistry in forested ecosystems: herbivores as switches for the nutrient dynamics in the canopy	Basic and applied ecology	Não	Efeito dos insetos na cascata de nutrientes via <i>throughfall</i>
129	Nilsen <i>et al.</i>	1999	Inhibition of seedling survival under <i>Rhododendron maximum</i> (Ericaceae): Could allelopathy be a cause?	American journal of botany	Não	Não é epífita
130	Kaufman <i>et al.</i>	1999	Effects of larval mosquitoes (<i>Aedes triseriatus</i>) and stemflow on microbial community dynamics in container habitats?	Applied and environmental microbiology	Não	Comunidade microbiana e desenvolvimento de larvas
131	Rodrigo; Avila; Gomez-Bolea	1999	Trace metal contents in <i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach. compared to bulk deposition, throughfall and leaf-wash fluxes in two holm oak forests in Montseny (NE Spain)	Atmospheric environment	Não	Resposta dos líquens a deposição de metais via <i>throughfall</i>
132	Lodenius	1998	Dry and wet deposition of mercury near a chlor-alkali plant	Science of the total environment	Não	Briófitas e a captação de mercúrio atmosférico
133	Crockford & Richardson	1998	Litterfall, litter and associated chemistry in a dry sclerophyll eucalypt forest and a pine plantation in south-eastern Australia: 1. Litterfall and litter	Hydrological processes	Não	Biomassa de serrapilheira
134	Boxman; Van der Ven; Roelefs	1998	Ecosystem recovery after a decrease in nitrogen input to a Scots pine stand at Ysselsteyn, the Netherlands	Forest ecology and management	Não	Não é epífita

Primeira seleção de artigos: título e resumo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
135	Bates <i>et al.</i>	1997	Occurrence of epiphytic bryophytes in a 'tetrad' transect across southern Britain 1. Geographical trends in abundance and evidence of recent change	Journal of bryology	Não	Diversidade e abundância de briófitas
136	Knops; Nash; Schlesinger	1997	The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of a blue oak woodland	Proceedings of a symposium on oak woodlands: ecology, management and urban interface issue	Talvez	Líquen e <i>throughfall</i>
137	Smith; Birch; Pyatt	1995	Some effects of incident precipitation on an urban beech woodland	Fresenius environmental bulletin	Não	Líquens e absorção de nutrientes
138	Awasthi; Sharma; Palni	1995	Stemflow - a source of nutrients in some naturally growing epiphytic orchids of the sikkin Himalaya	Annals of botany	Não	Briófitas e absorção de nutrientes
139	Gauslaa	1995	The lobarion, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid-rain	Lichenologist	Não	Comunidade de líquens em ambientes ácidos
140	Asbury <i>et al.</i>	1994	Solute deposition from cloud-water to the canopy of a Puerto-Rican montane forest	Atmospheric environment	Sim	Epífitas e absorção de água das nuvens
141	Kooijman & Bakker	1994	The acidification capacity of wetland bryophytes as influenced by simulated clean and polluted rain	Aquatic botany	Não	Não é epífita
142	Kooijman; Beltman; Westhoff	1994	Extinction and reintroduction of the bryophyte scorpidium-scorpioides in a rich-fen spring site in the Netherlands	Biological conservation	Não	Não é epífita
143	Knops <i>et al.</i>	1991	Mineral cycling and epiphytic lichens- implication at the ecosystem level	Lichenologist	Sim	Líquens e processos ecohidrológicos

APÊNDICE B - Tabela 2: Segunda revisão de artigos a partir do texto completo

Segunda seleção de artigos: texto completo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
2	Salemaa <i>et al.</i>	2020	Forest mosses sensitively indicate nitrogen deposition in boreal background areas	Environmental Pollution	Não	Não é epífita
3	Sun <i>et al.</i>	2020	Evolutionary correlation of water-related traits between different structures of <i>Dendrobium</i> plants	Botanical Studies	Não	Característica de resposta
4	Gaffney <i>et al.</i>	2020	Ecohydrological change following rewetting of a deep-drained northern raised bog	Ecohydrology	Não	Não é epífita
7	Hoffman <i>et al.</i>	2019	Nitrogen deposition sources and patterns in the Greater Yellowstone Ecosystem determined from ion exchange resin collectors, lichens, and isotopes	Science of the total environment	Não	Não fala do efeito ec hidrológico
8	Ure & Stanton	2019	Co-dominant anatomically disparate lichens converge in hydrological functional traits	Bryologist	Sim	Líquen epifítico, interceptação e retenção de água
12	Phinney	2019	3D modelling of thallus topography of <i>Lobaria pulmonaria</i> facilitates understanding of water storage pools	Lichenologist	Não	Característica de resposta
14	Gauthier; McCarter; Price	2018	The effect of compression on <i>Sphagnum</i> hydrophysical properties: Implications for increasing hydrological connectivity in restored cutover peatlands	Ecohydrology	Não	Não é epífita
17	Savenije	2018	Intercepted by lichens	Nature Geoscience	Sim	Líquen e interceptação da chuva

Segunda seleção de artigos: texto completo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
18	Manninen	2018	Deriving nitrogen critical levels and loads based on the responses of acidophytic lichen communities on boreal urban <i>Pinus sylvestris</i> trunks	Science of the total environment	Não	Característica deresposta
19	Sioma; Socha; Klamerus- Iwan	2018	A new method for characterizing bark microrelief using 3D vision systems	Forests	Não	Método de medição 3D do caule não relaciona com epífitas
20	Sato; Takase; Yamaguchi	2017	Effects of bark washing and epiphytic moss on Cs-137 activity concentration in bark and stemflow in Japanese persimmon (<i>Diospyros kaki</i> Thunb.)	Journal of environmental radioactivity	Não	Deposição de carbono radioativo
23	Ah-Peng <i>et al.</i>	2017	The role of epiphytic bryophytes in interception, storage, and the regulated release of atmospheric moisture in a tropical montane cloud forest	Journal of hydrology	Sim	Briófitas, hepáticas e função ecohidrológica
27	Van Stan <i>et al.</i>	2016	Modeling rainfall interception loss for an epiphyte-laden <i>Quercus virginiana</i> forest using reformulated static- and variable-storage gash analytical models	Journal of hydrometeorology	Sim	Epífitas, interceptação e estocagem de água
29	Goetz & Price	2016	Ecohydrological controls on water distribution and productivity of moss communities in western boreal peatlands, Canada	Ecohydrology	Não	Não é epífita
31	Meyer <i>et al.</i>	2015	Relevance of canopy drip for the accumulation of nitrogen in moss used as biomonitors for atmospheric nitrogen deposition in Europe	Science of the total environment	Não	Não é epífita
32	Gay <i>et al.</i>	2015	Throughfall alterations by degree of <i>Tillandsia usneoides</i> cover in a southeastern US <i>Quercus virginiana</i> forest	Canadian journal of forest research	Sim	Epífitas, <i>throughfall</i> e águas pluviais
33	Zimmermann <i>et al.</i>	2015	Predictability of stemflow in a species-rich tropical forest	Hydrological processes	Sim	Epífitas e <i>stemflow</i>
38	Skudnik <i>et al.</i>	2014	Influence of canopy drip on the indicative N, S and delta N-15 content in moss <i>Hypnum cupressiforme</i>	Environmental pollution	Não	Não é epífita
39	Odor <i>et al.</i>	2014	Reprint of: Patterns and drivers of species composition of epiphytic bryophytes and lichens in managed temperate forests	Forest ecology and management	Não	Característica deresposta

Segunda seleção de artigos: texto completo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
42	Giordan <i>et al.</i>	2014	Detecting the nitrogen critical loads on European forests by means of epiphytic lichens. A signal-to-noise evaluation	Forest ecology and management	Não	Característica de resposta
46	Dezerald <i>et al.</i>	2013	Food-web structure in relation to environmental gradients and predator-prey ratios in tank-bromeliad ecosystems	Plos one	Não	Características da bromélia para a cadeia alimentar
48	McMurray <i>et al.</i>	2013	Using epiphytic lichens to monitor Nitrogen deposition near natural gas drilling operations in the Wind River Range, WY, USA	Water air and soil pollution	Não	Característica de resposta
49	Woods <i>et al.</i>	2012	Epiphytes influence the transformation of nitrogen in coniferous forest canopies	Boreal environment research	Sim	Líquen e interceptação da chuva
50	Jovan <i>et al.</i>	2012	Eutrophic lichens respond to multiple forms of N: implications for critical levels and critical loads research	Ecological applications	Não	Característica de resposta
51	Gauslaa & Goward	2012	Relative growth rates of two epiphytic lichens, <i>Lobaria pulmonaria</i> and <i>Hypogymnia occidentalis</i> , transplanted within and outside of Populus dripzones	Botany-botanique	Não	Característica de resposta
53	Pascale <i>et al.</i>	2012	Species traits and their non-additive interactions control the water economy of bryophyte cushions	Journal of ecology	Não	Não é epífita
54	Gauslaa & Coxson	2011	Interspecific and intraspecific variations in water storage in epiphytic old forest foliose lichens	Botany-botanique	Sim	Efeito dos líquens na economia de água, diferença entre clorolíquens e cianolíquens
56	Loppi & Baragatti	2011	Influence of the health status of pine trees on the diversity of epiphytic lichens	Nova hedwigia	Não	Característica de resposta
61	Guevara-Escobar <i>et al.</i>	2011	Fog interception by Ball moss (<i>Tillandsia recurvata</i>)	Hydrology and earth system sciences	Sim	Interceptação e absorção de água pelas bromélias, correlacionado com mudanças climáticas

Segunda seleção de artigos: texto completo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
76	Cape	2008	Interactions of forests with secondary air pollutants: Some challenges for future research	Environmental pollution	Talvez	Característica de resposta
81	Koehler <i>et al.</i>	2007	Biomass and water storage dynamics of epiphytes in old-growth and secondary montane cloud forest stands in Costa Rica	Plant ecology	Talvez	Briófitas, interceptação e armazenamento de água
83	Holder	2007	Leaf water repellency as an adaptation to tropical montane cloud forest environments	Biotropica	Não	Não é epífita
85	Holder	2007	Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies	Journal of hydrology	Não	Não fala de epífita
87	Dietz <i>et al.</i>	2007	Vertical patterns and duration of surface wetness in an old-growth tropical montane forest, Indonesia	Flora	Não	Característica de resposta
95	Levia & Wubbena	2006	Vertical variation of bark water storage capacity of <i>Pinus strobus</i> L. (Eastern white pine) in southern Illinois	Northeastern naturalist	Não	Característica de resposta
102	Turk & Moser	2005	The effect of stemflow on transplanted <i>Hypogymnia physodes</i> in the urban area of Salzburg (Austria)	Phyton-annales rei botanicae	Não	Característica de resposta
106	Nadkarni & Sumera	2004	Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception	Forest science	Sim	Efeito das epífitas na interceptação da chuva e <i>throughfall</i>
121	Oreshkin	2002	Estimations of the transparency of the forest canopy: Analysis of the ecological content	Russian journal of ecology	Não	Característica de resposta
124	Cercasov <i>et al.</i>	2002	Comparative study of the suitability of three lichen species to trace-element air monitoring	Environmental pollution	Não	Característica de resposta
125	Hauck & Runge	2002	Stemflow chemistry and epiphytic lichen diversity in dieback-affected spruce forest of the Harz Mountains, Germany	Flora	Não	Característica de resposta

Segunda seleção de artigos: texto completo						
id.estudo	Autor	Ano	Título	Revista	Incluído	Observação
127	Davis; McClenahan; Hutnik	2001	Use of an epiphytic moss to biomonitor pollutant levels in southwestern Pennsylvania	Northeastern naturalist	Não	Característica de resposta
136	Knops; Nash; Schlesinger	1997	The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of a blue oak woodland	Proceedings of a symposium on oak woodlands: ecology, management and urban interface issue	Não	Característica de resposta
140	Asbury <i>et al.</i>	1994	Solute deposition from cloud-water to the canopy of a Puerto-Rican montane forest	Atmospheric environment	Não	Não analisa as epífitas
143	Knops <i>et al.</i>	1991	Mineral cycling and epiphytic lichens- implication at the ecosystem level	Lichenologist	Não	Ciclagem de minerais

APÊNDICE C - Tabela 3: Artigos finais incluídos na revisão: efeito ecossistêmico, metodologia utilizada, formas de vida, espécies hospedeirase associadas.

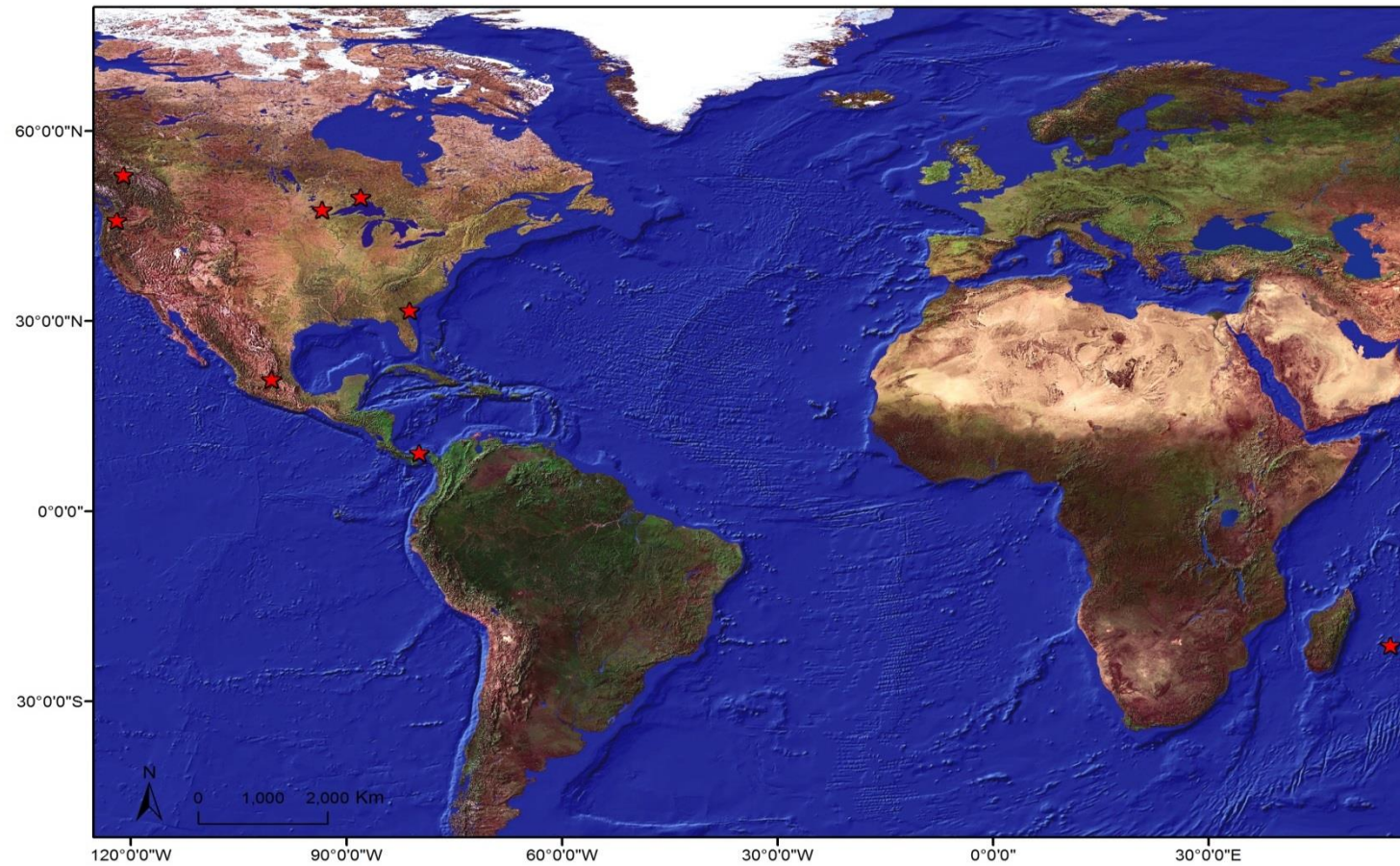
Artigos finais incluídos na revisão							
id.estudo	Autor	Ano	Forma de vida	Espécie Hospedeira	Espécie associada	Efeito	Método de medida do efeito
8	Ure & Stanton	2019	Líquen	<i>Picea mariana</i>	<i>Evernia mesomorpha</i> ; <i>Usnea subfloridana</i> ; <i>Usnea hirta</i>	Interceptação e retenção	Capacidade de armazenamento de água (WHC); Taxa de secagem; Massa específica do talo (STM)
17	Savenije	2018	Líquen	Sem informação	Sem informação	Interceptação e evaporação	Revisão
23	Ah-Peng et al.	2017	Briófita	Sem informação	<i>Mastigophora diclados</i> ; <i>Bazzania decrescens</i> ; outras briófitas	Interceptação de nuvem, evaporação e ciclo microhidrológico	Capacidade de armazenamento de água (WHC); Fotos da área; Lisímetro; DBH; Biosensores
27	Van Stan et al.	2016	Bromélia e pteridófitas	<i>Quercus virginiana</i> Mill.	<i>Tillandsia usneoides</i> ; <i>Pleopeltis polypodioides</i>	Interceptação, retenção, stemflow e throughfall	Modelagem de interceptação, Densímetro esférico convexo; Pluviômetro; Barômetro; Déficit de pressão de vapor (VPD); RGAM;
32	Gay et al.	2015	Bromélia	<i>Quercus virginiana</i> Mill.	<i>Tillandsia usneoides</i>	Throughfall e stemflow	Captação da água sob epífita; DBH; Densímetro; Déficit de pressão de vapor (VPD); Análises químicas

Artigos finais incluídos na revisão							
id.estudo	Autor	Ano	Forma de vida	Espécie Hospedeira	Espécie associada	Efeito	Método de medida do efeito
33	Zimmermann <i>et al.</i>	2015	Trepadeira, briófitas e líquen	25 espécies	Sem informação	<i>Throughfall</i> e <i>stemflow</i>	Captação precipitação, <i>throughfall</i> e <i>stemflow</i>
49	Woods <i>et al.</i>	2012	Líquens e fungos epifíticos	<i>Picea mariana</i>	<i>Usnea</i> sp., <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Tuckermannopsis americana</i> , <i>Evernia mesomorpha</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Bryoria furcellata</i> , <i>Bryoria lanestris</i> , <i>Bryoria trichodes</i> e <i>Bryoria</i> spp	Interceptação, <i>stemflow</i> e <i>throughfall</i>	Captação precipitação, <i>throughfall</i> e <i>stemflow</i>
54	Gauslaa & Coxson	2011	Líquens	8 espécies	<i>Lobaria</i> sp., <i>Pseudocyphellaria anomala</i> , <i>Plastomatia glauca</i>	Interceptação e retenção	Capacidade de armazenamento de água (WHC), Massa específica do talo (STM), DM
61	Guevara-Escobar <i>et al.</i>	2011	Bromélias	<i>Acacia farnesiana</i> ; <i>Prosopis laevigata</i>	<i>Tillandsia recurvata</i>	Interceptação, retenção e <i>throughfall</i>	Névoa e chuva simulada; Capacidade de armazenamento de água (WHC); Imersão
106	Nadkarni & Sumera	2004	Líquens e briófitas	11 espécies	Sem informação	Interceptação e <i>throughfall</i>	Transectos de cilindro vertical do dossel para captação de água

APÊNDICE D - Tabela 4: Área de estudo e dados climáticos dos artigos incluídos

Área de estudo e dados climáticos							
Id.estudo	País	Local	Coordenadas (lat/long)	Clima	Altitude média (m)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação média anual (mm)
8	EUA	United States Forest Service Marcell Experimental Forest (MEF)	47°30' 20.5" N, 93° 27' 12.2" W	Boreal	428	3,4°	780
23	África	La Réunion Island	21° 04' 33" S, 53° 34' 36" E	Insular/tropical	1350	22,2°	4000 - 12000
27	EUA	St. Catherine's Island, Georgia	31° 37' 43" N, 81° 9' 9" W	Subtropical/ insular	6	19,9°	950
32	EUA	St. Catherine's Island, Georgia	31° 37' 43" N, 81° 9' 9" W	Subtropical/ insular	6	19,9°	950
33	Panamá	Ilha Barro Colorado	9° 09' 32" N, 79° 50' 17" W	Insular/Tropical	120	27°	2.580
49	Canadá	Ontario	49,5° N, 88° W	Temperado	360	2,4°	760,3
54	Canadá	Columbia Britânica	53°N - 54°N 121°- 122° W	Subártico	1473	2,9°	1422,4
61	México	Planalto Central do México	2043 N, 10024 W	Semi-árido frio (estepe)	1959 - 1990	14,9°	910
106	EUA	Floresta Nacional de Gifford Pinchot	45°49'13.76" N, 121°57' 06.88" W	Temperado	370	8,7°	2500

APÊNDICE E - Mapa das áreas de estudo



Legenda: As estrelas vermelhas indicam os pontos de onde foram coletados os dados dos artigos revisados.

APÊNDICE F - Artigo aceito no periódico Journal of Experimental Botany (Impact Factor 7.298) em agosto de 2022.

Julia S Drummond, Bruno H P Rosado, On the role of the phyllosphere community in leaf wettability and water shedding, *Journal of Experimental Botany*, Volume 73, Issue 22, 8 December 2022, Pages 7204–7207, <https://doi.org/10.1093/jxb/erac350>

On the role in the phyllosphere community to leaf wettability and water shedding

Journal of Experimental Botany, Volume 73, Issue 22, 8 December 2022, Pages 7204–7207, <https://doi.org/10.1093/jxb/erac350>

Julia S. Drummond^{1,2} & Bruno H. P. Rosado^{2*}

¹Ecology and Evolution Graduate Program (PPGEE), IBRAG, State University of Rio de Janeiro (UERJ), R. São Francisco Xavier 524, PHLC, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brazil; jsdrummond@id.uff.br

²Department of Ecology, IBRAG, State University of Rio de Janeiro (UERJ). R. São Francisco Xavier, 524, PHLC, Sala 220, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 20550900;

ORCID ID: 0000-0002-8924-8672; Corresponding author: brunorosado@gmail.com

Word count main text: 1500

Number of figures: 01

Running Title: on the role of phyllosphere community to leaf wetness traits

Key Words: ecohydrology, epiphylls, holobiont, leaf water repellency, leaf hydrophobicity, leaf wetness traits, phyllosphere traits

Highlight: In this study we explore the interplay among factors affecting leaf wettability and water shedding by discussing how the phyllosphere directly affect plant wettability.

Introduction

The interaction of plants with wetting events is a highly relevant topic where climate change is affecting precipitation and fog patterns (Matos and Rosado, 2016). Wetting interactions consist of responses (i.e., how plants cope with wetting events in terms of gas exchange) and effects (i.e., how plants affect ecohydrological processes such as water interception). Investigating how leaves either stay wet or shed water is crucial for robust forecasts of changes in the water cycle (Rosado and Holder, 2013). However this still is an understudied topic, with the realistic evaluation of the role of factors such as leaf angle and drop size in water shedding being only a recent development (Lenz *et al.*, 2021; Roth-Nebelsick *et al.*, 2022). To derive a broader and more realistic picture of the many factors affecting leaf wettability and water shedding, we argue for the inclusion of an important missing link in this ecohydrological framework: the fact that leaves are not clean surfaces, but a heterogeneous mosaic of patches with different levels of wettability once they are colonized by the constituent organisms of the phyllosphere, such as bryophytes, lichen, fungi, and bacteria.

There has been considerable investigation into the impact of leaf traits on phyllosphere colonization (Vacher *et al.*, 2016) and how plant responses to an environment depend on this combination of plant and phyllosphere traits since the phyllosphere affects physiological plant processes such as photosynthesis and transpiration (Rosado *et al.*, 2018). Although many studies have reported the contribution of the phyllosphere to ecosystem functioning, these have been more focused on processes such as nutrient cycling and productivity (Vacher *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2021), while the role of phyllosphere organisms in ecohydrological processes (e.g., interception, water shedding) remains under-appreciated. Recently, high attention has been paid to the leaf traits that affect wettability (Lenz *et al.*, 2021), without considering the role of the phyllosphere in ecohydrological processes. There have been some insights into how the combination of leaf and moss wettability affects the impact of rain drops on leaves due to differences in surface absorptive capacity (Roth-Nebelsick *et al.*, 2022). Based on the concept of the holobiont, an extended phenotype derived from the combination of plant and phyllosphere (Vandenkoornhuyse *et al.*, 2015), we aim to contribute to the exploration of the interplay of factors affecting leaf wettability and water shedding by discussing how the phyllosphere must be included in the characterization of plant wettability, and suggesting steps towards building a more realistic framework to characterize such interplay.

Phyllosphere organisms each have characteristic wettabilities

Phyllosphere organisms are a missing link in comprehending leaf wettability because they each possess a characteristic hydrophobicity (the contact angle between the water droplet and the surface) and water droplet retention (the angle at which the water droplet begins to move off the leaf), which describe surface wettability and water

retainability, respectively (Matos and Rosado, 2016). Co-occurring phyllosphere organisms have a broad range of wettability from highly hydrophilic (e.g., mosses) to highly hydrophobic (e.g., some species of lichens); their presence increases surface heterogeneity on a single leaf due to their distinct

roughness and intrinsic wettabilities (Rosado and Almeida, 2020). Thus, water shedding is dependent on multiple surfaces characterized by combinations of both leaf and phyllosphere traits (Rosado and Almeida, 2020). For example, fungal hyphae may promote changes in leaf surface tension (Rosado et al., 2018), and the presence of a microbiome that produces hygroscopic particles increases leaf wettability (Schreiber et al., 2005; Ritpitakphong et al., 2016). Therefore, even plant species characterized by the same leaf hydrophobicity and water droplet retention may have different water shedding due to hosting different phyllosphere communities (Fig. 1; see Supporting video at Zenodo; <https://doi.org/10.5281/zenodo.6514957>). The heterogeneous mosaic of surface patches (e.g., mosses, lichens, un-colonized leaf surface) leads to different water flows on a leaf — for example, drops may be repelled by hydrophobic lichens, promoting shedding, but they may be retained and absorbed by a coexisting bryophyte before reaching the leaf border. Therefore, water shedding is derived from these multiple heterogeneous patches composed of the phyllosphere and un-colonized leaf surfaces with different coverage, roughness and wettabilities (Supporting video at Zenodo). The role of the phyllosphere in ecohydrology is not restricted to leaves but also features in processes such as stemflow (Supporting video at Zenodo) due to the colonization of branches and trunks (Van Stan et al., 2016). In the next section we present approaches towards an improved, integrated viewpoint that includes the phyllosphere in the mechanics of water shedding.

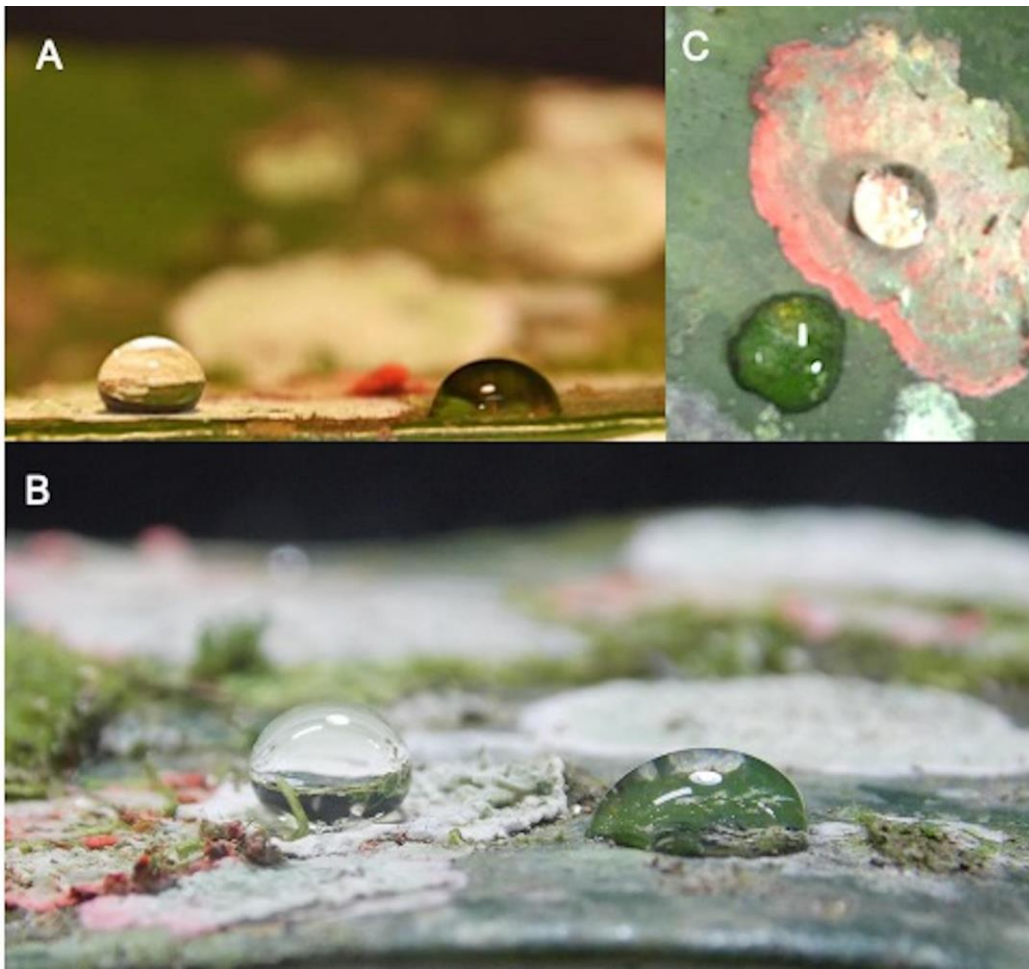


Figure 1. Heterogeneity of wetness traits measured with static drops of 50 μ l within single leaves of tropical understorey plants from the Atlantic Rain Forest (Tijuca National Park, RJ, Brazil). **(A)** Using a classification of leaf hydrophobicity based on the contact angle between the water droplet and the surface (see the Review by Rosado and Holder, 2013), the left drop on a lichen is classified as non-wettable ($\sim 123^\circ$). On the other hand, the right drop on the uncolonized leaf surface (unidentified woody species) is classified as highly wettable ($\sim 74^\circ$). The water droplet retention angle (slowly tilting the surface from the horizontal until the water droplet begins to move) was 10° (Low water retainability) and 55° , respectively. **(B)** Leaf of the exotic species *Dracaena fragans* showing the high hydrophobicity of a lichen (left drop) and the asymmetric drop on the

right placed on an uncolonized leaf tissue and a lichen (left side). **(C)** Static drops of same volume (50 μl), viewed from above, on a leaf of *Dracaena fragans*. The spread drop on a uncolonized leaf tissue (more wettable) contrasting with the drop on the non-wettable lichen (left).

Moving forward: looking at the microcosm of phyllosphere communities

Different ecological communities may affect ecohydrological processes in water basins through their specific species composition, species traits, and abundance (Rosado and Holder, 2013). Similarly, each leaf on a plant is a phyllosphere community, presenting highly dynamic differences in composition, cover, and spatial distribution on the same leaf over time, and must be viewed through the lens of the theories of community assembly and biodiversity-ecosystem functioning (Vacher *et al.*, 2016; Mežaka *et al.*, 2022). The role of the phyllosphere in ecohydrological processes must therefore be included using the same theoretical and methodological basis at the community and ecosystem levels. Although leaf wetness traits have been measured with sessile drops on a static leaf and through the simulation of single raindrops, these methods cannot capture the role of the phyllosphere community in leaf wettability and water shedding (i.e., ecosystem processes) (Fig. 1, Supporting video at Zenodo). Rather, we argue that the use of rainfall simulators that measure the total mass of water intercepted and drained by whole leaves and/or canopies is a more realistic approach because it integrates all leaf parameters (e.g., leaf size and tilting) and hydrophobic and hydrophilic phyllosphere organisms simultaneously. The use of individual drops impairs the evaluation of the wider effect of the phyllosphere's functional diversity on water shedding, which cannot be predicted by the sum of the effects of single phyllosphere species due to antagonistic or synergistic interactions among them (Dias *et al.*, 2013).

For example, fungi turning into lichens after interactions with algae leads to changes in leaf hydrophobicity and cover over time (Mežaka *et al.*, 2022) that could not be predicted using only the individual hydrophobicities of the fungi, algae, and microbiome. Moreover, such interactions may also prevent fungal infection, thereby presenting complex interactions between phyllosphere organisms (Ritpitakphong *et al.*, 2016). Phyllosphere organisms together with other aerial particles deposited on leaves (e.g., dust, pollen), form hygroscopic particles acting as nuclei for the formation of water droplets, affecting leaf wettability (Pöschl, 2005; Fröhlich-Nowoisky *et al.*, 2009; Burkhardt, 2010). Phyllosphere species must be thus viewed as players in water shedding, as per higher plants at broader spatial scales. Following the same reasoning, techniques of inoculation may also enable comparisons between colonized and uncolonized leaves to detect the effect of phyllosphere diversity on ecohydrological processes (Ritpitakphong *et al.*, 2016). The effect of multiple factors on leaf wettability creates additional complexity that cannot be adequately captured through analysis of individual drops placed on different surfaces on a leaf (Fig. 1, Supporting video at Zenodo).

Despite the relevance of characterizing phyllosphere wettability for each species, it would be unfeasible and very time-consuming to place water droplets or measure drop impacts on each organism on a leaf and compare the results with un-colonized leaf surfaces. Additionally, drop size should be large enough to encompass multiple heterogeneous surfaces on colonized leaves and the phyllosphere's roughness to avoid smaller drops becoming ragged due to pinning (Roth-Nebelsick *et al.*, 2022). Both of these considerations support the use of broader water application mechanisms such as rainfall simulators. However, since drops start to move when they reach a critical droplet

volume where the gravitational force overcomes the surface forces (Konrad *et al.*, 2012), the contact angle where droplets start to move is lower for large droplets (~50 μl) because gravity will be more important than phyllosphere properties. This highlights the relevance of using rainfall simulators that measure the total amount of intercepted and drained water.

Conclusion

Since tropical environments have a high diversity of phyllosphere communities and increases in drought events due to climate change may directly affect these water-dependent organisms, including them in an integrated view under the concept of holobionts will improve ecohydrological models.

The factors mediating water shedding form complex relationships, and investigation requires the combination of hypothesis-driven manipulative approaches (e.g., inoculation experiments and rainfall simulators) and biomechanical measurements (Lenz *et al.*, 2021). The understanding of this complex interplay must take into account two aspects. First, caution must be applied when comparing species due to the confounding effect of drop size on gravity dependence, especially for small-leaf species where large drops do not fit on leaves. Second, given that phyllosphere organisms are highly water-dependent and thus more common in tropical environments, their relative contribution must be assessed through multidisciplinary approaches (e.g., physiology and metagenomics) to identify phyllosphere composition and its role in water shedding. Therefore, the phyllosphere's ability to mediate ecological processes is a fruitful avenue in the coming years in ecohydrological research.

Acknowledgements

We are grateful to the Staff of Floresta da Tijuca National Park for all the support and to Raissa Freitas, Yane Quaresma and Anna Ehms for great help during fieldwork and measurements at the laboratory.

Author Contributions

Both authors contribute to writing - Review & Editing; Conceptualization: BHPR

Conflict of Interest

The authors have no conflicts to declare.

Funding statement

JSD supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 (CAPES). BHPR supported by FAPERJ (E-26/202.722/2019), Prociencia and USAID and the US National Academy of Sciences (NAS) - the PEER program (Sponsor Grant Award Number: AID-OAA-A-11-00012).

Data Availability

Data supporting the findings of this study are available within the paper and openly available in Zenodo at <https://doi.org/10.5281/zenodo.6514957> (Rosado and Drummond, 2021).

References

Burkhardt J. 2010. Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants? *Ecological Monographs* **80**, 369–399.

Dias ATC, Berg MP, de Bello F, van Oosten AR, Bílá K, Moretti M. 2013. An experimental framework to identify community functional components driving ecosystem processes and services delivery. *Journal of Ecology* **101**, 29–37.

Fröhlich-Nowoisky J, Pickersgill DA, Després VR, Pöschl U. 2009. High diversity of fungi in air particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **106**, 12814–12819.

Konrad W, Ebner M, Traiser C, Roth-Nebelsick A. 2012. Leaf surface wettability and implications for drop shedding and evaporation from forest canopies. *Pure and Applied Geophysics* **169**, 835–845.

Lenz A-K, Bauer U, Ruxton GD. 2021. An ecological perspective on water shedding from leaves. *Journal of Experimental Botany*.

Matos IS, Rosado BHP. 2016. Retain or repel? Droplet volume does matter when measuring leaf wetness traits. *Annals of Botany* **117**, 1045–1052.

Mežaka A, Salazar Allen N, Mendieta-Leiva G, Bader MY. 2022. Life on a leaf: The development of spatial structure in epiphyll communities. *Journal of Ecology* **110**, 619–630.

Moreira JCF, Brum M, de Almeida LC, Barrera-Berdugo S, de Souza AA, de Camargo PB, Oliveira RS, Alves LF, Rosado BHP, Lambais MR. 2021. Asymbiotic nitrogen fixation in the phyllosphere of the Amazon forest: Changing nitrogen cycle paradigms. *Science of the Total Environment* **773**, 145066

Pöschl U. 2005. Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie - International Edition* **44**, 7520–7540.

Ritpitakphong U, Falquet L, Vimoltust A, Berger A, Métraux JP, L'Haridon F. 2016. The microbiome of the leaf surface of *Arabidopsis* protects against a fungal pathogen. *New Phytologist* **210**, 1033–1043.

Rosado BHP, Almeida LC. 2020. The Importance of Phyllosphere on Foliar Water Uptake. *Trends in Plant Science* **25**, 1058–1060.

Rosado BHP, Almeida LC, Alves LF, Lambais MR, Oliveira RS. 2018. The

importance of phyllosphere on plant functional ecology: A phyllo trait manifesto. *New Phytologist* **219**, 1145–1149.

Rosado BHP, Drummond JS. 2021. (November 30). Wetness traits of Phyllosphere. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6514957>

Rosado BHP, Holder CD. 2013. The significance of leaf water repellency in ecohydrological research: a review. *Ecohydrology* **6**, 150–161.

Roth-Nebelsick A, Konrad W, Ebner M, Miranda T, Thielen S, Nebelsick JH. 2022. When rain collides with plants — patterns and forces of drop impact and how leaves respond to them. *Journal of Experimental Botany* **1**, 1–29.

Schreiber L, Krimm U, Knoll D, Sayed M, Auling G, Kroppenstedt RM, Phytologist SN, May N. 2005. Plant-microbe interactions: bacteria and their ability to identification alter leaf surface of epiphytic permeability. *New Phytologist* **166**, 589–594.

Van Stan JT, Lewis ES, Hildebrandt A, Rebmann C, Friesen J. 2016. Impact of interacting bark structure and rainfall conditions on stemflow variability in a temperate beech-oak forest, central Germany. *Hydrological Sciences Journal* **61**, 2071–2083.

Vacher C, Hampe A, Porté AJ, Sauer U, Compant S, Morris CE. 2016. The Phyllosphere: Microbial Jungle at the Plant-Climate Interface. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **47**, 1–24.

Vandenkoornhuyse P, Quaiser A, Duhamel M, Le Van A, Dufresne A. 2015. The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist* **206**, 1196–1206.