



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas

Departamento de Botânica

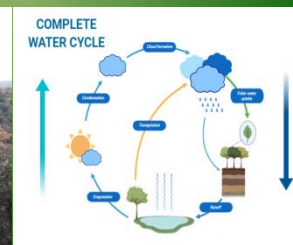
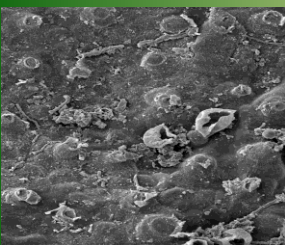
Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal



Daniela Boaneres de Souza

Towards a more comprehensive understanding of fog foliar water uptake

Orientador: Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França
Coorientadora: Prof^a Dr^a Rosy Mary dos Santos Isaias



Belo Horizonte, MG

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



UFMG

DANIELA BOANARES DE SOUZA

**TOWARDS A MORE COMPREHENSIVE
UNDERSTANDING OF FOG FOLIAR WATER UPTAKE**

**Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Biologia Vegetal do
Departamento de Botânica do Instituto de
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito à
obtenção do título de doutora em Biologia
Vegetal**

Área de concentração: Fisiologia e Ecologia Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França

Coorientadora: Prof^a. Dra. Rosy Mary dos Santos Isaias

Belo Horizonte- MG
2020

043

Souza, Daniela Boanares de.

Towards a more comprehensive understanding of fog foliar water uptake
[manuscrito] / Daniela Boanares de Souza. – 2020.

196 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França. Coorientadora: Profa.
Dra. Rosy Mary dos Santos Isaias.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de
Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

1. Fenômenos Fisiológicos Vegetais. 2. Nevoeiro. 3. Absorção. I. França,
Marcel Giovanni Costa. II. Isaias, Rosy Mary dos Santos. III. Universidade
Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 581



UFMG

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal
Universidade Federal de Minas Gerais
ICB - Departamento de Botânica

Tese defendida por Daniela Boaneres de Souza em 14 de fevereiro de 2020 e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Dr. Marcel Giovanni Costa França (orientador)

Dr. Lázaro Eustáquio Pereira Peres

Dra. Ana Silvia Franco Pinheiro Moreira

Dr. Geraldo Luiz Gonçalves Soares

Dr. Fernando Henrique Aguiar Vale

DEDICATÓRIA

Ao Pedro e à minha mãe Naná!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus, ao meu anjo da guarda e aos meus guias espirituais que me guiam sempre e me fortalecem a cada dia pra seguir adiante. Axé! E à natureza sempre sábia, deslumbrante e instigante! Saravá!

Ao meu orientador Marcel França que desde a minha banca de mestrado acreditou em mim! Que se empolgou junto comigo com as minhas ideias pra tese... Sempre presente, mesmo em dias e horários inoportunos rrsrs. Orientação e aprendizado ímpares! Sem contar as boas conversas e cervejas pra desopilar a mente depois de um dia todo revisando artigo! Ele entrou na minha vida como membro da banca de mestrado, passou para orientador de doutorado e hoje posso dizer que é um amigo!! Muito obrigada mesmo!!

E por falar em amiga, minha gratidão à Rosy Isaias, minha coorientadora!! Sempre perspicaz nos ensinamentos... Nossa história também começou no mestrado e é pra vida toda! Justa e profissional, mesmo com nossa proximidade, nunca deixou de puxar minha orelha quando eu necessitava! Sempre foi um exemplo e me espelhei ainda mais por saber que temos histórias semelhantes: negras de origem pobre, mas de alma grande, como nossos ancestrais! Pena que existem poucas Rosys ainda no meio acadêmico. Viva a ascensão da negra da periferia!!!

Bom, só sei que fui extremamente sortuda por ter tido dois orientadores deste nível! Afinal, sempre me senti também orientanda dela!! Eu levarei tantas coisas aprendidas, tantos ensinamentos que nem cabem no Lattes! Muito obrigada a vocês dois por me mostrarem que dá pra fazer uma tese e ainda me divertir!!! Orgulho de ter sido orientada por essa dupla! Vocês são fodaaa!!!!

Ao meu marido, Pedro Mafia!!! Sem ele eu, com certeza, não teria chegado até aqui. Companheiro que sempre me incentivou na minha caminhada sendo o primeiro “na fila” em me parabenizar ou dar aquele apoio moral quando eu achava que não daria conta!! Não desistiu de mim em alguns momentos que até eu desistiria, e, sem sombra de dúvidas, não teve demonstração melhor de amor que essa! Sonhou o meu sonho e ficou feliz em me ver crescer tanto quanto eu! Pedro, você é meu porto seguro e te agradeço e te agradecerei sempre por ser quem você é na minha vida!! Se eu estou caminhando, é porque ao meu lado tem uma pessoa linda que é você que deixa tudo mais fácil! Te amo!!

Agradeço também à minha família, em especial à minha mamis. Mesmo minha família não entendendo o porquê ainda “só estudo” e não “trabalho” e de não entender o motivo que trabalho com “nuvem” já que mexo com planta, ela ainda me apoia!! Muito obrigada!

Agradeço à prof^a Alessandra Kozovits e ao prof. Hildeberto Sousa (Hilde) por facilitar toda a logística pré e pós campo e no uso do laboratório da UFOP e pelo companheirismo de sempre! Sem esse auxílio minha tese não poderia se concretizar! E como eu mesma disse no mestrado: não vou largar vocês tão cedo!!! Muito obrigada!!!

Ao Josep Peñuelas pela orientação no doutorado sanduiche na Universidad Autónoma de Barcelona, Espanha e aos pesquisadores do grupo de pesquisa no qual me inseri: Iolanda Fillela, Joan Llusia Rosa Casanovas e Romà Ogaya, que foram sempre muito solícitos! Gràcies y fins ara!! Agradeço também aos amigos que fiz neste período. Vocês me ajudaram a manter minha saúde mental, me dando carinho, atenção e muitaaaaa diversão: Alessandra Garcia, Bruno Matos, Iara Mendes, Isabel, Lelê (Maria Helena Canela), Mari Nóbrega, Marcos Horsth, Matteo Fumei, Paola Angelucci, Patrícia Domingues, Renata Guerda, e Roberta Fernandes. Vocês conseguiram abrilhantar ainda mais essa cidade que dispensa apresentações!

Aos professores José Pires Lemos Filho e ao Danilo Neves do PPGBV- UFMG. Aos professores Ricardo Solar (Departamento de Ecologia - UFMG), Lúcia Pimenta e Cláudio Donicci (Departamento de Química - UFMG) e ao professor Rafael Oliveira da Unicamp pela colaboração na tese.

Ao Titi (Tiago Vilas Boas), Mari Duarte, Karina Moraes e Alexandre Duarte pelas idas ao campo me auxiliando nas coletas. Foi bem divertido, apesar de cansativo. Ao Bruno Ferreira pela ajuda na imunohistoquímica e à Cris Jovis (Cristiane Jovelina) pelas análises de ROS. Agradeço à Grazi (Graziella Monteiro) por tirar minhas dúvidas estatísticas e à Marcia Cardoso por ceder sua casa em Ouro Preto sempre que necessitei. Vocês foram imprescindíveis.

Agradeço ao amigo Amauri Bueno e Aline Xavier, juntamente com Markus Riederer da Univerity of Würzburg, Alemanha, pelo auxílio nas análises de química da cutícula.

Aos colegas do laboratório de Fisiologia Vegetal, especialmente: Arthur, Airton, Áurea Cordeiro, Dani Pianetti, Fernando França, Humberto, Janita (Janaína Garcia), July (Juliana Batista), Krebs (Cléber) e Tulis (Túlio Gabriel)! Muito obrigada pelas ajudas e descontração dentro e fora UFMG!

A todos os colegas do laboratório de Anatomia Vegetal pelo espaço e pelas oportunidades de aprendizado nesta área tão fascinante! Em especial ao professor Fernando Vale e ao técnico Wras, Wrazito (Wagner Rocha). Aprendi demais da conta anatomia com vocês. À Ary (Aryane Nenes) e Ana Flávia de Melo pela ajuda, cia, leveza e boas risadas. À Elaine Costa, Graci (Gracielle Bragança), e Igor Abba pelas ajudas anatômicas, pelos ensinamentos, pelas risadas dentro e fora do ambiente acadêmico. E à Lets (Letícia Cunha), um presente que Igorito nos deu e que se transformou em uma amizade deliciosa. Obrigada pela amizade!

Ao grupo Mapa Schwarzenegger pela cia, risadas e ajuda!! Afinal, “quem sou eu?” hehehehehe. Amigos que o doutorado também me deu!

Agradeço a todos os colegas dos outros laboratórios e departamentos. Em especial aos outros amigos que fiz ao longo desta caminhada: Dri (Adriano Valentim), Dani Alvarenga, Deia (Andrea Lana), Bárbara Rúbia, Ceci (Cecília Fiorini), Igor Ballego, Jenny Paucar, Lorena Bueno, Mari (Mariana Duarte), Sté (Stephani Bonifácio), Thamís (Thamirys Santana), Vera Ferreira, e Yumi Oki.

À Denise Márcia sempre solícita em nos ajudar!!! Você é a salva-vidas dos alunos da pós!! Minha gratidão, sua linda!!! Ao Gu (Gustavo Santos) “dono e proprietário” do Herbário! Kkkkkk Gratidão pela amizade, escuta, vinhos e divertimento!! Tamo junto!!!

A todos os professores do programa que de alguma forma, direta ou indiretamente, foram responsáveis pela minha formação enquanto doutora!

Às auxiliares de limpeza que sempre deixam tudo limpinho pra gente!

À UFMG, ao PPG-BV, ao centro de microscopia da UFMG e às agências de fomento; CNPq, FAPEMIG e CAPES (código de financiamento 001) pela bolsa do doutorado sanduíche.

Aos meus amigos fora do Programa de Pós Graduação que sempre estiveram comigo e me incentivaram! À minha segunda família – Barbosa, representada pela Gabi, pelo carinho de sempre! E aos meus amigos do Coral Cantáridas! Afinal, existe vida fora do Lattes! (E é bem boa!!) Só gratidão!

E por último e não menos importante, agradecer ao antigo governo (Lula e Dilma) que me proporcionou estudar com a bolsa do ProUni e, aí sim, começar um sonho e a cogitar chegar até onde cheguei!! O Brasil terá mais uma doutora negra suburbana! Que venha mais um tantão!!! Estamos chegando...

Enfim, a todos vocês que fizeram com que minha trajetória fosse mais doce, leve e colorida: Vocês foram luz em minha vida!!! Minha eterna gratidão!!!

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract	8
Introdução Geral	9
Capítulo 1: Cuticular wax composition and wax crystals reveal different capacities to foliar water uptake	15
Capítulo 2: Pectin and cellulose cell wall composition enables different strategies to leaf water uptake in plants from tropical fog mountain	46
Capítulo 3: Foliar water-uptake strategies are related to leaf water status and gas exchange in plants from a ferruginous rupestrian field	73
Capítulo 4: Foliar water uptake is an important trait related to thermotolerance responses in plants from ferruginous rupestrian fields	103
Capítulo 5: Oxidative metabolism in plants from Brazilian rupestrian fields and its relation with foliar water uptake in dry and rainy seasons	131
Capítulo 6: The influence of fog in the leaf physiology and phenology of two Mediterranean tree species.....	155
Capítulo 7: Towards a more comprehensive understanding of water flux in plants	184
Considerações Finais	191

RESUMO

A absorção foliar de água tem um papel importante na fisiologia de algumas espécies, principalmente aquelas que ocorrem em ambientes com presença de neblina. A neblina pode ser a única fonte de água para uma determinada vegetação, principalmente na estação seca, tornando essa condição climática uma fonte alternativa de água para a vegetação. Assim, o objetivo desta tese foi avaliar atributos ultraestruturais, fisiológicos, bioquímicos e fenológicos de espécies com diferentes capacidades de absorção foliar de água que ocorrem em ambientes sujeitos à neblina. Foi verificado que a composição química da cutícula e a proporção de componentes da parede celular interferem na absorção foliar de água. A assimilação de carbono é, momentaneamente, afetada pela absorção foliar de água, mas com diminuição na perda de água pela transpiração. O status hídrico, avaliado a partir do potencial hídrico, foi beneficiado pela absorção foliar de água, demonstrando valores similares de potencial hídrico na estação chuvosa e na estação seca com neblina. A absorção foliar de água aumentou a termotolerância, diminuiu a possibilidade de fotoinibição e melhorou o sistema antioxidante, principalmente nas espécies que absorvem grande quantidade de água. A presença de neblina, juntamente com a absorção de água pelas folhas interfere na fenologia de uma espécie decídua, retardando a queda de suas folhas. Assim, concluímos que a absorção foliar de água, principalmente de neblina tem um papel fundamental para a manutenção de várias plantas em seus habitats naturais; além disso, a estratégia de absorver maior quantidade de água, apesar de lentamente seria a melhor estratégia para as plantas lidarem, a longo prazo, com as mudanças climáticas previsíveis.

Palavras-chave: neblina, absorção foliar, fotossíntese, cutícula, fenologia

ABSTRACT

Foliar water uptake plays an important role in the physiology of some species, especially those that occur in foggy environments. Fog may be the only source of water for some particular vegetation, especially in the dry season, making the occurrence of fog an alternative source of water for the vegetation. Thus, the objective of this thesis was to evaluate ultrastructural, physiological, biochemical and phenological attributes of plant species with different leaf absorption capacities that occur in environments subjected to fog. The chemical composition of the cuticle and the proportion of cell wall components interfere with leaf water uptake. Carbon assimilation is momentarily affected by leaf water absorption, but there has been a decrease in water loss through transpiration. The water status, evaluated through water potential, was benefited by leaf water uptake, demonstrating similar values of water potential in rainy season and in dry season with fog. Foliar water uptake increased thermotolerance, reduced the possibility of photoinhibition and improved antioxidant system, especially in species that absorb a large amount of water. The presence of fog, along with the absorption of water by the leaves, interferes with the phenology of a deciduous plant species, delaying the fall of its leaves. Thus, we conclude that leaf water uptake, especially fog, plays a key role in maintaining various plants in their habitats. The strategy of absorbing more water, although slowly, would be the best strategy for plants in the long term to cope with possible climate changes.

Keywords: fog, leaf absorption, photosynthesis, cuticle, phenology

INTRODUÇÃO GERAL

Diferentes estratégias moleculares, fisiológicas e bioquímicas são acionadas, rapidamente ou mais tardiamente, quando as plantas enfrentam estresse por falta de água. Algumas das estratégias podem ser facilmente observadas, quando, p.ex., plantas perdem água pelos estômatos na busca pelo equilíbrio do status hídrico foliar. Analogamente, vem sendo demonstrado que existem diferentes estratégias de captura de água pelas folhas, o que caracteriza o movimento contrário da água ao fluxo no sistema solo-planta-atmosfera. Esta absorção foliar acontece quando a água ultrapassa a superfície da folha em resposta ao gradiente de potencial hídrico difundindo-se para os tecidos internos da folha (Gouvra & Grammatikopoulos 2003). A absorção foliar de água pode ocorrer durante e logo após as diversas formas de precipitação, como a neblina.

Um exemplo de ecossistema tropical no qual a neblina é um evento atmosférico frequente é o campo rupestre ferruginoso, que ocupa nos topos de morros, em geral com altitudes acima de 1000 metros, no Quadrilátero Ferrífero. Devido à marcada sazonalidade de precipitação de chuvas e pela presença de fisionomias campestres ocorrendo sobre afloramentos rochosos ricos em ferro como itabiritos ou cangas, ou seja, predominantemente sobre solos rasos e descontínuos, acredita-se que a vegetação sobre campos rupestres ferruginosos experimente períodos de déficit hídrico durante a estação seca (Benites et al. 2003). Já foi visto que nos períodos sem neblina, ambientes tropicais de altitudes podem ser considerados áridos, caracterizados por uma alta demanda evaporativa (Leuschner, 2000).

A absorção foliar de água, a partir de agora referida como FWU (em inglês “foliar water uptake”), pode proporcionar uma vantagem ecológica para as plantas que ocorrem em locais que apresentam déficit hídrico, pelo menos sazonalmente, desempenhando

papel importante na sua sobrevivência e crescimento (Limm et al. 2009; Eller et al. 2013). Das 1100 espécies estimadas para os campos rupestres ferruginosos (Jacobi e Carmo, 2012), foi verificado que pelo menos onze espécies têm capacidade de absorver água pelas folhas, mas com diferentes estratégias para esta entrada de água. Algumas espécies absorvem água rapidamente em quantidades menores enquanto outras espécies absorvem água lentamente em quantidades maiores (Boanares et al. 2018 a, b). Como existe um consenso de que FWU pode ser a norma e não a exceção em plantas (Berry et al. 2019), é de extrema importância o conhecimento mais aprofundado sobre como ocorre e o que influencia este mecanismo nas diferentes espécies de plantas.

Desta forma, o objetivo desta tese foi responder se diferenças nas características ultraestruturais da folha interferem na capacidade de FWU e se essas diferentes capacidades influenciam parâmetros ecofisiológico e ecossistêmicos das espécies estudadas. A tese é apresentada na forma de 7 capítulos conforme os objetivos propostos a seguir:

Como a cutícula é a primeira barreira física para a entrada de água na folha, o **Capítulo 1** aborda a relação da composição química da cera cuticular e das ornamentações da cera epicuticular com as diferentes capacidades de FWU. Considerando que a parede celular é a próxima barreira física à FWU, o **Capítulo 2** verifica a relação entre a composição química da parede celular, quanto aos seus componentes estruturais, pectinas e celulose, com as estratégias de FWU. Uma vez avaliada a interferência da química da cutícula e dos componentes da parede celular nas diferentes estratégias de FWU, o objetivo seguinte foi responder como estas estratégias podem interferir na fisiologia destas espécies. Assim, o **Capítulo 3** avalia se as diferentes estratégias de FWU podem interferir no balanço hídrico e de carbono das espécies ao longo de um ano, contemplando as estações climáticas seca e chuvosa. A

premissa central deste capítulo é de que as mudanças climáticas globais podem interferir no regime hídrico e térmico nos diferentes ecossistemas. Por isso, o **Capítulo 4** aborda diferentes estratégias de FWU e sua relação com as respostas de termotolerância e de fotoinibição. No **Capítulo 5**, verifica-se se as mesmas estratégias de FWU podem minimizar o metabolismo oxidativo induzido pelos respectivos estresses ambientais, regime hídrico e amplitude térmica.

Uma vez entendido como parâmetros ultraestruturais e fisiológicos podem interferir na FWU de espécies de um ambiente tropical de altitude, partimos para verificar alguns desses parâmetros em plantas com diferentes respostas à presença de neblina em um ecótono Mediterrâneo - Temperado. Neste ambiente, já foi verificado uma redução dos eventos de neblina, impactando de forma distinta o crescimento destas espécies.

Desta forma, outro objetivo da tese foi verificar a importância da FWU e da neblina na ecofisiologia de espécies ocorrentes neste ecótono tendo como cenário questões sobre Mudanças Climáticas Globais. Assim, no **Capítulo 6** verificamos se a ocorrência de neblina e, conseqüentemente, sua absorção pelas folhas interfere na fisiologia e fenologia de duas espécies que coexistem no ecótono Mediterrâneo-Temperado.

Por fim, o **Capítulo 7** propõe uma abordagem multidisciplinar focando na genética, ultraestrutura, anatomia, fisiologia e ecologia buscando o maior entendimento do fluxo reverso de água atmosfera-planta-solo, contrário ao que se observa na literatura clássica considerando o sistema solo-planta-atmosfera.

Assim, os objetivos específicos foram:

- Avaliar se a composição química e a ornamentação da cutícula interferem na FWU
- Avaliar se as diferentes proporções de celulose e pectina na parede celular interferem na FWU

- Verificar se as diferentes capacidades de FWU influenciam no balanço hídrico e de carbono e na termotolerância das espécies.
- Analisar se o metabolismo oxidativo tem relação com as distintas capacidades de FWU.
- Verificar o comportamento fisiológico e fenológico de espécies com distintas respostas à presença de neblina.

Referências

- Benites VM, Caiafa, AN, Mendonça ES, Schaefer, CE, Ker JC. 2003. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e Ambiente* 10:76-85.
- Berry ZC, Emery NC, Gotsch SG, Goldsmith GR. 2019. Foliar water uptake: processes, pathways, and integration into plant water budgets. *Plant Cell and Environmental* 42:410–423.
- Boanares D, Ferreira BG, Kozovits AR, Sousa HC, Isaias RMS, França MGC. 2018a. Pectin and cellulose cell wall composition enables different strategies to leaf water uptake in plants from tropical fog mountain. *Plant Physiology and Biochemistry* 122:57–64.
- Boanares D, Isaias RMS, Sousa HC, Kozovits AR. 2018b. Strategies of leaf water uptake based on anatomical traits. *Plant Biology* 20:848–856.
- Eller CB, Lima AL, Oliveira RS. 2013. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species, *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). *New Phytologist* 199: 151–162.
- Gouvra E, Grammatikopoulos G. 2003. Beneficial effects of direct foliar water uptake on shoot water potential of five chasmophytes. *Canadian Journal of Botany* 81: 1280–1286.
- Jacobi CM, Carmo FF (2012) Diversidade florística nas cangas do Quadrilátero Ferrífero. IDM, Belo Horizonte.
- Leuschner C. 2000. Are high elevations in tropical montane arid environments for plants? *Ecology* 81: 1425-1436.
- Limm E, Simonin K, Bothman A, Dawson T. 2009. Foliar water uptake: a common water acquisition strategy for plants of the redwood forest. *Oecologia* 161:449-459.

Lista de abreviaturas

FWU - foliar water uptake	PD ds - Predawn dry season
LWU - leaf water uptake	PD ds fog - Predawn dry season with fog
CW - cuticular wax	MD ds - Midday dry season with fog
EW - epicuticular wax	MD ds fog – Midday dry season with fog
C_{\max} - maximum leaf water absorption	PD rs - Predawn rainy season
k - foliar water absorption speed	MD rs - midday rainy season
C_{\max}^L - total amount of water leaf lost	SPAC - soil-plant-atmosphere continuum
k^L - water leaf lost speed	Fv/Fm - potential quantum yield of photosystem II
GLM - General Linear model	T_{50} - temperature of Fv/Fm 50% decline
LMM - linear mixed model	PSII - photosystem II
HGA - Homogalacturonans	ROS - reactive oxygen species
RG - rhamnogalacturonans	CAT - catalase
LEM – leaf specific mass	SOD - superoxide dismutase
LSA - leaf specific area	APX - ascorbate peroxidase
RWC - relative water content	LQ - species that absorb less water more quickly
WSD - water saturation deficit	MS - species that absorb more water more slowly
A - net CO ₂ assimilation	PRI - photochemical reflectance index
E - transpiration	NDVI - normalized difference vegetation index
g_s - stomatal conductance	APSC – atmosphere-plant-soil continuum
C_i / C_a - internal carbon and ambient carbon ratio	
WUE - water-use efficiency	
iWUE – intrinsic water-use efficiency	
Ψ_w – water potential	

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas têm capacidades distintas de absorver água pelas folhas (foliar water uptake – FWU) e essa característica decorre de atributos particulares de cunho morfológico, anatômico e ultraestrutural. Esses atributos, conseqüentemente, contribuem para as diferentes respostas ecofisiológicas, de caráter bioquímico e fenológico. A possibilidade de absorver água pelas folhas pode influenciar na sobrevivência de espécies de um determinado ambiente, principalmente mediante as mudanças no regime de precipitação previstas nos modelos climáticos globais. Utilizando dois ecossistemas (Campo rupestre ferruginoso e ecótono-mediterrâneo-temperado) e também sete espécies com diferentes capacidades de absorção foliar de água podemos verificar a influência da FWU em todos os atributos descritos acima e a importância da neblina para a ocorrência destas espécies nestes dois ambientes.

Quanto à ultraestrutura celular, foi mostrado que existe relação entre as ornamentações de cera epicuticular, composição química da cera cuticular e da parede celular com as diferentes capacidades de FWU. Verificou-se que a proporção dos componentes da cera e da parede celular interfere nas diferentes estratégias de absorver água rápido, porém em menor quantidade ou mais lentamente, mas em maior quantidade. Como perspectivas, o isolamento da cera cuticular para análises mais aprofundadas da permeabilidade cuticular permitirá o maior entendimento do fluxo reverso de água na epiderme das folhas.

Embora a FWU tenha interferido negativamente na assimilação de CO₂, essa interferência foi breve e evitou a perda de água através da transpiração, aumentando o status hídrico da planta na estação seca, onde a única forma de precipitação é a neblina. A neblina demonstrou ter um papel fundamental na melhoria do status hídrico das espécies na estação chuvosa e principalmente na estação seca na presença de neblina.

Verificou-se que entre as estratégias de FWU, as espécies que absorvem lentamente uma quantidade maior de água (*T. laniflora*, *P.heteromallum*, *M. corallina*, e *E. erythropappus*) tiveram melhor desempenho fotossintético com maior aumento da termotolerância e diminuição

e/ou desaparecimento da fotoinibição comparado com as espécies que absorvem água mais rapidamente, mas em menor quantidade (*O. pulchella*, *B. variabilis* e *L. australis*). O metabolismo oxidativo também foi associado às estratégias de FWU. As espécies que apresentam a estratégia de maior velocidade de absorção foram também as mais sensíveis, já que houve aumento de espécies reativas ao oxigênio comparado com aquelas que possuem a estratégia de absorver mais lentamente maior quantidade de água.

Já foi demonstrado indiretamente em alguns destes parâmetros (trocas gasosas, eficiência fotossintética, termotolerância e metabolismo oxidativo) e diretamente através de medidas de potencial hídrico das plantas na estação seca com neblina, a importância da neblina no campo rupestre ferruginoso. Assim, visando avaliar a importância da neblina em outro ecossistema, foram utilizadas duas espécies do ecótono mediterrânico e temperado, visto que pesquisas da Universidade Autônoma de Barcelona, verificaram diferentes respostas no crescimento dessas espécies em relação à neblina. Como esperado, foram mostrados respostas fisiológicas diferentes em relação à prevenção de fotoinibição e melhora dos índices vegetativos na presença de neblina. Além disso, foi visto a interferência da neblina na fenologia de *Fagus sylvatica* até então nunca verificado, ou seja, a manutenção das folhas de uma espécie decídua em condições de estresse hídrico minimizado pela ocorrência de neblina. Com a diminuição nos eventos de neblina, ocorre uma aceleração da queda foliar. Para finalizar, compilamos todas as principais vias de entrada de água a partir das folhas para aprimorar o modelo o ciclo da água no sistema atmosfera-planta-solo.

Em conclusão, as plantas que apresentaram a estratégia de absorver lentamente maior quantidade de água tiveram maior sucesso nos parâmetros fotossintéticos, na termotolerância e no metabolismo oxidativo comparado com as espécies que absorvem água mais rapidamente mas em menor quantidade. Assim, o conhecimento de como cada estratégia interfere nestes atributos ajudará na escolha de espécies mais adaptadas aos futuros cenários climáticos para a revegetação destes ecossistemas, e também contribuirá na previsão do cenário das possíveis mudanças na paisagem e quais as espécies serão mais susceptíveis ou tolerantes a essas

mudanças. Foi demonstrado que a neblina tem um papel importante para todas as espécies estudadas nos distintos ecossistemas (*T. laniflora*, *P.heteromallum*, *M. corallina*, *E. erythropappus*, *O. pulchella*, *B. variabilis*, *L. australis*, *F. sylvatica* e *Q. ilex*), sendo um fenômeno meteorológico importante e necessário para a sobrevivência destas plantas.

EPÍLOGO

Voar com asa ferida?

Abram alas quando eu falo.

*Fiz, pequeno, quando o tempo estava todo do meu lado e o que se chama passado,
passatempo, pesadelo só me existia nos livros.*

*Feliz, depois, dono de mim, quando tiver que escolher entre um abismo, o começo, e
essa história sem fim.*

Asa ferida, asa ferida,

Meu espaço, meu herói. A asa arde. Voar, isso não dói.

Paulo Leminski

A maior riqueza do homem é sua incompletude.

Nesse ponto sou abastado.

Palavras que me aceitam como sou

— eu não aceito.

*Não aguento ser apenas um sujeito que abre
portas, que puxa válvulas, que olha o
relógio, que compra pão às 6 da tarde, que vai
lá fora, que aponta lápis, que vê a uva etc. etc.*

Perdoai.

Mas eu preciso ser Outros.

*Eu penso renovar o homem
usando borboletas.*

Manoel de Barros

E valeu a pena!!!