

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE HIDROBIOLOGIA

DRIÉLLI DE CARVALHO VERGNE

EFEITO DA ESPÉCIE INVASORA *Hedychium
coronarium* J. KÖNIG (ZINGIBERACEAE) NA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO E NO LENÇOL FREÁTICO

SÃO CARLOS -SP

2020

DRIÉLLI DE CARVALHO VERGNE

EFEITO DA ESPÉCIE INVASORA *Hedychium coronarium* J. KÖNIG (ZINGIBERACEAE)
NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E NO LENÇOL FREÁTICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais ao Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Dalva Maria Silva Matos

Coorientador: Prof. Tit. Edson Wendland

São Carlos-SP

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Driéli de Carvalho Vergne, realizada em 06/03/2020:

Prof. Dra. Dalva Maria da Silva Matos
UFSCar

Prof. Dra. Raquel Stucchi Boschi
UFSCar

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Xavier
USP

Prof. Dr. Fábio Ricardo Marin
ESALQ/USP

Prof. Dr. Jamil Alexandre Ayach Anache
UFMS

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Fábio Ricardo Marin, Jamil Alexandre Ayach Anache e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dra. Dalva Maria da Silva Matos

À Vó Nida (*in memorium*),
meu maior exemplo de serenidade e paciência!

AGRADECIMENTOS

Às Energias do Universo (ou Deus) e à Vida por me colocarem onde eu deveria estar e por me permitirem viver todos esses momentos. Por fazerem de mim quem eu sou para que pudesse finalizar essa etapa, me fazendo entender que cada coisa tem que acontecer no seu devido tempo e não quando nós queremos. À toda minha família, principalmente minha mãe Mara, por ser meu segundo exemplo de paciência e serenidade. Mãe, amo você! Ao meu irmão Matheus; minha cunhada Kessy e minha sobrinha Catarina por me mostrarem que o amor está nas pequenas coisas da vida e que quando as dificuldades aparecem, é na família que encontramos a coragem e o apoio para seguir em frente. Ao meu pai Henrique, por me mostrar o quão forte e determinada eu sou. Ao meu companheiro de vida e de mais essa jornada, Eduardo. Obrigada por estar ao meu lado sempre, não me permitir esquecer de tudo o que sou e o que conquistei até agora. Obrigada por acreditar em mim quando nem eu acreditava. Amo vocês!

À Dalva pela orientação, oportunidades, risadas, viagens e exemplo de pesquisadora. Obrigada pelas palavras de incentivo e encorajamento, principalmente no final do doutorado, quando eu estava à beira de um surto.

Ao Edson pela oportunidade de trabalhar em uma área completamente nova e desafiadora. Apesar das dificuldades, cada nova descoberta e aprendizagem me lembrava do porquê eu ter escolhido a pesquisa como profissão.

À Raquel e a Gabi pela atenção durante várias etapas desse trabalho. Gabi, obrigada por ser a melhor ouvinte que eu poderia encontrar e por compartilhar experiências acadêmicas e de vida comigo. Raquel, obrigada por ser objetiva e calma, você me ajudou a clarear as ideias e ordenar meus pensamentos. Vocês duas são exemplos para mim!

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia e Conservação, Jair, Rosane, Nina, Lílian, Lucas, Larissa, Marcos, Janaína e Márcia pelos dias bons e ruins compartilhados. Estamos todos no mesmo barco e “vamo que vamo”! Em especial ao Jair e à Márcia pelas horas de conversas no laboratório que eram revertidas em alívio, principalmente nos momentos em que estávamos mais cansados e desanimados. Márcia, obrigada pela companhia em campo, principalmente compartilhando os carrapatos e a “*playlist*” do Fazari. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, ao departamento de Hidrobiologia e à Universidade Federal de São Carlos. À CAPES e à Fapesp pelas bolsas concedidas.

Ao pessoal do Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC – USP) pelos ensinamentos nessa área tão nova para mim, mas tão básica para vocês. Agradeço pela ajuda com a metodologia do meu trabalho, pela companhia nos seminários, pelas partidas de “*ping-pong*”, pelas conversas e cafés. Em especial ao Jean pela paciência nos ensinamentos sobre evapotranspiração e como calculá-la usando o Python.

Às minhas “Buchas” (Eleven e Ana) por serem minha companhia durante todo o processo de escrita e por me mostrarem que gatos são muito mais companheiros que muito humano por aí.

À Mariane, por ser minha amiga desde o momento em que estávamos sozinhas e perdidas na UNIFAL. Obrigada por ter me trazido para UFSCar, por estar presente em todas as etapas da minha vida acadêmica e pessoal; e por me mostrar como a vida é mais simples do que parece. Tenho certeza de que sem você tudo seria muito mais difícil e pesado do que foi. Sou imensamente feliz por tê-la como exemplo de pesquisadora e professora. Amigue, amo você!

À Lívia por toda a doçura, paciência, inteligência e dedicação comigo. Lívia, tenho em você uma amiga, exemplo de mulher inteligente e maravilhosa. Ver toda sua dedicação e cuidado com o nosso trabalho só me dá mais força e energia para não desistir do que se apresenta difícil na vida.

Ao Janderson por ser mais que meu parceiro de trabalho, meu parceiro de vida. Obrigada por me ajudar em tantos processos, sejam eles experimentais, de campo, teóricos e/ou de “gambiarra”. Parça, você é parte desse trabalho e sem você eu não conseguiria chegar aqui. Gratidão eterna pelas “brejas”, caldos de cana e cafés; e por todo esse trabalho ser base para nossa amizade que vai além de tudo isso.

Ao Jhonas por ter me ensinado as medicinas do corpo, mente e espírito. Migo, tenha certeza de que a sua presença e seu conhecimento me mostrou outro tipo de cuidado comigo mesma, e ele foi fundamental durante o percurso. Gratidão por ter te encontrado nesse percurso tortuoso da academia e por saber que nossa amizade vai além.

Aos amigos: Karin, Carmen, Carol, Marina, Geo, Neto, Camila, Ghetto, Rosane, Matheus, Tainá e Douglas pelas conversas, “brejinhas” e amor compartilhado durante todos esses anos. Obrigada por fazerem “mutirão do desmonte” divertido e mais leve. Sou eternamente grata por vocês cruzarem meu caminho e vou carregar um pouco de cada um comigo.

Ao time feminino de flag São Carlos Bulldogs por ser minha válvula de escape e manutenção da minha saúde mental durante três anos. Foi como atleta que entendi que

algumas coisas na vida precisam ser feitas “na base” do ódio! (Obrigada Porta por isso! risos). Obrigada à todas às mulheres maravilhosas (Gabi, Érica, Baby, Baratinha, Cheer, Van Double, Fer Double, Gi, Helena, Ju, Lari, Leis, Mire, Nayra, Ingrid, Sassá, Tay, Badgers, Rachel e DP) pela adrenalina compartilhada, pelas “babilônias” de pós jogo, pela TUSCA e pelo melhor amigo oculto de todos os tempos.

Ao técnico Luizinho pela ajuda em campo; pelas conversas sobre ser “fitness” e atleta aos 60 anos.

A Giu pela ajuda na transcrição do artigo para o inglês.

Ao pessoal do SGAS: Fernando, Dito, Sr. Zé, Rose, Roberta, Altair e Marcelo.

Ao pessoal da Estação Ecológica de Mogi Guaçu por todo apoio e ajuda.

Ao Maiser Alves pela ajuda na programação do arduíno. Agradeço a sua atenção e dedicação em me ensinar um “tiquinho” desse mundo fantástico que é a programação.

À Laura pelos “*stories*” que fizeram meus dias mais divertidos; pelas conversas sobre vida acadêmica, educação e gatos; pelos cafés. Ao Luciano pela ajuda na criação de figuras demonstrativas do experimento.

À banca avaliadora pelas considerações e disposição em contribuir com esse trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho. Me sinto com muita sorte por ter encontrado tanta gente boa e com disposição a me ajudar durante todo esse processo. O caminho é longo, não é fácil, mas tenho certeza de que sem muita gente, teria sido muito mais difícil. GRATIDÃO ETERNA!

“Em tempos de crise, os sábios constroem pontes,
enquanto os tolos constroem muros”

T'Challa

RESUMO

As invasões biológicas estão entre as principais causas da perda de biodiversidade, além de serem capazes de alterar os processos a nível de ecossistemas, tais como produtividade, ciclagem de nutrientes, regime hidrológico, desenvolvimento do solo e regime de distúrbios. As alterações causadas por espécies invasoras na composição das espécies em um ambiente podem comprometer a oferta dos serviços ecossistêmicos. A água é um desses serviços que podem ser prejudicados pelas invasões biológicas, sendo que os processos de evapotranspiração (ET) e a variação do nível do lençol freático também podem ser afetados. Para quantificar o impacto de *Hedychium coronarium* no regime hidrológico, comparamos a ET e o nível do lençol freático entre uma área invadida e não invadida. Além disso, calculamos a evapotranspiração de referência (ET_0) e consequentemente, o coeficiente da planta (K_p) para *H. coronarium* e um conjunto de espécies nativas de floresta ripária; e relacionamos o crescimento das espécies com a ET mensal. A ET diária da espécie *H. coronarium* foi baixa quando comparada com espécies nativas e uma mistura da espécie invasora e nativas. Assim, a ET diária e a ET acumulada da mistura das espécies foi maior do que os outros tratamentos, mostrando que a heterogeneidade da vegetação apresenta maiores valores de ET. Além disso, a ET mensal teve relação positiva com altura, diâmetro na altura do solo e número de rametas (para *H. coronarium*) indicando que as espécies (invasora ou nativas) investem em crescimento para buscar luminosidade e ocupar a área. Os valores de K_p tendem a aumentar ao longo do tempo refletindo os diferentes estágios de desenvolvimento dessas espécies. A profundidade do lençol freático foi menor nas áreas invadidas. Nossos resultados mostram que as ações antrópicas estão diretamente ligadas aos processos de invasão por *H. coronarium* e que a ausência de inimigos naturais, bem como a habilidade competitiva dessa espécie favorece a sua dominância nos ambientes, o que diminui a evapotranspiração, bem como a infiltração de água no solo. Além disso, essa espécie é capaz de causar um “feedback” positivo em benefício próprio.

Palavras chave: Floresta ripária. Evapotranspiração. Coeficiente vegetal. Lençol freático. Invasões biológicas. Serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

Biological invasions are among the main causes of biodiversity loss, to being able to change processes at ecosystems' level, such as primary and secondary productivity, nutrient cycling, hydrological cycle, soil development and disturbance frequency. Changes caused by invasive species in the composition of environment can reduce or eliminate the provision of ecosystem services. Water is one of those services that can be damaged by biological invasion, and evapotranspiration (ET) and variation in the water table level can also be affected. We assessed the impact of the *Hedychium coronarium* species on ET over 14 months and water table level, in an invaded and non-invaded area. We calculated the reference evapotranspiration (ET_0) and hence the plant coefficient (K_p) for the invasive species and a group of native species of riparian forest; and we relate the growth of species to the monthly ET. The daily ET exhibited by *H. coronarium* was low compared to native species and mixture of invasive and native species. Thus, daily ET and accumulated ET of the mixture was higher than the other treatments, showing that the heterogeneity of the vegetation presents higher ET values. In addition, monthly ET was related to height, diameter at ground level and number of genets (for *H. coronarium*) indicating that species (invasive or native) have greater investment in growth to find light and occupy the area. The K_p values tend to increase over time reflecting the different stages of development of these species. Water table depth was greater in the invaded areas. Our results show that anthropic actions are directly linked to the invasion processes by *H. coronarium* and that the absence of natural enemies, as well as the competitive ability of this species, favors the environments' dominance, which reduces evapotranspiration, as well as infiltration of water in the soil. In addition, this species can cause positive feedback for its own advantage.

Key words: Riparian forest. Evapotranspiration. Crop coefficient. Water level table. Biological invasions. Ecosystem services.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Distribuição global da espécie *Hedychium coronarium* segundo a classificação de invasora (círculos azuis), naturalizada (círculos amarelos) e sem classificação (círculos lilases). Fonte: CABI 2019. 26
- Figura 2: Etapas do processo de montagem do lisímetros na Secretaria de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (SGAS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar): (a) Esquema dos lisímetros utilizados no experimento de evapotranspiração; (b) imagem da brita; (c)) areia; (d) terra vegetal e solo horizonte A2; (e) lisímetro simulando um ambiente totalmente invadido pela espécie *Hedychium coronarium*; e (f) lisímetro simulando um ambiente não invadido e com a presença das espécies nativas (*Bromeliaceae*, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*). 30
- Figura 3: Imagem dos seis lisímetros, com a espécie invasora (*Hedychium coronarium*) e as quatro nativas (*Bromeliaceae*, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*), montados na casa de vegetação na Secretaria de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (SGAS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). 31
- Figura 4: Imagem de um dos canos de PVC acoplado lateralmente ao lisímetro com a fita graduada (a) e uma imagem mais detalhada (b) da verificação do nível de água manualmente..... 32
- Figura 5: Imagem dos tubos de PVC: (a) perfurados, (b) revestidos de manta geotêxtil e (c) inseridos no lisímetro. 32
- Figura 6: Diver utilizado para medir o nível de água nos lisímetros (a) e Baro Diver utilizado para medir a pressão atmosférica local (b). Os divers foram inseridos em um

tubo de PVC no centro de cada lisímetro e realizavam as medidas do nível de água a cada 15 minutos, por um período de 14 meses. 33

Figura 7: Etapas do experimento para obtenção do rendimento específico (Sy) aplicados em cada um dos lisímetros. (a) Instalação da torneira para a liberação da água; (b) corte de todas as espécies (*Hedychium coronarium* e as quatro diferentes nativas) presentes nos lisímetros; (c) saturação do solo; (d) lisímetros com tampa para evitar a transpiração de água durante o processo de saturação do solo; e (e) contabilização do tempo da saída de cada 2,5 litros de água em cada um dos lisímetros até o final da drenagem. 36

Figura 8: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração diária (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) ao longo de 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas..... 54

Figura 9: Evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos ao longo do período de estudo: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses..... 55

Figura 10: Evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram

mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 56

Figura 11: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração diária acumulada (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) (vermelho) ao longo de 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. 58

Figura 12: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração da evapotranspiração de referência (ET₀), evapotranspiração (ET) diária (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas..... 59

Figura 13: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração de referência (ET₀) (mm/d) e evapotranspiração (ET) diária (mm/d) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. 60

Figura 14: Representação gráfica do coeficiente da planta (K_p) mensal e da temperatura média do ar (°C) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b)

lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. 62

Figura 15: Coeficiente da planta (K_p) em seis lisímetros com três diferentes tratamentos: (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre os lisímetros ($p < 0,05$). 63

Figura 16: Valores do coeficiente da planta médio (K_p) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. 77

Figura 17: Coeficiente da planta (K_p) em três diferentes tratamentos: (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. 77

Figura 18: Pontos de coleta situados no Córrego do Cortado, Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu, localizada no distrito de Martinho Prado Jr., município de Mogi Guaçu, São Paulo. 86

Figura 19: Disposição dos poços instalados (círculos pretos) em relação ao corpo d'água (retângulo azul) na área invadida e não invadidas de floresta ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.), totalizando 10 poços. Os poços foram instalados levando em conta a extensão total das áreas invadidas e não invadidas pela espécie *Hedychium coronarium*, em cada uma das áreas estudadas. 87

Figura 20: Processo de perfuração do solo com o trado manual para a instalação dos poços (a) e água aflorando no solo já perfurado (b). Foram instalados poços nas áreas invadidas pela espécie *Hedychium coronarium* e não invadidas de Floresta Ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.), totalizando 10 poços. 88

Figura 21: Processo de confecção e instalação dos poços nas áreas invadidas pela espécie *Hedychium coronarium* e não invadidas de Floresta Ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.). (a) Tubo de PVC de 60 mm cortado e perfurado, (b) revestido com manta geotêxtil e “cap” para que a água subterrânea fosse capaz de adentrar no tubo. (c) Instalação do poço no solo perfurado com o trado manual para que fosse possível o monitoramento do lençol freático durante os 12 meses de estudo. 89

Figura 22: Poços instalados com o suporte JANDRIL na (a) área invadida e (b) não invadida. 89

Figura 23: Profundidade do lençol freático (metros) na área invadida (em preto) e não invadida (em cinza) pela espécie *Hedychium coronarium*, nos diferentes poços instalados (de 1 a 10) no Córrego do Cortado ao longo do período de estudo. Houve diferença estatísticas significativas ($p < 0,05$) na profundidade do lençol freático entre as áreas invadidas e não invadidas. 91

Figura 24: Córrego do Cortado situado na Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu, localizada no distrito de Martinho Prado Jr., município de Mogi Guaçu, São Paulo. A área é uma mata ripária de mais ou menos 1600 metros de comprimento, e largura variando de 50 a 100 metros ao longo do córrego; além de fazer divisa com uma área de Cerrado de um lado e do outro, com culturas agrícolas (Imagem do Google Earth).
..... 93

Figura 25: Profundidade do lençol freático (metros) na área invadida (em preto) e não invadida (em cinza) pela espécie *Hedychium coronarium*, nos diferentes poços instalados no Córrego do Cortado ao longo do período de estudo. A profundidade do lençol freático na área não invadida se mostra maior do que na área invadida pela espécie. 95

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Valores do rendimento específico (S_y), em porcentagem, calculado para cada um dos lisímetros, a fim de conseguirmos calcular a evapotranspiração. O V_t é o volume total de cada lisímetro e V_d é o volume drenado, ambos em litros..... 37
- Tabela 2: Teste de Tukey comparando a evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses..... 53
- Tabela 3: Evapotranspiração diária (mm/d) (mínima, média e máxima) com sua respectiva temperatura do ar (°C) e também a respectiva data, nos três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses..... 56
- Tabela 4: Valores do coeficiente da planta (K_p) para todos os lisímetros utilizados no experimento submetidos aos três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. 61

Tabela 5: Resultados de Modelos Lineares Mistos relação entre evapotranspiração mensal (mm/mês) e as variáveis testadas: tipos de tratamentos (tratamento 1: lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; tratamento 2: lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e tratamento 3: uma mistura da invasora e das nativas), estação do ano (inverno e verão), altura (cm), diâmetro na altura do solo (DAS), taxa de crescimento e número de rametas..... 76

Tabela 6: Resultado de Modelos Lineares Mistos analisando a relação entre variável resposta estudada, profundidade do lençol freático, com as variáveis explicativas medidas (tipo de área, umidade do solo, precipitação e temperatura média) em áreas invadidas e não invadidas pela espécie *Hedychium coronarium*, no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr., Mogi Guaçu). 91

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	21
2. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE ESTUDADA	25
3. OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. HIPÓTESES	27
5. MATERIAL E MÉTODOS	28
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
5.2 Métodos	28
5.3 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET)	34
5.4 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET ₀) E DO COEFICIENTE DA PLANTA (K _p)	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
7. CAPÍTULO 1	46
RESUMO	46
Introdução	48
Material e métodos	50
Metodologia	50
Cálculo da evapotranspiração (ET)	51
Cálculo da evapotranspiração de referência (ET ₀) e do coeficiente da planta (K _p)	51
Análises estatísticas	52
Resultados	53
Discussão	63
Conclusão	66
Agradecimentos	67
Referências bibliográficas	67
Apêndice	70
8. CAPÍTULO 2	72
RESUMO	72
Introdução	73
Material e Métodos	74
Metodologia	74
Cálculo da evapotranspiração (ET), evapotranspiração de referência (ET ₀) e do coeficiente da planta (K _p).....	74
Dados de crescimento.....	75
Análises estatísticas.....	75

Resultados	75
Discussão	78
Conclusão	80
Agradecimentos	80
Referências bibliográficas	80
9. CAPÍTULO 3	83
RESUMO	83
Introdução	84
Material e métodos	86
Caracterização da área de estudo	86
Metodologia	87
Análises estatísticas.....	90
Resultados	90
Discussão	92
Conclusão	95
Agradecimentos	96
Referências bibliográficas	96
10. CONCLUSÕES GERAIS	99

1. INTRODUÇÃO GERAL

A movimentação do ser humano através das várias regiões do mundo acarretou diversas mudanças no meio ambiente, entre elas o transporte de espécies à várias regiões diferentes, nas quais estas não ocorriam originalmente. Assim, uma espécie exótica ou introduzida é aquela na qual possui uma origem diferente do local ou região em que se encontra. Por não pertencer àquele ambiente, e conseqüentemente, apresentar uma alta taxa de crescimento populacional, uma espécie exótica pode se tornar invasora (ELTON, 1958). Além de serem uma das principais causas da perda de diversidade biológica (VITOUSEK et al., 1997; IUCN, 1999; SIMBERLOFF; REJMANEK, 2011), as invasões biológicas são capazes de alterar os processos a nível de ecossistemas, tais como produtividade primária e secundária, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, desenvolvimento do solo e regime de distúrbios (VITOUSEK, 1986).

Uma espécie pode possuir características que contribuem com sua invasividade, ou seja, que favorecem o processo de invasão biológica (REJMANEK, 2011). A invasividade de espécies vegetais parece estar associada a rápida dispersão dessas espécies, devido à grande produção de sementes pequenas, rápido crescimento e maturação precoce, alta capacidade de adaptação as novas condições do ambiente, além da elevada capacidade de competição e proliferação (SILVA MATOS; PIVELLO, 2009; MARK VAN KLEUNEN et al. 2010). Além dos atributos da espécie invasora, o processo de invasão pode ser influenciado pela susceptibilidade do ambiente às invasões, também denominado invasibilidade (FRIDLEY, 2011). Alguns ambientes podem ser mais propícios aos processos de invasão do que outros, já que ambientes invadidos, geralmente, apresentam uma maior frequência de distúrbios, resistência biótica, disponibilidade de recursos, entre outros; o que os tornam ambientes mais abertos e degradados (ALPERT et al., 2000).

As alterações causadas por espécies invasoras na composição das espécies em um ambiente podem reduzir ou eliminar a capacidade de um ecossistema fornecer serviços ecossistêmicos (FENN et al., 2003; CHARLES; DUKES, 2007; PEJCHAR; MOONEY, 2009), que são benefícios prestados pelos ecossistemas que contribuem para tornar a vida humana possível e com melhor qualidade (DAILY et al., 1997). De acordo com a Avaliação Ecológica do Milênio (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT –

AM), os serviços ecossistêmicos podem ser divididos em quatro categorias: i) "serviços de provisionamento": fornecem produtos diretamente para os seres humanos, tais como água, alimentos, madeira; ii) "serviços de regulação": aqueles que mantêm a vida viável no planeta, como polinização, controle de surtos de doenças e estabilização do clima; iii) "serviços culturais": a manutenção da qualidade de vida no planeta, incluindo aqui o lazer, os serviços de estética, religioso e tecnológico; iv) "serviços de apoio": são serviços que permitem a manutenção de outros serviços, tais como, ciclagem de nutrientes, formação do solo, refúgio para a fauna, entre outros. Embora o interesse em avaliar os serviços ecossistêmicos tenha aumentado exponencialmente nos últimos anos (NICHOLSON et al., 2009; BALVANERA et al., 2012), as perdas destes serviços causados por espécies invasoras ainda são pouco conhecidas (SUDING et al., 2004; VILÀ et al., 2011; FUNK et al. 2014; WALSH et al. 2016).

Um dos principais serviços ecossistêmicos de provisionamento que pode ser alterado pela presença de espécies invasoras é água. A hidrologia é a ciência que estuda a água presente no planeta Terra, sua circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, além da sua relação com o meio ambiente e os seres vivos (CHOW, 1964). É uma área do conhecimento que abrange a compreensão e entendimento dos ciclos hidrológicos e recursos hídricos. Os ciclos hidrológicos são responsáveis pela movimentação da água pelo globo terrestre, sendo que a sua entrada ocorre via precipitação da água da atmosfera para a superfície (chuva, granizo, neve, orvalho e geada), e o seu retorno da superfície para a atmosfera se dá através da evapotranspiração (ET), que é o conjunto de dois processos (evaporação e transpiração). A evaporação é a transferência da água líquida para vapor do ar presente em rios, lagos, reservatórios, oceanos, e até mesmo a água presente nos solos. Porém, a transferência da água presente nos solos é mais comumente realizada através do processo de transpiração. A transpiração ocorre pela retirada de água do solo pelas raízes das plantas, que passa através da planta toda e saindo pelos estômatos. A evaporação e a transpiração (evapotranspiração) ocorrem simultaneamente e dependem diretamente da demanda da atmosfera, da intensidade da radiação (energia), da disponibilidade de água no solo (VERSTRAETEN et al., 2008) e da velocidade do vento. A intensidade da radiação pode variar espacialmente e temporalmente, e é controlada pela capacidade refletora da superfície (albedo). Geralmente, locais com superfície mais clara tem maior poder refletor do que as superfícies escuras, ou seja, possuem menos energia disponível (PEREIRA et al., 1997). Sendo assim, vegetações mais escuras, como florestas, refletem menos radiação

do que um gramado, e conseqüentemente, possuem maior capacidade de evapotranspiração (PEREIRA et al., 1997). Por ser uma variável importante do ciclo hidrológico, estimar e monitorar a evapotranspiração pode nos ajudar a compreender melhor a interação da vegetação, solo e atmosfera (ESMAEILABADI, 2014).

A evapotranspiração de referência (ET_0) consiste na quantidade de água do solo que está disponível para evaporar de superfícies com vegetação específica (JENSEN et al., 1990). Assim, a ET_0 é a taxa de ET de uma superfície uniforme de vegetação densa e ativo crescimento, com específica altura e resistência superficial, sem restrição de água no solo e com uma extensão de pelo menos 100 m do mesmo tipo de vegetação ou vegetações semelhantes (ALLEN, 2005). O conceito de ET_0 foi desenvolvido para se estudar a demanda evaporativa na atmosfera, independentemente do tipo e do estágio de desenvolvimento da cultura, e das suas práticas de manejo (ZOTARELLI et al., 2010). A partir do conceito de ET_0 é possível calcular o coeficiente de cultura (K_c) para uma determinada espécie ou conjunto delas. O K_c é determinado com base nas condições locais, sendo um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos de cada espécie (MEDEIROS et al., 2004). Assim, os valores de K_c tendem a variar ao longo do tempo, pois essas mudanças se devem aos diferentes estágios de crescimento das espécies.

A precipitação é o processo pelo qual a água volta para a superfície da terra, sendo que a maior parte dessa água é absorvida pelo solo; uma parte escoada pela superfície para abastecer os corpos hídricos, e a última parte infiltra nas camadas mais inferiores do solo. A infiltração é um processo importante para o crescimento vegetal, para o abastecimento dos aquíferos, para o armazenamento de água do fluxo nos rios durante a estiagem, para a redução do escoamento superficial, das cheias e da erosão nos solos (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Alguns fatores são importantes e interferem no processo de infiltração, tais como: o tipo de solo, já que a capacidade de infiltração varia com a porosidade deste; a umidade do solo, solos mais secos são capazes de absorver uma maior quantidade de água do que solos mais úmidos; o tipo de vegetação, por exemplo, coberturas florestais densas são capazes de promover maior infiltração, principalmente devido à presença de raízes que permitem a passagem da água de maneira mais facilitada, além de ajudarem na prevenção da compactação do solo; e a compactação do solo, pois solos nus podem se tornar parcialmente impermeáveis a infiltração de água (STUDART; CAMPOS, 2008). Assim, a vegetação terrestre desenvolve funções essenciais no ciclo hídrico, já que este, na ausência desse tipo de vegetação, pode ser mais lento devido a sua menor perda evaporativa e menores taxas de precipitação (FRAEDRICK et al., 1999).

A vegetação também tem efeito direto no balanço entre precipitação e evapotranspiração, que pode ser influenciado tanto por fatores físicos quanto biológicos. Dentre os físicos pode-se citar a radiação solar; umidade de solo, principalmente em climas sazonais; tamanho da gota da chuva e seu efeito na interceptação; além da velocidade do vento (LE MAITRE, 2011). Já os biológicos incluem a fenologia foliar (plantas sempre-verdes, semi-decíduas ou decíduas), no tamanho (altura, diâmetro do caule e área foliar) e na profundidade do sistema radicular da planta (LE MAITRE, 2011). A substituição de vegetação nativa no Sul da África, América do Sul e Austrália tem causado mudanças no balanço entre a precipitação e a evapotranspiração, já que as novas espécies vegetais possuem atributos biológicos diferentes da vegetação nativa. Por exemplo, o dossel mais homogêneo de uma área dominada por gramíneas pode limitar a circulação de ar por formar uma borda de umidade que limita a transpiração. Já uma vegetação com predomínio de árvores, possui um dossel mais heterogêneo e com maior área foliar, o qual permite uma maior circulação de ar e, conseqüentemente, pode aumentar a evapotranspiração nessa área (LE MAITRE, 2011).

Os ambientes ripários são formados por três componentes de interação entre os ecossistemas aquático e terrestre: (1) vegetação ripária, (2) solo e (3) regimes hidrológicos (MANCI, 1989; SEDELL et al., 1991). Florestas ripárias bem preservadas, geralmente, apresentam alta produtividade primária, principalmente devido à alta concentração de nutrientes no solo e disponibilidade de água. Além disso, são dinâmicas (ASAEDA et al., 2011) e em condições naturais, as inundações (BRUNET; ASTIN, 2000) promovem grandes perturbações e, conseqüentemente, alteram a forma da estrutura da vegetação (MÜLLER, 1995). A combinação da alta produtividade e perturbações periódicas contribuir com a alta biodiversidade desses ambientes, os quais podem oferecer vários serviços ecossistêmicos (VIDAL-ABARCA GUTIERREZ; ALONSO, 2013), como o aporte e regulação de água e nutrientes. Entretanto, a degradação das florestas ripárias é um cenário comum em todo o mundo, já que são ambientes que sofrem diretamente com as ações antrópicas (HEJDA; PYŠEK, 2006; JÄGER et al., 2007; MEEK et al., 2010). A degradação dessas áreas pode favorecer invasões biológicas (TERERAI et al., 2013), já que as áreas ripárias muitas vezes recebem uma grande quantidade de propágulos de espécies invasoras, incluindo tanto sementes quanto fragmentos de material vegetativo (FRIDLEY, 2011).

A presença de plantas invasoras pode acarretar impactos negativos sob o regime hídrico, seja na qualidade e/ou na quantidade de água disponível. Essas espécies vegetais

podem utilizar uma maior quantidade de água no ciclo de vida, principalmente por possuírem altas taxas de evaporação quando comparadas com as espécies nativas (MALAN; DAY, 2002). Assim, a principal consequência do aumento de evaporação é a redução da vazão dos rios, bem como do nível dos lençóis freáticos. A redução na quantidade de água disponível nos corpos hídricos altera diretamente a capacidade de diluição destes, aumentando diretamente as concentrações de nutrientes, a salinidade, e principalmente, a concentração de poluentes (MALAN et al., 2003; ENRIGHT, 2000; NAGLER et al., 2008); levando ao processo de eutrofização, o que altera a qualidade da água nesses locais. Alguns trabalhos mostraram que algumas espécies invasoras de árvores e arbustos diminuem drasticamente o provisionamento de água em áreas de “fynbos” na África do Sul (LE MAITRE et al., 1996; MARK; DICKINSON, 2008; VAN WILGEN et al. 1996). Zavaleta (2000) mostrou que a presença de uma espécie invasora (*Tamarix* spp.), em áreas de floresta ripária, pode alterar a morfologia dos rios e assim aumentar a frequência e intensidade de cheias. Entretanto, há registro na literatura que a substituição de vegetação florestal por culturas agrícolas e pastagem pode reduzir a infiltração de água no solo, a profundidade das raízes e aumentar o albedo. Essas mudanças podem diminuir a ET, precipitação e profundidade do lençol freático (NAUMBURG et al., 2005). Assim, os efeitos da presença de espécies invasoras em ambientes ripários ainda são controversos, sendo muito importante trabalhos que busquem melhor compreensão destes. A maioria dos estudos que focam nos ciclos hidrológicos tem como objetivo principal a quantidade e a qualidade da água disponível para os seres humanos. Porém, é importante salientar que o aporte de água é essencial para manutenção dos serviços ecossistêmicos, e de áreas úmidas, rios e estuários (LE MAITRE, 2011).

2. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE ESTUDADA

A espécie *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) é uma macrófita anfíbia e perene de ambientes úmidos como sub-bosques de florestas ripárias que pode ser encontrada em várias partes do mundo (Figura 1) (CABI, 2019) e em florestas ripárias no Brasil (CHIBA et al., 2016). Conhecida popularmente como lírio-do-brejo, mariazinha-do-brejo, gengibre-branco ou lírio-borboleta é nativa da Ásia Tropical e extensamente utilizada com fins ornamentais (KISSMANN; GROTH, 1991). Caracteriza-se por ser uma planta herbácea rizomatosa e perene podendo atingir até 2,0

m de altura (MACEDO, 1997). Possui caule cilíndrico avermelhado na base, folhas coriáceas, lanceoladas, com distribuição alternada e lígula (SANTOS et al., 2005). Inflorescências são terminais, com flores brancas, trímeras, zigomorfas e bastante perfumadas (KISSMANN; GROTH, 1991). Bem adaptada às Américas, principalmente ao Brasil (LORENZI; SOUZA, 2001) sendo comum em toda zona litorânea (KISSMANN; GROTH, 1991), principalmente em regiões de brejo (COUTO; CORDEIRO 2005).

Devido ao seu rápido crescimento e dispersão, é considerada invasora em áreas tropicais e subtropicais (KISSMANN, 1997; VILLASEÑOR; ESPINOSA-GARCIA, 2004; VARGAS, 2009; FOXCROFT; RICHARDSON, 2003; GOVAERTS, 2015), invadindo agressivamente baixadas úmidas e pantanosas, margens de lagos, riachos e canais de drenagem. Além disso, possui crescimento clonal suportado por um amplo sistema de rizomas, que favorece seu estabelecimento em ambientes de floresta ripária (STONE et al., 1992; TUNISON, 1991). Forma densas populações (LORENZI, 1991) e substitui a vegetação original (LORENZI; SOUZA, 2001; SANTOS et al., 2005) dos Estados Unidos até a Argentina (KISSMANN; GROTH, 1991). Parece se estabelecer bem tanto em ambientes sombreados quanto com alta luminosidade (TUNISON, 1991; PINHEIRO, 2018).

Apresenta difícil controle devido à sua reprodução vegetativa, através de fragmentos de rizomas dispersos pela água (STONE et al., 1992) originando novas plantas facilmente (KISSMANN; GROTH, 1991).

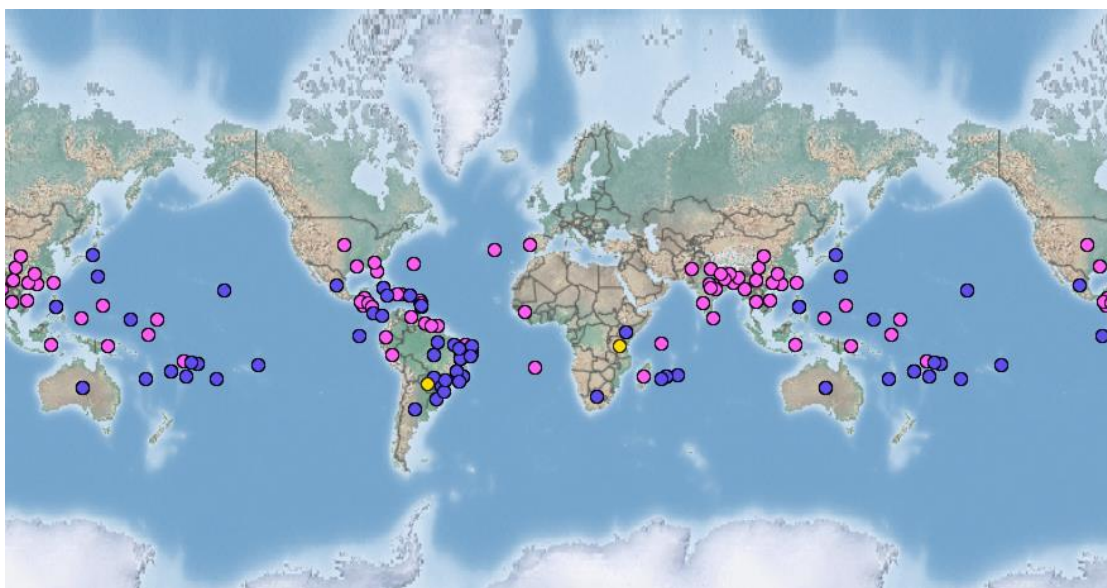


Figura 1: Distribuição global da espécie *Hedychium coronarium* segundo a classificação de invasora (círculos azuis), naturalizada (círculos amarelos) e sem classificação (círculos lilases). Fonte: CABI 2019.

3. OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho foi entender como uma espécie vegetal invasora, *Hedychium coronarium*, influencia a manutenção de um dos principais serviços ecossistêmicos, a água.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a evapotranspiração diária da espécie invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de Floresta Ripária;
- Calcular a evapotranspiração de referência (ET_0);
- Calcular o coeficiente da planta (K_p) das espécies estudadas;
- Analisar a relação entre a evapotranspiração mensal e o crescimento das espécies (invasora e nativas);
- Identificar o efeito de *Hedychium coronarium* na profundidade do lençol freático.

4. HIPÓTESES

Nossa hipótese em relação a evapotranspiração é que, por ser uma espécie invasora, a espécie *H. coronarium* possui maior taxa de crescimento (BLOSSEY; NÖTZOLD, 1995) do que as nativas e, conseqüentemente consome a água disponível em maior quantidade (MALAN, DAY; 2002), obtendo maior evapotranspiração.

Em relação ao coeficiente da planta (K_p), a espécie *Hedychium coronarium* terá um maior K_p do que o das espécies nativas, pois esse coeficiente depende diretamente da evapotranspiração. Já a evapotranspiração mensal tem relação direta com crescimento (altura, número de rametas e diâmetro na altura do solo) das espécies estudadas, sendo que a espécie *Hedychium coronarium* terá maior crescimento e irá absorver mais nutrientes (menos nutrientes no solo), pois, por ser um espécie invasora e possuir maior habilidade competitiva, é capaz de utilizar uma maior quantidade de água e nutrientes para manter seu rápido crescimento e ocupação do local, quando comparado as espécies nativas.

Em relação ao lençol freático, a presença da espécie invasora *Hedychium coronarium* em áreas de floresta ripária reduz a profundidade do lençol freático, já que seu sistema radicular é superficial, ou seja, rizomático, e isto pode fazer com que a água acumule mais na superfície e não percole para níveis mais profundos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nosso trabalho foi composto por dois métodos diferentes: experimento em casa de vegetação e amostragem em campo. Aqui vamos descrever a metodologia utilizada no experimento, a partir do qual obtivemos os resultados apresentados nos capítulos 1 e 2. No capítulo 3 descrevemos toda a metodologia envolvida na coleta de campo.

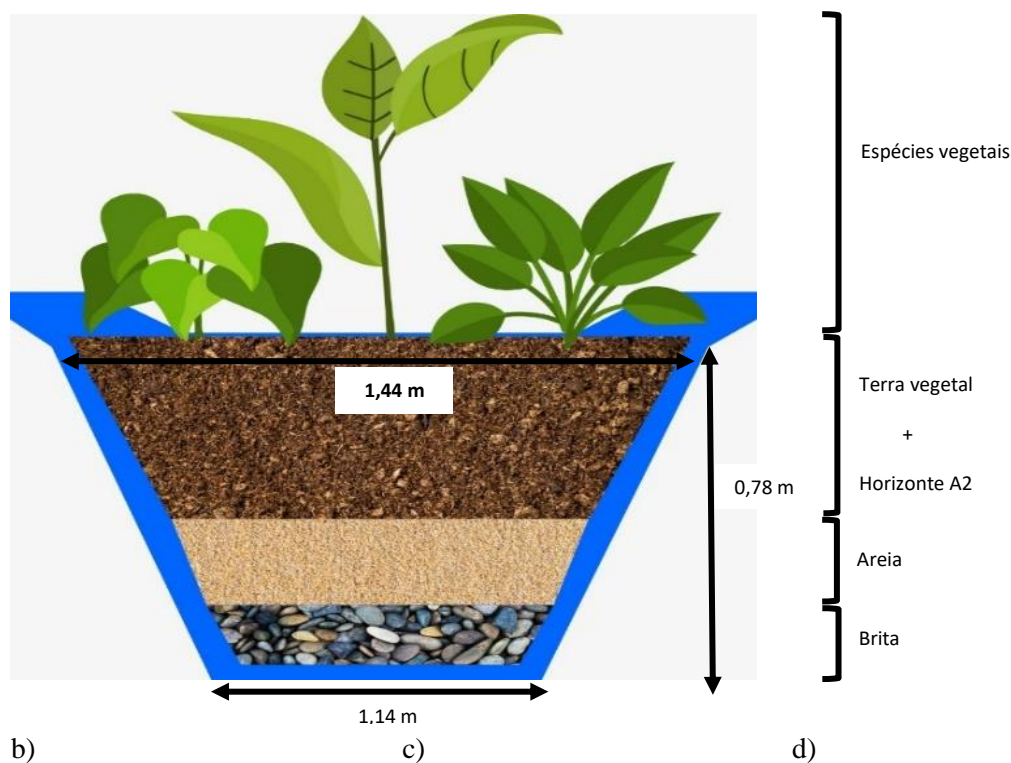
Como a partir do cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0) podemos calcular o coeficiente de cultura (K_c) para uma espécie ou um conjunto delas, e o termo coeficiente de cultura (K_c) é utilizado para culturas comerciais, como algodão, milho, cana de açúcar, entre outros, pensamos que esse termo não seria o mais indicado para se referir a uma população vegetal invasora (*H. coronarium*), a qual se estabelece em ambientes de florestas ripárias e não estão em condições de cultivo em si. Diante desses fatores, o coeficiente de cultura (K_c) nesse estudo, que é focado principalmente nas características ecológicas dessa espécie, será denominado como coeficiente da planta (K_p).

5.2 Métodos

Para comparar a evapotranspiração (ET) da espécie invasora *H. coronarium* e das espécies nativas foi realizado um experimento sob condições controladas em casa de vegetação localizada no campus de São Carlos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), município, São Paulo Brasil (22° 0' 55" Sul, 47° 53' 28" Oeste). A casa de vegetação, de formato retangular e orientada na direção norte-sul, era coberta com plástico transparente a fim de evitar a entrada de água através da chuva e possuía um revestimento lateral de sombrite 30 por cento. O experimento teve início através da montagem dos lisímetros, que são tanques utilizados para se medir, de maneira direta, eventos de evaporação, precipitação e drenagem (KIRKHAM et al., 1984). Os lisímetros, seis no total, foram montados utilizando-se tanques plásticos de 1000 L (diâmetro menor: 1,14 m; diâmetro maior: 1,44 m e altura: 0,78 m) (Figura 2). Em cada um dos lisímetros

colocamos brita (5 cm), areia grossa (5cm) e uma mistura de terra vegetal (60%) e horizonte A2 (40%), até completar a caixa (Figura 2). Os lisímetros foram divididos em três tratamentos diferentes quanto a composição de espécies: 1) lisímetros simulando uma área totalmente invadida, contendo oito indivíduos inteiros de *H. coronarium*; 2) lisímetros simulando uma área não invadida contendo apenas espécies nativas de ambientes ripários, sendo dois indivíduos (mudas) de uma espécie herbácea (Bromeliaceae) e de cada uma das espécies arbóreas comumente encontradas em florestas ripárias, *Euterpe edulis* Mart., *Tapirira guianensis* Aubl. e *Croton urucurana* Baill., totalizando também oito indivíduos; 3) lisímetros simulando uma área invadida contendo a invasora e as mesmas espécies nativas de ambientes ripários utilizadas no tratamento 2, onde foram plantadas quatro indivíduos de *H. coronarium* e um indivíduo de cada uma das quatro espécies nativas. Os indivíduos plantados possuíam altura média de 60 cm para garantir seu estabelecimento. Os indivíduos de *H. coronarium*, também com altura média de 60 cm, foram coletados em uma área invadida dentro da UFSCar. Para cada tratamento foi realizado uma réplica (Figura 3).

a)





e)



f)



Figura 2: Etapas do processo de montagem do lisímetros na Secretaria de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (SGAS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar): (a) Esquema dos lisímetros utilizados no experimento de evapotranspiração; (b) imagem da brita; (c)) areia; (d) terra vegetal e solo horizonte A2; (e) lisímetro simulando um ambiente totalmente invadido pela espécie *Hedychium coronarium*; e (f) lisímetro simulando um ambiente não invadido e com a presença das espécies nativas (Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*).



Figura 3: Imagem dos seis lisímetros, com a espécie invasora (*Hedychium coronarium*) e as quatro nativas (*Bromeliaceae*, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*), montados na casa de vegetação na Secretaria de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (SGAS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Em cada lisímetro instalamos um tubo de PVC (32 mm), lateralmente à caixa d'água, no qual acoplamos uma mangueira cristal de 3,175 mm e uma fita métrica graduada, visando a controlar manualmente o nível de água em cada lisímetro (Figura 4). Além disso, outros tubos de PVC (32 mm), um para cada lisímetro, foram perfurados, revestidos com manta geotêxtil e bloqueados em uma das extremidades com um “cap”, para que fossem inseridos no centro de cada lisímetro até ao fundo (Figura 5). Esse tubo central foi colocado para o monitoramento contínuo do nível d'água a partir do transdutor de pressão presente em cada lisímetro.

a)

b)



Figura 4: Imagem de um dos canos de PVC acoplado lateralmente ao lisímetro com a fita graduada (a) e uma imagem mais detalhada (b) da verificação do nível de água manualmente.

a)

b)

c)



Figura 5: Imagem dos tubos de PVC: (a) perfurados, (b) revestidos de manta geotêxtil e (c) inseridos no lisímetro.

Um TD-Diver (DI-801, Van Essen Instruments) foi colocado em cada lisímetro (totalizando seis) e um Baro Diver (DI-800, Van Essen Instruments) ficou alocado dentro da estufa, para que a pressão atmosférica local fosse mensurada (Figura 6). O TD-Diver e o Baro Diver possuem ambos, uma acurácia máxima de $\pm 2,0$ cm H₂O e uma acurácia típica de $\pm 0,5$ cm H₂O. O TD-Diver é um transdutor de pressão submersível que efetua medidas em intervalos prédefinidos a longo prazo, sendo capaz de monitorar em tempo real o nível de água usando um sensor de pressão (<https://www.vanessen.com/products/data-loggers/td-diver/> acesso em janeiro de 2020). O Baro Diver é um sensor de pressão mede a pressão hidrostática equivalente da água

acima do diafragma do sensor, o qual calcula a profundidade total da água (<https://www.vanessen.com/products/data-loggers/td-diver/> acesso em janeiro de 2020). O TD-Diver mede autonomamente a pressão (cm da coluna d'água) e a temperatura (°C) e os registra na sua memória interna. O Baro-Diver também é um “datalogger” de monitoramento em tempo real, porém ele registra a pressão atmosférica (cm da coluna d'água), além da temperatura (°C). O nível de água em cada lisímetro foi calculado subtraindo-se o valor da pressão atmosférica do valor de pressão hidrostática. Cada um dos TD-Divers foi programado para registrar as medidas de nível a cada 15 minutos.

a)



b)



Figura 6: Diver utilizado para medir o nível de água nos lisímetros (a) e Baro Diver utilizado para medir a pressão atmosférica local (b). Os divers foram inseridos em um tubo de PVC no centro de cada lisímetro e realizavam as medidas do nível de água a cada 15 minutos, por um período de 14 meses.

A configuração dos tubos centrais garantiu a passagem apenas de água para os transdutores, e a localização dos tubos garantiu menores oscilações de temperatura na água. Isso foi necessário porque com o aumento da temperatura local da casa de vegetação, houve um aumento da temperatura da água no tubo de PVC acoplado lateralmente ao lisímetro, e assim esse aumento poderia interferir no nível de água, e consequentemente, alteraria as medidas realizadas pelos divers.

A irrigação de todos os lisímetros foi feita manualmente, de acordo com a necessidade de água em cada um (quando nível de água alcançava a marca de 20 cm ou menor), sendo que a quantidade de água aplicada em cada lisímetro foi quantificada em litros. O monitoramento manual do nível de água nos lisímetros foi feito diariamente, por volta das 9 h 30 minutos, utilizando-se da fita métrica fixada ao lado da mangueira transparente. Quando o nível de água era menor ou igual a 20 cm, era adicionado água até que esse nível chegasse a aproximadamente 45 - 47 cm na mangueira (altura máxima

do solo em cada lisímetro). Tais medidas manuais foram realizadas como medida de controle, a fim de compararmos as medidas manuais e dos divers. O monitoramento dos lisímetros foi realizado durante 14 meses, entre 23/05/2018 à 24/06/2019, totalizando 398 dias.

Dados meteorológicos, como radiação solar e umidade relativa do ar foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação de São Carlos (-21.980462, -47.88393), a qual está localizada a distância de, aproximadamente, 1,1 km do local da realização do experimento (SGAS); com exceção da temperatura que foi registrada pelo transdutor de pressão (Baro-diver) dentro da casa de vegetação e da velocidade do vento, que adotamos uma velocidade constante de 0,5 m/s, por se tratar de uma casa de vegetação.

5.3 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET)

A estimativa da ET tem sido aprimorada ao longo do tempo por diferentes autores (WHITE, 1932; DOLAN et al., 1984; HAYS 2003; GRIBOVSKI et al., 2008; LOHEIDE II, 2008), baseada na metodologia da variação diária do nível de água subterrânea em locais onde o nível do lençol freático se encontra próximo à superfície do solo, como áreas ripárias e de pântanos.

Para calcular a ET nesse experimento utilizamos o método de Gribovski et al. (2008) (equação 1) adaptado para esse conjunto de dados:

$$P - ET_d - Q = \Delta S \quad (1)$$

em que P é a precipitação no local (L); ET_d é a evapotranspiração diária; Q é a recarga lateral; e o ΔS é a variação de água em um volume controlado. Como esse experimento foi realizado em uma casa de vegetação coberta por plástico transparente, não houve precipitação e a quantidade de água colocada em cada lisímetro foi controlada. Além disso, também não houve recarga lateral, tendo em vista que os lisímetros foram construídos em caixas de 1000 L. Assim, a equação ajustada (equação 2):

$$ET_d = \Delta S \quad (2)$$

em que a evapotranspiração diária (ET_d) depende apenas da variação do volume armazenado.

Entretanto, a variação do nível d'água em um volume controlado depende, dentre outros fatores, do tipo de solo, pois a macroporosidade do solo varia de acordo com as características das partículas presentes neste (REF). Assim, foi necessário obter os valores de rendimento específico de cada lisímetro. O rendimento específico é a proporção de volume de água drenada de um solo ou rocha saturada, devido à gravidade em relação ao volume total de solo (ou rocha) (MEINZER, 1923).

Para calcular o rendimento específico (S_y), primeiramente foi instalado uma torneira em cada um dos tubos de PVC laterais de cada lisímetro (Figura 7a) para que toda a água fosse escoada durante o processo. Em seguida, foi removida toda a vegetação presente nos lisímetros, para evitar que as espécies utilizassem a água e parte desta fosse liberada através da transpiração (Figura 7b). Depois água foi colocada em cada um dos lisímetros até a altura máxima do solo (Figura 7c), para que o solo ficasse saturado. Para garantir que a água preenchesse todos os poros no solo, foi esperado no mínimo 12 horas (período da noite) e uma tampa foi colocada para que evitar a perda de água por evaporação (Figura 7d). Após esse período, a cada 2,5 litros de água drenada de cada lisímetro (Figura 7e), foi contabilizado o período até que toda água contida fosse drenada. Todo o processo de drenagem teve duração de 5 a 6 horas, em cada um dos lisímetros. Além disso, os divers estavam posicionados dentro do tubo de PVC central de cada lisímetro e ajustados para medirem o nível da água a cada um segundo, tudo isso para termos certeza da altura da coluna d'água durante todo esse processo.

A obtenção dos dados para o cálculo do S_y foi realizada ao final do experimento, pois havia a necessidade de cortarmos as plantas de cada lisímetro. Além disso, devido ao crescimento das raízes das espécies, os valores de S_y podem variar ao longo do tempo. Entretanto, devido principalmente ao corte das espécies para evitar a perda de água por transpiração, foi decidido adotar o valor do S_y ao final do experimento.

a)

b)



c)



d)



e)



Figura 7: Etapas do experimento para obtenção do rendimento específico (S_y) aplicados em cada um dos lisímetros. (a) Instalação da torneira para a liberação da água; (b) corte de todas as espécies (*Hedychium coronarium* e as quatro diferentes nativas) presentes nos lisímetros; (c) saturação do solo; (d) lisímetros com tampa para evitar a transpiração de água durante o processo de saturação do solo; e (e) contabilização do tempo da saída de cada 2,5 litros de água em cada um dos lisímetros até o final da drenagem.

O cálculo do rendimento específico (S_y) foi realizado através da equação (3):

$$S_y = V_d/V_t * 100 \quad (3)$$

em que V_d é o volume total drenado e V_t é o volume total do lisímetro.

Assim, o valor do rendimento específico de cada lisímetro foi obtido e é dado em porcentagem (Tabela 1).

Tabela 1: Valores do rendimento específico (S_y), em porcentagem, calculado para cada um dos lisímetros, a fim de conseguirmos calcular a evapotranspiração. O V_t é o volume total de cada lisímetro e V_d é o volume drenado, ambos em litros.

Lisímetro	V_t (L)	V_d (L)	S_y (%)
<i>Hedychium coronarium</i> I	554.79	32.5	5.86
Nativas I	533.61	55	10.31
Mistura I	624.38	60	9.61
<i>Hedychium coronarium</i> II	569.72	45	7.90
Nativas II	574.11	55	9.58
Mistura II	587.83	50	8.51

Como o cálculo da ET depende do valor do rendimento específico (S_y), a equação (4) final é:

$$ET = S_y * \Delta S \quad (4)$$

em que ET é a evapotranspiração; S_y é o rendimento específico; e o ΔS é a variação de água em um volume controlado.

Assim, com a variação do volume controlado (ΔS) obtido pelo registro dos divers e o valor final do rendimento específico (S_y) foi obtida a ET de cada lisímetro submetido aos diferentes tratamentos (dois lisímetros em cada um dos três tratamentos, totalizando seis). Devido ao formato cônico dos lisímetros, o cálculo da variação do volume controlado (ΔS) foi realizado através do cálculo do volume de água correspondente à variação do nível indicado pelos divers. Com os resultados a cada 15 minutos do nível d'água pelos transdutores de pressão, foi feito o cálculo da ET, sendo posteriormente aglomerados em valores diários e mensais.

5.4 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0) E DO COEFICIENTE DA PLANTA (K_p)

A evapotranspiração de referência (ET_0) é um indicador da quantidade de água utilizada por uma determinada cultura, em um local e período específicos. Assim, é um importante parâmetro agrometeorológico para planejamento de irrigação, mas também

pode ser considerado um elemento climático de demanda hídrica muito utilizado em estudos hidrológicos.

Com o intuito de padronizar uma estimativa da ET_0 , a “*Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*” parametrizou o método de *Penman-Monteith* (ALLEN et al., 1998). Este método (Penman Monteith - FAO 56) é utilizado como padrão internacional para de avaliação de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração e é capaz de produzir uma estimativa confiável da ET_0 diária. O método de Penman Monteith - FAO 56 tem sido comprovado como bem preciso em vários estudos, aqui no Brasil e no mundo (XU; CHEN, 2005; YODER et al., 2005; LÓPEZ-URREA et al., 2006; JABLOUN; SAHLI, 2008; BARROS et al., 2009; PONTON, 2017).

Para parametrização dessa equação de Penman Monteith foi utilizado o conceito de superfície de referência, que foi definida por Allen e colaboradores (1998) como: “*uma vegetação hipotética, com altura fixa de 0,12 m, resistência ao transporte de vapor de água (r_c) constante e igual a 70 s m^{-1} , e albedo de 0,23*”. Com base nisso, a equação 5 para o cálculo da ET_0 foi:

$$ET_0 = \frac{\left(0,408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)\right)}{(\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2))} \text{ [mmd}^{-1}] \quad (5)$$

onde Rn é o saldo de radiação [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$]; G o fluxo de calor sensível no solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$]; γ o coeficiente psicométrico [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$]; T a temperatura média diária a 2 m de altura [$^\circ\text{C}$]; u_2 a velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}]; e_s a pressão de saturação de vapor [kPa]; e_a a pressão de vapor atual [kPa]; $e_s - e_a$ o déficit de pressão de saturação de vapor [kPa]; Δ a tangente à curva de pressão de saturação no gráfico psicométrico [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$]. Cada parâmetro empregado na equação 5 foi calculado separadamente com os dados da estação meteorológica, bem como dados coletados no local do experimento.

O método de Penman Monteith - FAO 56 é amplamente utilizado, e de acordo com Carvalho e colaboradores (2011), que revisaram vários trabalhos que estimaram a ET_0 , recomendam o uso deste como padrão, quando houver os dados necessários disponíveis. Essa recomendação se deve, principalmente, por este método possuir comprovada precisão, independente da escala espacial e temporal.

A partir do cálculo da ET real (capítulo 1) de qualquer cultura, ou no nosso caso, para uma determinada espécie (ou ainda, um conjunto delas - mistura), juntamente com o cálculo da ET_0 diária foi possível calcularmos o coeficiente de cultura (K_c), aqui denominado coeficiente da planta (K_p). O K_p é determinado com base nas condições locais, sendo um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos de cada espécie (MEDEIROS et al., 2004). Assim, podemos determinar o K_p através da equação 6:

$$ET = K_p * ET_0 \quad (6)$$

sendo ET a evapotranspiração real; o K_p o coeficiente da planta e ET_0 a evapotranspiração de referência.

Todos os cálculos da ET, ET_0 e do K_p foram realizados através da elaboração de “*scripts*” no software SPYDER na linguagem do Phyton. Nos cálculos de ET utilizamos a filtragem passa-baixa Regressão Polinomial Local Ponderada (Loess) (Cleveland, 1979; Devlin, 1986), para a retirada dos ruídos nas flutuações do nível de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; WALTER, I. A.; ELLIOT, R. L.; HOWELL, T.A.; ITENFISU, D.; JENSEN, M. E.; SNYDER, R. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE and American Society of Civil Engineers, 2005.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome: [s.n.], 1998.
- ALPERT, P.; BONE, E.; HOLZAPFEL, C. Invasiveness, invisibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 3:52-66, 2000.
- ASAEDA, T.; RASHID, M. H.; KOTAGIRI, S.; UCHIDA, T. The role of soil characteristics in the succession of two herbaceous lianas in a modified river floodplain. *River Research and Applications*, 27:591–601, 2011.
- BALVANERA, P.; URIARTE, M.; ALMEIDA-LENERO, L.; ALTESOR, A.; DECLERCK, F.; GARDNER, T.; HALL, J.; LARA, A.; LATERRA, P.; CLAROS, M. P.; MATOS, D. M. S.; VOGL, A. L.; ROMERO-DUQUE, L. P.; ARREOLA, L. F.; CARO-BORRERO, A. P.; GALLEGO, F.; JAIN, M.; LITTLE, C.; XAVIER, R. D. O.; PARUELO, J. M.; PEINADO, J. E.; POORTER, L.; ASCARRUNZS, N.; CORREAT, F.; CUNHA-SANTINOM, M. B.; HERNANDEZ-SANCHEZ, A. P.; VALLEJOS, M. A. Ecosystem services research in Latin America: the state of the art. *Ecosystem Service*, 2: 56–70, 2012.

BARROS, V. R.; SOUZA, P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 4, n. 2, p. 198-203, abr./jun. 2009.

BRUNET, R. C.; ASTIN, K. B. A 12-month sediment and nutrient budget in a floodplain reach of the River Adour, southwest France. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 16, n. 3, p. 267–277, 2000.

CABI. Invasive Species Compendium (Beta) (2019) www.cabi.org Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/26678>>. Acessado em julho de 2019.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHARLES, H.; DUKES, J. **Impacts of invasive species on ecosystem services**. In: W. Nentwig, ed. *Biological Invasions*. Berlin: Springer-Verlag, p 217–237, 2007.

CHIBA, W. A. C.; ALMEIDA, R. V.; LEITE, M. B.; MARRS, R. H.; MATOS, SILVA D. M. Invasion strategies of the white ginger lily *Hedychium coronarium* J.König (Zingiberaceae) under different competitive and environmental conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 127:55-62, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.03.010>

CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill Book Company, New York, 1964. p 1418.

CLEVELAND, W. S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, v. 74, p. 829–836, 1979.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. IPH UFRGS. 2008.

COUTO, O. S.; CORDEIRO, R. M. S. Manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, Departamento Estadual de Proteção de recursos naturais - DEPRN 340, 2005.

DAILY, G. C. **Introduction: What are ecosystem services?** In: G. Daily, editor. *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C. 1997. p 1-10.

DEVLIN, S. J. *Locally-Weighted Multiple Regression: Statistical Properties and Its Use to Test for Linearity*. **Pitcataway**, NJ, 1986.

DOLAN, T. J.; HERMANN, A. J.; BAYLEY, S. E.; ZOLTEK JOHN, J. Evapotranspiration of a Florida, USA, fresh-water wetland. **Journal of Hydrology**, v. 74, p. 17, 1984.

ELTON, C. S. **The ecology of invasions by animals and plants**. Methuen, London. 1958.

ENRIGHT, W. D. The Effect of Terrestrial Invasive Alien Plants on Water Scarcity in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25: 237-242. 2000.

- ESMAEILABADI, A. E. **Evapotranspiration: Application, Scaling and Uncertainty**. Tese (Doutorado) -University of New South Wales, Sydney, Australia, 2014.
- FENN, M. E.; BARON, J. S.; ALLEN, E. B.; RUETH, H. M.; NYDICK, K. R.; GEISER, L.; BOW-MAN, W. D.; SICKMAN, J. O.; MEIXNER, T.; JOHNSON, D. W.; NEITLICH, P. Ecological effects of nitrogen deposition in the western United States. *BioScience*, 53: 404–420, 2003.
- FOXCROFT, L. C.; RICHARDSON, D. M. **Managing alien plant invasions in the Kruger National Park, South Africa**. *In*: Child LE, Brock JH, Brundu G, Prach K, Pysek P, Wade PM, Williamson M, eds. *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions*. Leiden, Netherlands: Backhuys Publishers, 385-403, 2003.
- FRAEDRICH, K.; KLEIDON, A.; LUNKEIT, F. A green planet versus a desert world: Estimating the effect of vegetation extremes on the atmosphere. *Journal of Climate*, 12: 3156–3163, 1999.
- FRIDLEY, J. D. Invasibility of communities and ecosystems. *In*: Simberloff D, Rejmánek M (eds) **Encyclopedia of Biological Invasions**, 3rd edn. University of California Press, Ltd; London, England, 2011. P. 356-360.
- FUNK, J. L.; MATZEK, V.; BERNHARDT, M; JOHNSON, D. Broadening the Case for Invasive Species Management to Include Impacts on Ecosystem Services. *BioScience*, 64: 58–63, 2014.
- GOVAERTS, R. World Checklist of Zingiberaceae. **Richmond, London: Royal Botanic Gardens, Kew**, in <http://apps.kew.org/wcsp/>, 2019.
- GRIBOVSKI, Z.; KALICZ, P.; SZILÁGYI, J.; KUCSARA, M. Riparian zone evapotranspiration estimation from diurnal groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, v. 349, n. 1-2, p. 6–17, 2008. ISSN 00221694.
- HAYS, K. B. **Water Use by Saltcedar (Tamarix sp.) and Associated Vegetation on the Canadian, Colorado and Pecos Rivers in Texas**. Tese (Thesis), 2003.
- HEJDA, M.; PYŠEK, P. What is the impact of *Impatiens glandulifera* on species diversity of invaded riparian vegetation? *Biological Conservation*, v. 132, n. 2, p. 143–152, 2006.
- IUCN [International Union for the Conservation of Nature]. IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. *Species* 31/32: 28-42, 1999.
- JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.
- JÄGER, H.; TYE, A.; KOWARIK, I. Tree invasion in naturally treeless environments: Impacts of quinine (*Cinchona pubescens*) trees on native vegetation in Galápagos. *Biological Conservation*, v. 140, n. 3–4, p. 297–307, 2007.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements**. **ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70**. American Society of Civil Engineers, New York, 1990.

KIRKHAM, R. R.; GEE, G. W.; JONES, T. L. Weighing lysimeters for long-term water balance investigations at remote sites. *Soil Science Society of America Journal*, 48:1203-5, 1984.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. *Plantas Infestantes e Nocivas*. Basf Brasileira, 590-593, 1991.

KISSMANN, K. G. *Plantas Infestantes e Nocivas*. Tomo 1, 2 ed. Brazil: BASF 256-258, 1997.

LE MAITRE, D. Hydrology. *In: Simberloff D, Rejmánek M (eds) Encyclopedia of Biological Invasions*, 3rd edn. University of California Press, Ltd; London, England, 2011, p 346-349.

LE MAITRE, D. C.; VAN WILGEN, C.; CHAPMAN, R. A.; MCKELLY, D. H. Invasive plants and water resources in the Western Cape Province, South Africa: modeling the consequences of a lack of management. *Journal of Applied Ecology*, 33:161–172, 1996.

LOHEIDE II, S. P.; BUTLER, J. J.; GORELICK, S. M. Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: A saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, v. 41, n. 7, p. n/a–n/a, 2005. ISSN 00431397.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 15-26, 2006.

LORENZI, H.; SOUZA, H. **Plantas ornamentais**. 3 ed. São Paulo: Plantarum, 2001.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. DE. **Plantas ornamentais no Brasil –Arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. [s.l.] Nova Odessa: Plantarum, 1995.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas, Tóxicas e Medicinais**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p 440, 1991.

MACEDO, J. F. O gênero *Hedychium koening* (Zingiberaceae) no Estado de Minas Gerais. *Daphne*, 2: 27-31, 1997.

MALAN, H.; BATH, A.; DAY, J. A.; JOUBERT, A. A simple flow-concentration modelling method for integrating water quality and water quantity in rivers. *Water SA* 29 (3) 305-311., 2003.

MALAN, H. L.; DAY, J. A. **Linking Discharge, Water Quality and Biotic Response in Rivers: a Literature Review**. WRC Report No. 956/2/02. Water Research Commission, Pretoria, 2002.

MANCI, K. M. **Riparian ecosystem creation and restoration: a literature summary**. [s.l.] US Dept. of the Interior, Fish and Wildlife Service, Research and Development, 1989.

MARK, A. F.; DICKINSON, K. J. M. Maximizing water yields with indigenous non-forest vegetation: a New Zealand perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6:25–34, 2008.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: Erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. *Acta Scientiarum*, v.26, p.513-519, 2004.

MEINZER, O. E. The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles. U.S. Geological Survey Water Supply, Pap 489, 321. 1923.

MEEK, C. S.; RICHARDSON, D. M.; MUCINA, L. A river runs through it: Land-use and the composition of vegetation along a riparian corridor in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation*, v. 143, n. 1, p. 156–164, 2010.

Millennium Ecosystem Assessment – AM. 2003.
<http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>

MÜLLER, N. River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Large Rivers*, v. 9, n. 3–4, p. 477–512, 1995.

NAGLER, P. L.; GLENN, E. P.; DIDAN, K.; OSTERBERG, J.; JORDON, F.; CUNNINGHAM, J. Wide-area estimates of stand structure and water use of *Tamarix* spp. on the lower Colorado River: Implications for restoration and water management projects. *Restoration Ecology*, 16 (1) 136-145, 2008.

NAUMBURG, E.; MATA-GONZALES, R.; HUNTER, R. G.; MCLENDON, T.; MARTIN, D. W. Phreatophytic vegetation and groundwater fluctuations: A review of current research and application of ecosystem response modeling with an emphasis on great basin vegetation. *Environmental Management*, 35: 726–740, 2005.

NICHOLSON, E.; MACE, G. M.; ARMSWORTH, P. R.; ATKINSON, G.; BUCKLE, S.; CLEMENTS, T.; EWERS, R. M.; FA, J. E.; GARDNER, T. A.; GIBBONS, J.; GRENYER, R.; METCALFE, R.; MOURATO, S.; MULS, M.; OSBORN, D.; REUMAN, D. C.; WATSON, C.; MILNER-GULLAND, E. J. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology*, 46: 1139–1144, 2009.

PEJCHAR, L.; MOONEY, H. A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 497–504, 2009.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183.

PINHEIRO, A. M. **Atributos ecológicos que contribuem para a invasibilidade da macrófita *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae)**. 2018. 51 folhas. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

PONTON, A. F. H. **Determinação empírica da evapotranspiração em zona ripária e áreas vizinhas (Cerrado stricto sensu e eucalipto)**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulos, São Carlos, 2017.

REJMANEK, M. Invasiveness. *In*: Simberloff D. & Rejmánek M. (eds.) **Encyclopedia of Biological Invasions**. University of California Press, Berkeley & Los Angeles, 2011.

SANTOS, S. B.; PEDRALLI, G.; MEYER, S. T. Aspectos da fenologia e ecologia de *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. *Planta Daninha*, 23:175-80, 2005.

SEDELL, J. R.; STEEDMAN, R. J.; REGIER, H.; GREGORY, S. V. Restoration of human impacted land-water ecotones. *In: HOLLAND M.M., RISSER P.G., N. R. J. (Ed.). Ecotones. [s.l.] Springer, Boston, MA, 1991. p. 110–129.*

SILVA MATOS, D.M.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres –alguns casos brasileiros. *Ciência e Cultura (SBPC)*, v. 61, p. 27-30, 2009.

SIMBERLOFF, D.; REJMÁNEK, M. (eds.) **Encyclopedia of Biological Invasions**. University of California Press, Berkeley & Los Angeles. 2011.

SMITH, C. W. **Impact of alien plants on Hawaii's native biota**. *In: "Hawaii's Terrestrial Ecosystems: Preservation and Management"* (C. P. Stone and J. M. Scott, Eds.), pp. 180–250. Cooperative National Park Resources Studies Unit/Univ. of Hawaii at Manoa, Honolulu. 1985.

STONE, C. P.; SMITH, C. W.; TUNISON, J. T. **Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research**. [s.l.] University of Hawai'i: University of Hawaii, Cooperative National Park Resources Study Unit p. 887. 1992.

STUDART, T.; CAMPOS, N. **Apostila Hidrologia**, UFC, 2008.

SUDING, K. N.; GROSS, K.L.; HOUSEMAN, G. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 19:46-53, 2004.

TERERAI, F.; GAERTNER, M.; JACOBS, S. M.; RICHARDSON, D. M. Eucalyptus invasions in riparian forests: Effects on native vegetation community diversity, stand structure and composition. *Forest Ecology and Management*, v. 297, p. 84–93, 2013.

TUNISON, T. **Element Stewardship Abstract for *Hedychium coronarium***. The Nature Conservancy Arlington, Virginia, 1991.

VANESSEN INSTRUMENTS. Disponível em: <
<https://www.vanessen.com/products/data-loggers/td-diver/>> acesso em 20 de jan. de 2020.

VAN KLEUNEN, M.; WEBER, E.; FISCHER, M. A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters*, 13: 235–245, 2010.

VAN WILGEN, B. W.; COWLING, R. M.; BURGERS, C. J. Valuation of ecosystem services. *Bioscience*, 46:184–189, 1996.

VARGAS, O. Invasive alien plant species of La Selva, Costa Rica., Costa Rica: Organization for Tropical Studies, 49 pp, 2009.

VERSTRAETEN, W.W.; VEROUSTRAETE, F.; FEYEN, J. Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. *Sensors*, Basel, Switzerland, 8 (1), 70–117, 2008.

VIDAL-ABARCA GUTIÉRREZ, M.R.; ALONSO, M. L. S. Which are, what is their status and what can we expect from ecosystem services provided by Spanish rivers and

riparian areas? *Biodiversity and Conservation*, 22: 2469–2503, 2013. DOI: 10.1007/s10531-013-0532-2

VILÀ, M.; ESPINAR, J. L.; HEJDA, M.; HULME, P. E.; JAROŠÍK, V.; MARON, J. L.; PERGL, J.; SCHAFFNER, U.; SUN, Y.; PYŠEK P. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 14: 702-708, 2011.

VILLASEÑOR, J. L.; ESPINOSA-GARCIA, F. J. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity Distributions*, 10(2):113-123, 2004.

VITOUSEK, P. M.; D'ANTONIO, C. M.; LOOPE, L. L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKSAL, R. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, 21: 1-16, 1997.

VITOUSEK, P. M. Biological invasions and ecosystem properties: can species make a difference? - *In*: Mooney, H. A. and Drake, J. (eds), **Biological invasions of North America and Hawaii**. Springer, 1986. p 163-176.

XU, CY.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. *Hydrological Processes*, Chichester, v. 19, n. 18, p. 3717- 3734, 2005.

YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 197-202, 2005.

ZAVALETA, E. The economic value of controlling an invasive shrub. *Ambio*, 29:462–467, 2000.

ZOTARELLI, L.; DUKES, M. D.; ROMERO, C. C.; MIGLIACCIO, K. W.; MORGAN, K. T. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida, AE459, 1- 10, 2010.

WALSH, J. R.; CARPENTER, S. R.; ZANDEN, M. J. V. Invasive species triggers a massive loss of ecosystem services through a trophic cascade. *PNAS*, 113: 4081 - 4085, 2016.

WHITE, W. N. Method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. results of investigation in Escalante Valley, Utah, US Geological Survey, n. Water Supply Paper 659-A, p. 1–105, 1932.

7. CAPÍTULO 1

Evapotranspiração de uma macrófita anfíbia invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de floresta ripária

*Uma versão modificada (artigo) desse capítulo foi submetida para a revista “*Journal of Hydrology*”.

RESUMO

O ciclo hidrológico é responsável pela movimentação da água no globo terrestre, sendo que a precipitação é via de chegada da água na superfície e a evapotranspiração (ET) é a via de retorno da água para a atmosfera. O balanço entre a precipitação e a ET tem efeito direto da vegetação, sendo que mudanças na estrutura e composição dessa podem influenciar nesse balanço. Espécies invasoras podem causar prejuízo na ET de um determinado ambiente. O objetivo foi (i) comparar a evapotranspiração (ET) diária; (ii) calcular a evapotranspiração de referência (ET_0) diária; e (iii) calcular o coeficiente de cultura (K_p) da espécie invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de floresta ripária. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação, em três tratamentos diferentes, totalizando seis lisímetros. Tratamento 1: apenas a espécie invasora; tratamento 2: apenas três espécies nativas; e tratamento 3: mistura da espécie invasora e três espécies nativas. Em cada lisímetro foram colocados os transdutores de pressão para que registrassem o nível da água a cada 15 minutos e a pressão atmosférica foi mensurada dentro da casa de vegetação. Todas essas medidas foram realizadas durante o período de 14 meses. A irrigação de todos os lisímetros foi feita manualmente, mantendo sempre um nível (de 42 a 45 cm). A ET foi calculada pelo método de Gribovszki e colaboradores (2008) com a combinação das medidas de nível manual e pelos transdutores. A ET_0 diária foi calculada com os dados meteorológicos da Instituto Nacional de Meteorologia, e a partir dela calculamos o K_p . Teste de Person para testar se havia correlação entre a temperatura média (local) e a ET diária. O teste de Tukey e os Modelos Mistos para avaliar possíveis diferenças na ET diária entre os três tratamentos testados. A ET diária variou com a mudança de temperatura e de acordo com o tratamento testado, indicando que diferentes espécies (invasoras ou nativas) utilizam de maneira diferente a água disponível. ET diária acumulada ocorreu para tratamento mistura

(2.540,16 mm), sendo que o tratamento com a invasora apresentou o menor valor (2.172,53 mm). Já o padrão de variação da ET_0 diária foi semelhante ao observado para a ET e a temperatura média; e o K_p aumentou ao longo do ano de acordo com o estágio de desenvolvimento das espécies. Nossos resultados sugerem que áreas dominadas pela espécie *H. coronarium* tendem a apresentar menor evapotranspiração em relação a vegetação ripária nativa.

Palavras chave: evapotranspiração, evapotranspiração de referência, coeficiente da planta, invasão biológica, floresta ripária

Introdução

A hidrologia é a ciência que estuda a água presente no planeta Terra, sua circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, além da sua relação com o meio ambiente e os seres vivos (CHOW, 1964). É uma área do conhecimento que abrange a compreensão e entendimento dos ciclos hidrológicos e recursos hídricos. Os ciclos hidrológicos são responsáveis pela movimentação da água pelo globo terrestre, sendo que a sua entrada ocorre via precipitação da água da atmosfera para a superfície (chuva, granizo, neve, orvalho e geada), e o seu retorno da superfície para a atmosfera se dá através da evapotranspiração, que é o conjunto de dois processos (evaporação e transpiração).

A evapotranspiração depende diretamente da demanda da atmosfera, da intensidade da radiação, da disponibilidade de água no solo e da velocidade do vento (VERSTRAETEN et al., 2008). A intensidade da radiação vai variar de acordo com o local e a época do ano, já que a intensidade de radiação é controlada pela capacidade refletora da superfície (albedo). O albedo também é influenciado pelo tipo de vegetação, pois superfícies mais claras tem maior poder refletor do que as superfícies escuras, ou seja, possuem menos energia disponível. Sendo assim, vegetações mais escuras, como florestas, refletem menos radiação do que uma pastagem, e conseqüentemente, evapotranspiram mais (PEREIRA et al., 1997). Sendo assim, a vegetação também tem efeito direto no balanço entre precipitação e evapotranspiração.

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser definida como a quantidade de água do solo que está disponível para evaporar de superfícies com vegetações específicas (JENSEN et al., 1990). Assim, a ET_0 é a taxa de ET de uma superfície uniforme de vegetação densa e ativo crescimento, com específica altura e resistência superficial, sem restrição de água no solo e com uma extensão de pelo menos 100 m do mesmo tipo de vegetação ou vegetações semelhantes (ALLEN, 2005). Esse conceito de ET_0 foi desenvolvido para se estudar a demanda evaporativa na atmosfera, independentemente do tipo e do estágio de desenvolvimento da cultura, e das suas práticas de manejo (ZOTARELLI et al., 2010). A partir do conceito de ET_0 é possível calcular o coeficiente da planta (K_p) para uma determinada espécie ou conjunto delas. O K_p é determinado com base nas condições locais, sendo um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos de cada espécie (MEDEIROS et al., 2004).

As invasões biológicas são capazes de alterar os processos a nível de ecossistemas, tais como produtividade primária e secundária, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico,

desenvolvimento do solo e frequência de distúrbio (VITOUSEK, 1986), além de ser uma das principais causas de perda de diversidade biológica (VITOUSEK et al. 1997; IUCN, 1999; SIMBERLOFF; REJMANEK, 2011). Essas espécies, muitas vezes utilizam uma maior quantidade de água no seu ciclo de vida, principalmente por apresentarem maior taxa de evapotranspiração, quando comparadas com as espécies nativas (MALAN; DAY, 2002). Assim, a presença dessas espécies pode causar impactos negativos no regime hídrico, seja na qualidade e/ou na quantidade de água disponível. Alterações no regime hídrico podem causar impactos diretos na biodiversidade local, e até mesmo na oferta de água como um serviço ecossistêmico.

Atualmente, um dos ambientes que tem havido grande substituição da vegetação presente e, conseqüentemente, sofrido extremas transformações pelas ações antrópicas são as áreas de florestas ripárias (RICHARDSON et al., 2007), uma formação vegetal existente às margens de rios, córregos, lagos, lagoas e nascentes. As mudanças causadas pelo homem nesses ambientes podem facilitar a invasão e dominância de espécies invasoras (RICHARDSON et al., 2007). Florestas ripárias são consideradas um habitat fundamental para a manutenção da biodiversidade, por ser fonte de recursos para a fauna aquática e terrestre, corredor para a fauna (NAIMAN; DÉCAMPS, 1997), além de ser importante na filtragem de poluentes, pesticidas e sedimentos que chegam aos corpos hídricos (BARLING; MOORE, 1994; HOOD; NAIMAN, 2000). Entretanto, de forma geral, pouco se sabe sobre a ecologia e os impactos causados por espécies invasoras nas florestas ripárias. Estas informações são a base para o delineamento de projetos de manejo e controle destas invasoras. Considerando o papel das florestas ripárias, o controle das espécies invasoras nestas áreas é fundamental para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecossistêmicos, principalmente o provisionamento de água.

Por ser uma variável importante do ciclo hidrológico, estimar e monitorar a evapotranspiração pode nos ajudar a compreender melhor a interação da vegetação, solo e atmosfera (ESMAEILABADI, 2014), além da importância identificação do efeito da dominância de espécies invasoras no regime hidrológico. Tendo como objeto de estudo a espécie *H. coronarium*, o qual tem se tornado uma espécie dominante em áreas de floresta ripária, além do pouco conhecimento sobre a sua influência no ciclo hidrológico local e na oferta de água. O objetivo desse trabalho foi (i) comparar a evapotranspiração (ET) diária; (ii) calcular a evapotranspiração de referência (ET₀) diária; e (iii) calcular o coeficiente da planta (K_p) da espécie invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de floresta ripária. Para isso, usamos como modelo a espécie invasora, *Hedychium*

coronarium, e quatro espécies nativas, Bromeliacea, *Euterpe edulis* Mart., *Tapirira guianensis* Aubl. e *Croton urucurana* Baill, de Floresta Ripária. Nossa hipótese é que, por ser uma espécie invasora, a espécie *H. coronarium* possui um rápido crescimento e uso mais eficiente dos recursos locais quando comparado às nativas e, conseqüentemente pode consumir a água disponível em maior quantidade (MALAN, DAY; 2002), obtendo maior evapotranspiração.

Material e métodos

Metodologia

Para comparar a evapotranspiração (ET) da espécie invasora *H. coronarium* e das espécies nativas foi realizado um experimento controlado dentro de uma casa de vegetação no campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), município de São Carlos, São Paulo Brasil (22° 0' 55" Sul, 47° 53' 28" Oeste) (descrição detalhada no item 4.1).

Os lisímetros foram preparados com três tratamentos diferentes: 1) lisímetros simulando uma área totalmente invadida, onde foram colocados oito indivíduos de *H. coronarium*; 2) lisímetros simulando uma área não invadida contendo apenas espécies nativas de ambientes ripários, sendo 2 indivíduos de uma herbácea (Bromeliacea) e de cada uma das espécies arbóreas comumente encontradas em florestas ripárias, *Euterpe edulis* Mart., *Tapirira guianensis* Aubl. e *Croton urucurana* Baill., totalizando também oito indivíduos; 3) lisímetros simulando uma área invadida contendo a invasora e as mesmas espécies nativas de ambientes ripários utilizadas no tratamento 2, onde plantamos quatro indivíduos de *H. coronarium* e um indivíduo de cada uma das quatro espécies nativas. Os indivíduos plantados possuíam altura média de 60 cm para garantir seu estabelecimento. Os indivíduos de *H. coronarium* foram coletados em uma área invadida dentro da UFSCar. Para cada tratamento foi realizado uma réplica.

Em cada lisímetro instalamos um tubo de PVC (32 mm), na parte externa do tanque, no qual acoplamos uma mangueira cristal de 3,175 mm e uma fita métrica graduada. Além disso, tubos de PVC (32 mm) foram inseridos no centro de cada lisímetro, onde foram colocados os transdutores de pressão (DI-801, Van Essen Instruments) para que registrassem o nível da água a cada 15 minutos. A pressão atmosférica dentro da casa de vegetação foi mensurada pelo Baro Diver. Todas essas medidas, em cada um dos lisímetros foram realizadas durante o período de 14 meses (23/05/2018 a 24/06/2019,

total de 398 dias). A irrigação de todos os lisímetros foi feita manualmente, de acordo com a necessidade de água em cada um (quando nível de água alcançava a marca de 20 cm ou menor), sendo que a quantidade de água aplicada em cada lisímetro foi quantificada em litros (ver detalhe da descrição no item 4.1).

Cálculo da evapotranspiração (ET)

Para calcular a ET nesse experimento utilizamos o método de Gribovszki et al. (2008) (equação 1) adaptado para o nosso conjunto de dados e levando em consideração o rendimento específico. Assim, a equação (1) final é:

$$ET = S_y * \Delta S \quad (1)$$

em que ET é a evapotranspiração; S_y é o rendimento específico; e o ΔS é a variação de água em um volume controlado. A ET foi calculada para os dados registrados a cada 15 minutos, sendo que esses dados foram somados para um registro diário e mensal.

Cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀) e do coeficiente da planta (K_p)

A evapotranspiração de referência (ET₀) é um indicador da quantidade de água utilizada por uma determinada cultura, em um local e período específicos. Assim, é um importante parâmetro agrometeorológico para planejamento de irrigação, mas também pode ser considerado um elemento climático de demanda hídrica muito utilizado em estudos hidrológicos. Assim, utilizamos a equação 2 para o cálculo da ET₀ foi:

$$ET_0 = \frac{\left(0,408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)\right)}{(\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2))} \text{ [mmd-1]} \quad (2)$$

onde Rn é o saldo de radiação [MJ m⁻² d⁻¹]; G o fluxo de calor sensível no solo [MJ m⁻² d⁻¹]; γ o coeficiente psicrométrico [kPa °C⁻¹]; T a temperatura média diária a 2 m de altura [°C]; u_2 a velocidade do vento a 2 m de altura [m s⁻¹]; e_s a pressão de saturação de vapor [kPa]; e_a a pressão de vapor atual [kPa]; $e_s - e_a$ o déficit de pressão de saturação de vapor [kPa]; Δ a tangente à curva de pressão de saturação no gráfico psicrométrico [kPa °C⁻¹].

Os dados para o cálculo da ET₀ foram adquiridos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação de São Carlos (22° 0' 55" Sul, 47° 53' 28" Oeste);

com exceção da temperatura que foi registrada pelo transdutor de pressão (Baro-diver) dentro da casa de vegetação.

A partir do cálculo da ET real (capítulo 1) de qualquer cultura, ou no nosso caso, para uma determinada espécie (ou ainda, um conjunto delas, a mistura), juntamente com o cálculo da ET_0 é possível calcularmos o coeficiente da planta (K_p). O K_p é determinado com base nas condições locais, sendo um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos de cada espécie (MEDEIROS et al., 2004). Assim, podemos determinar o K_p através da equação 3:

$$ET = K_p * ET_0 \quad (3)$$

sendo ET a evapotranspiração real; o K_p o coeficiente de cultura e ET_0 a evapotranspiração de referência.

O valor do K_p encontrado para cada espécie ou um conjunto de espécies pode ser aplicado para outras localidades. Sendo assim, o cálculo do K_p apresentado nesse trabalho pode ser usado para calcular a ET de uma determinada localidade.

Análises estatísticas

Utilizamos a correlação de Person para relacionar valores de temperatura média (local) e ET diária. O teste de Tukey e os Modelos Mistos (“*Linear Mixed Effects Regression*” – LMER) com o pacote lmer4 (BATES et al., 2016), foram aplicados para avaliar possíveis diferenças da variável resposta, ET diária, nas variáveis explicativas: os três tratamentos testados (*Hedychium coronarium*, Nativas e Mistura), a radiação solar e a temperatura. Sendo assim, a relação da variável resposta com variáveis explicativas são os efeitos fixos do modelo, enquanto as réplicas dos tratamentos e as datas de coleta foram consideradas como o efeito aleatório.

Para termos certeza de que as medidas manuais (fita métrica) e dos divers eram equivalentes, fizemos uma correlação com os dados abaixo dos 30 centímetros de ambas aferições (Apêndice). O teste de Tukey foi aplicado para avaliar possíveis diferenças no coeficiente da planta (K_p) (valores mensais) entre os seis lisímetros. Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM, 2018).

Resultados

Nossos resultados sugerem que existe um padrão na ET diária, a radiação solar e a temperatura média ao longo do período estudado para os três tratamentos (Figura 8). Além disso, houve uma correlação moderada entre temperatura média e a ET ($\rho = 0,49$; $p < 0,001$); e uma correlação entre a temperatura média e a radiação ($\rho = 0,62$; $0,001$). Houve diferença na ET diária entre os diferentes tratamentos testados (*Hedychium coronarium* e Nativas; *Hedychium coronarium* e Mistura; e Nativas e Mistura) (Tabela 2; Figura 9 e Figura 10). E ET diária foi afetada tanto pelo tratamento quanto pela radiação solar (Estimate = 0,27; $t = 29,93$; $p < 0,001$). Para o lisímetro contendo apenas a espécie invasora (tratamento 1) os valores de ET diária variaram entre 0,59 mm/d e 17,16 mm/d para temperaturas médias do ar de 20,6°C e 30,5°C; e radiação 6,4 KW/m² e 28,2 KW/m², respectivamente; para o lisímetro com apenas as espécies nativas (tratamento 2), esses valores estiveram entre 1,07 e 18,27, para temperaturas médias do ar de 16,5°C e 30,5°C; e radiação 0,0 KW/m² e 28,2 KW/m², respectivamente; e para o lisímetro contendo as mistura das espécies (tratamento 3), os valores de ET diária estiveram entre 0,99 e 18,50, para temperaturas médias do ar de 19,4°C e 30,3°C; e radiação 8,51 KW/m² e 26,8 KW/m², respectivamente. Assim, os valores de ET mínima, média e máxima dos três tratamentos estudados foram bem próximos (Tabela 3). Além disso, os valores máximos de ET, para os três tratamentos se concentraram no mês de fevereiro de 2019, ou seja, na estação mais quente e com alta radiação solar (verão).

Tabela 2: Teste de Tukey comparando a evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses.

	Estimate	SE	df	t	p
<i>Hedychium coronarium</i> - Mistura	-0,924	0,107	1590	-8,616	<0,001*
<i>Hedychium coronarium</i> - Nativas	-0,498	0,107	1590	-4,649	<0,001*
Nativas – Mistura	0,425	0,107	1590	3,967	0,0002*

*valores significativos

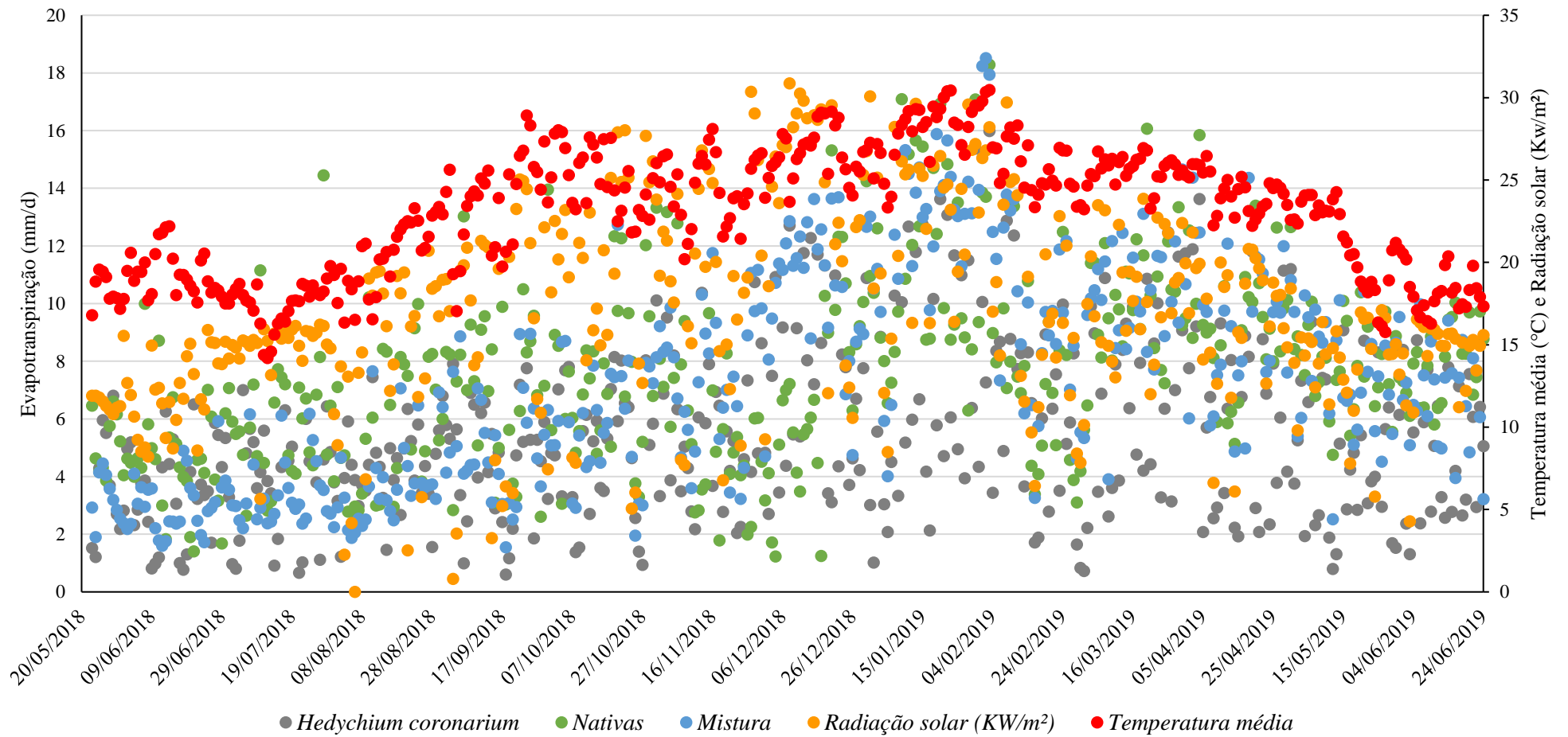


Figura 8: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração diária (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) ao longo de 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

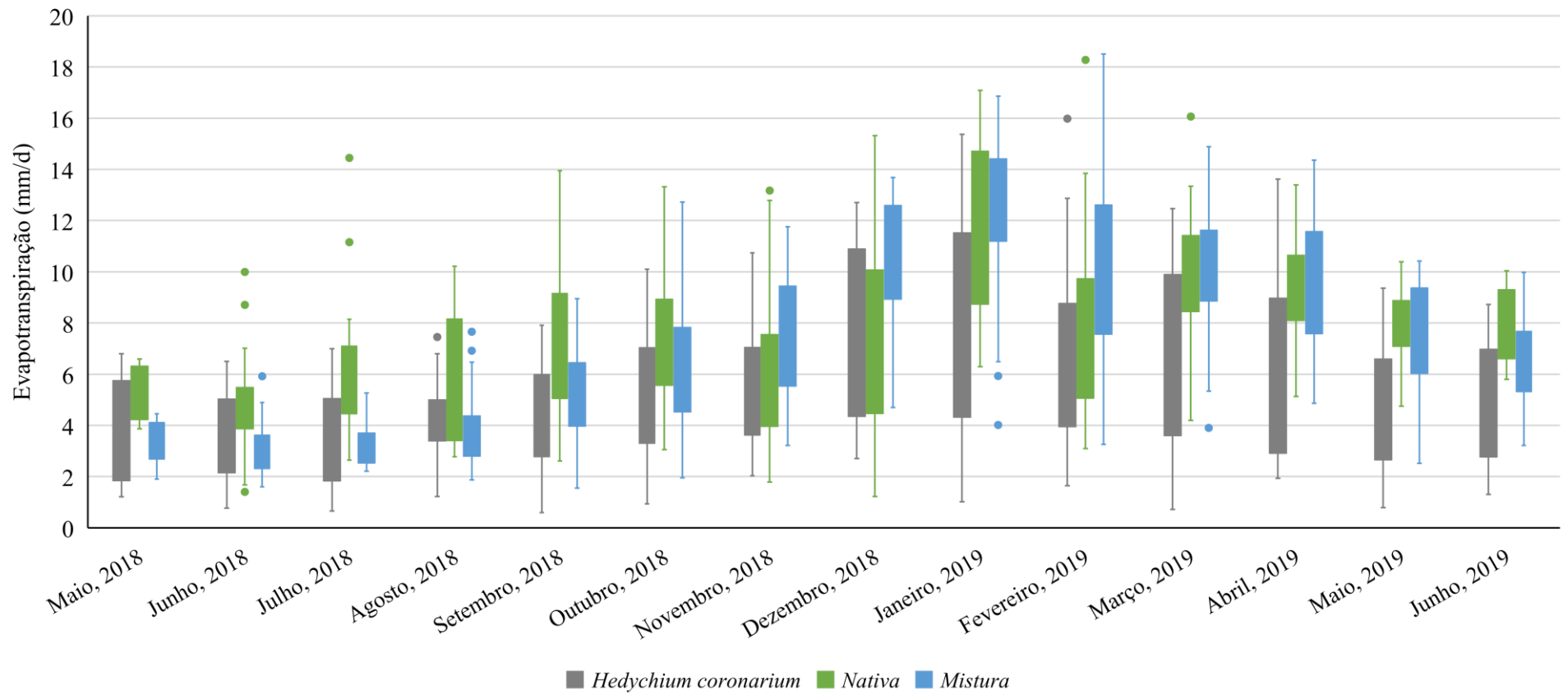


Figura 9: Evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos ao longo do período de estudo: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, *Bromeliaceae*, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses.

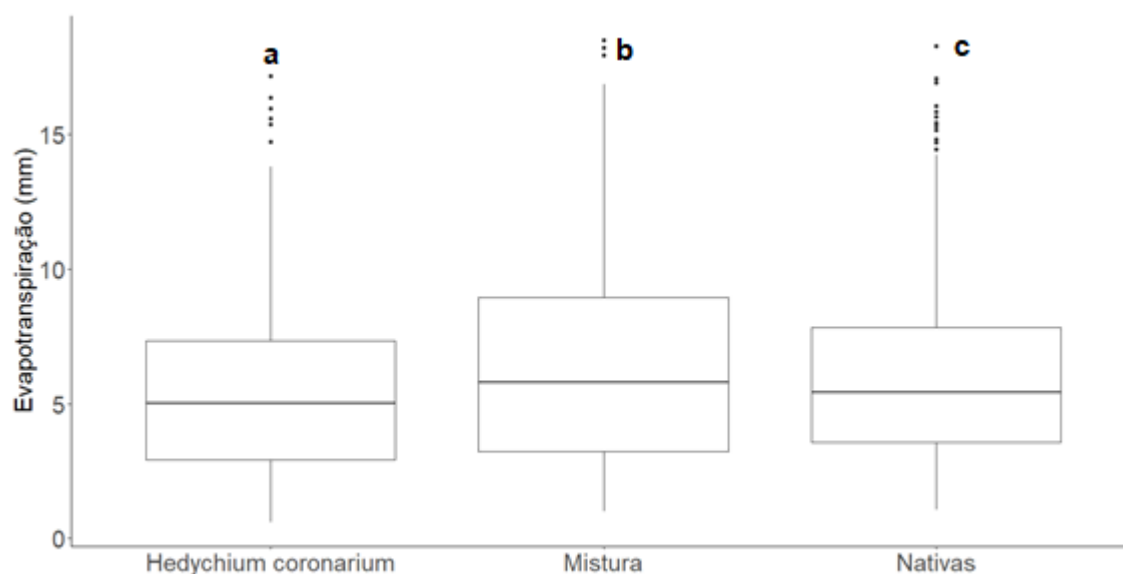


Figura 10: Evapotranspiração diária (mm/d) em três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliaceae, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 3: Evapotranspiração diária (mm/d) (mínima, média e máxima) com sua respectiva temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e também a respectiva data, nos três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliaceae, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses.

	<i>Hedychium coronarium</i>			Nativas			Mistura		
	Mínima	Médi a	Máxima	Mínima	Médi a	Máxima	Mínima	Médi a	Máxima
ET (mm/d)	0,598	5,464	17,165	1,073	5,956	18,278	0,996	6,387	18,509
Data	18/09/201	-	03/02/201	06/08/201	-	03/02/201	06/06/201	-	02/02/201
Temperatur a do ar ($^{\circ}\text{C}$)	8	-	9	8	-	9	8	-	9
Radiação (KW/m ²)	20,6	-	30,5	16,5	-	30,5	19,4	-	30,3
	6,4	-	28,2	0,0	-	28,2	8,5	-	26,8

Quando olhamos para a ET diária acumulada (Figura 11), podemos verificar que a ET da mistura possui um valor final acumulado maior do que os outros dois tratamentos. Do início do experimento até dezembro de 2018, a ET diária acumulada do tratamento contendo somente as nativas é maior do que os outros dois tratamentos. Porém, a partir dessa data, o tratamento contendo a mistura das espécies estudadas entra num aumento crescente, até a finalização do experimento.

A ET_0 diária apresenta comportamento semelhante a temperatura média e a ET diária dos diferentes lisímetros ao longo do ano (Figura 12 e 13), além de apresentar um aumento dos valores mensais no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.

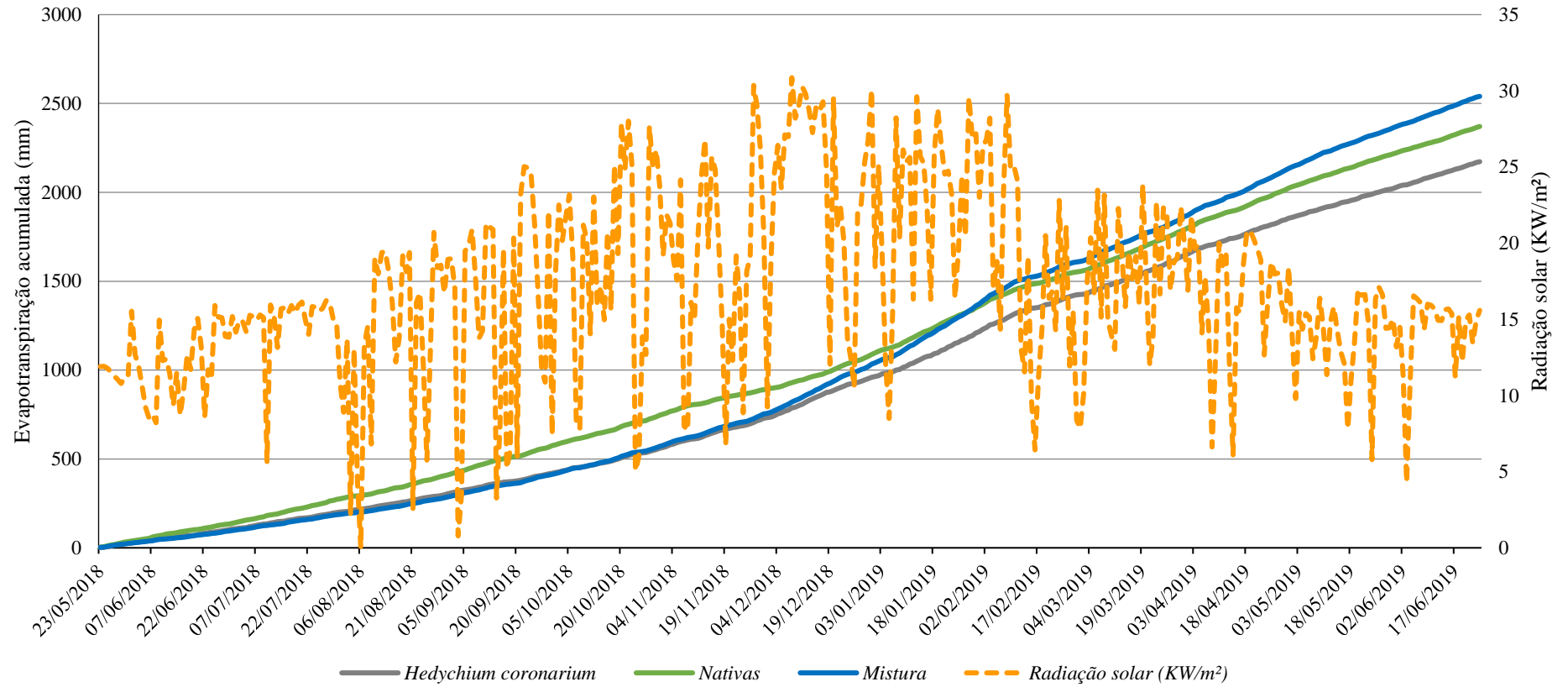


Figura 11: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração diária acumulada (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) (vermelho) ao longo de 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária *Bromeliacea*, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

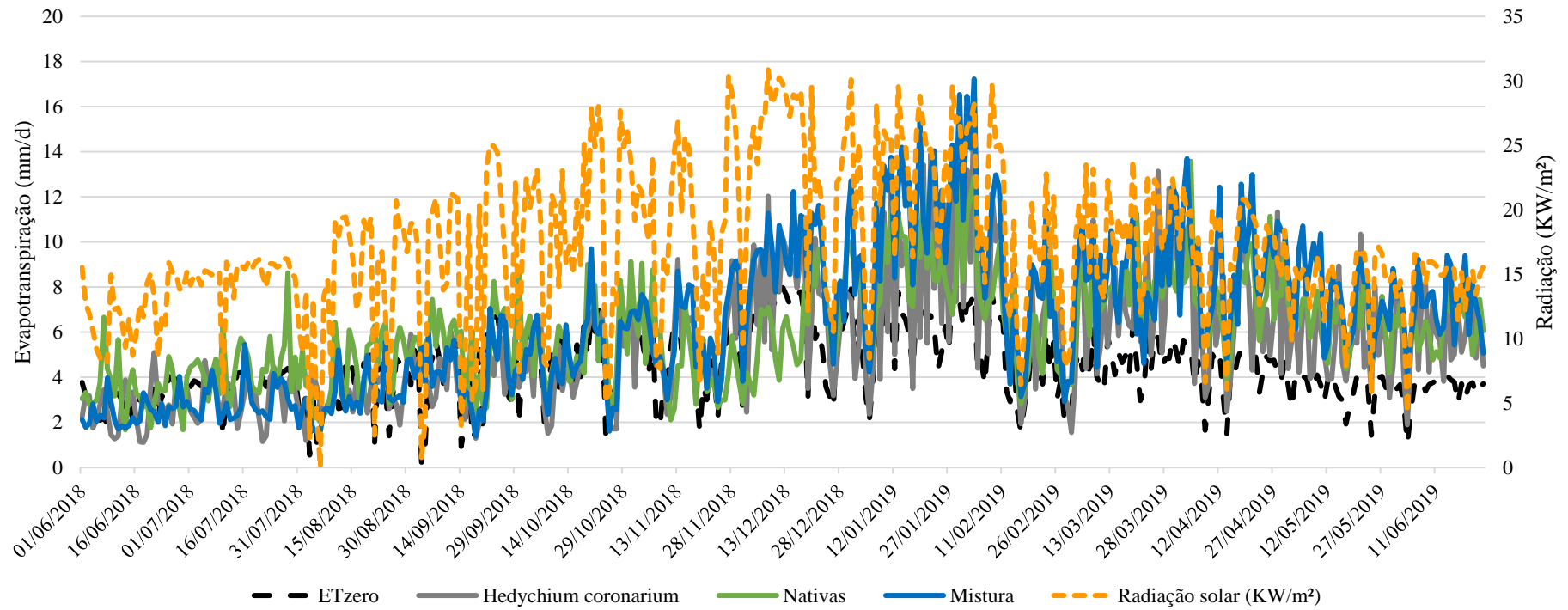


Figura 12: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração da evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração (ET) diária (mm/d) e da radiação solar (KW/m²) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

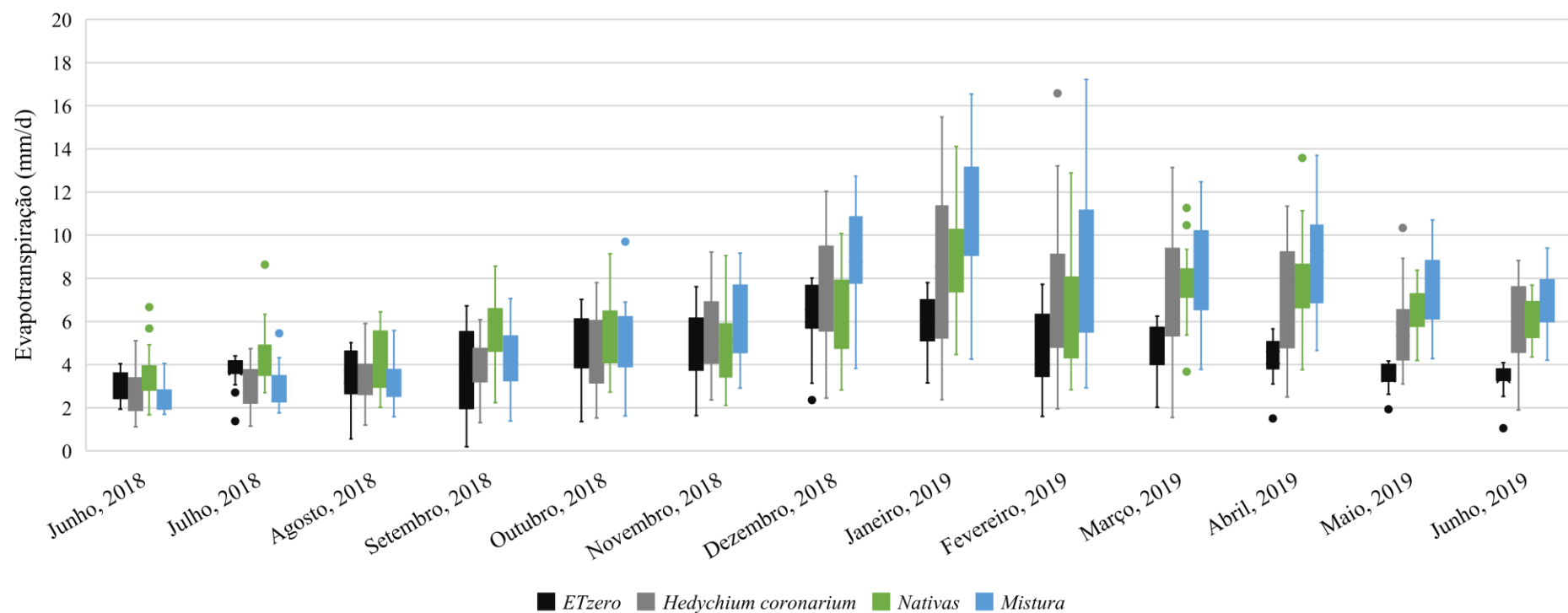


Figura 13: Representação gráfica do padrão da evapotranspiração de referência (ET_0) (mm/d) e evapotranspiração (ET) diária (mm/d) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

Os valores do K_p mensal para cada lisímetro foram calculados (Tabela 4; Figura 14) e diferem estatisticamente entre alguns lisímetros (Figura 15). Podemos perceber que os valores de K_p aumentaram durante o período de estudo, já que esses valores variam de acordo com a cultura (nesse caso, as espécies) e com seu estágio de desenvolvimento. No início do experimento (de junho a agosto de 2018), os valores de K_p eram baixos, pois as espécies ocupavam uma pequena porcentagem do terreno, ou seja, havia muito solo exposto. Ao longo do tempo, com o crescimento das espécies a porcentagem de cobertura do solo aumentou, e conseqüentemente, o K_p , até atingirem o valor máximo, que é quando as espécies ocupam totalmente o solo. Os valores de K_p oscilaram ao longo do tempo, provavelmente porque alguns indivíduos morreram ao longo do experimento, principalmente algumas bromélias e alguns genets de *H. coronarium*.

Tabela 4: Valores do coeficiente da planta (K_p) para todos os lisímetros utilizados no experimento submetidos aos três diferentes tratamentos: 1) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; 2) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliaceae, *Eutepedulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e 3) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses.

Data	<i>H. coronarium 1</i>	<i>H. coronarium 2</i>	Nativas 1	Nativas 2	Mistura 1	Mistura 2
Julho 2018	0,9906*	0,6260*	1,5725	0,7598	0,8996*	0,6258*
Agosto 2018	1,2334	0,7119	1,7007	0,8468	1,1357	0,7206
Setembro 2018	1,1173	0,7659	1,7894	0,9118	1,2659	0,8243
Outubro 2018	1,0509	0,8073	1,5093	0,7306*	1,2413	0,8117
Novembro 2018	1,1360	1,1728	1,2124	0,7639	1,5507	0,9581
Dezembro 2018	1,1631	1,2209	1,1675*	0,8763	1,6912	1,2019
Janeiro 2019	1,2524	1,5091	1,8732	1,0602	2,0824	1,5744
Fevereiro 2019	1,4832	1,6348	1,7206	1,1762	2,1795	1,3642
Março 2019	1,4704	1,6442	2,1233	1,1900	2,1744*	1,3978
Abril 2019	1,5111*	1,6914	2,1851	1,4091	2,1707	1,9875
Mai 2019	1,3350	1,8741	2,2472	1,4227*	2,1554	2,1850*
Junho 2019	1,4230	2,0373*	2,2973*	1,2708	1,9538	2,1469

*valores mínimos e máximos

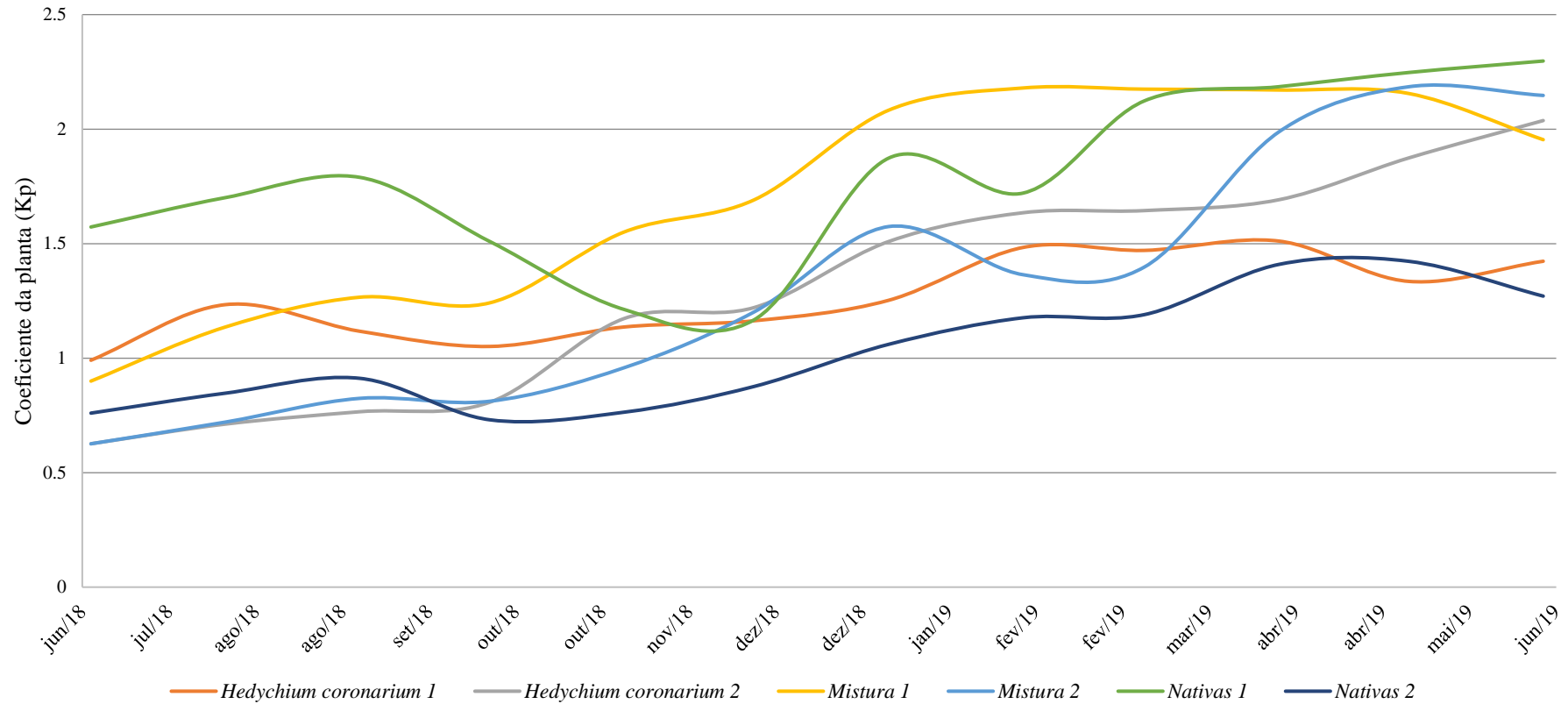


Figura 14: Representação gráfica do coeficiente da planta (K_p) mensal e da temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

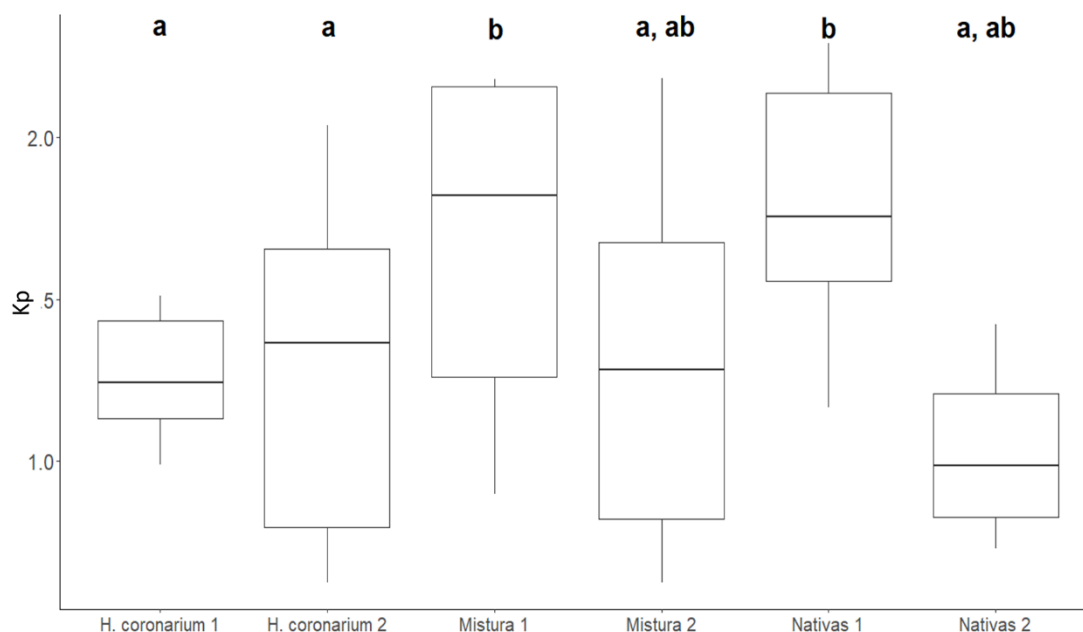


Figura 15: Coeficiente da planta (K_p) em seis lisímetros com três diferentes tratamentos: (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre os lisímetros ($p < 0,05$).

Discussão

A evapotranspiração diária esteve positivamente relacionada com a radiação solar ao longo dos 14 meses de estudo, e esse padrão pode ser visto nos três diferentes tratamentos testados. Além disso, os valores de ET diária variaram de acordo com o tratamento testado, indicando que diferentes espécies (invasoras ou nativas) utilizam de maneira diferente a água disponível no ambiente. Já a ET_0 diária apresentou uma tendência de comportamento parecida a ET e a radiação solar; e o K_p aumentou ao longo do ano de acordo com o estágio de desenvolvimento das espécies.

De maneira geral, a ET e a ET_0 tendem a aumentar de acordo com o aumento radiação solar, e conseqüentemente da temperatura, ou seja, entre os meses de outubro e fevereiro. Essa relação também foi encontrada em uma área de zona ripária no Ribeirão da Onça, localizado em Brotas, estado de São Paulo (PONTON, 2017). Por esse padrão ser observado nos três diferentes tratamentos testados, podemos assumir que a variação da ET diária pode depender da temperatura local, parâmetro indireto da radiação solar (energia), que é um dos fatores que controlam diretamente a ET (PEREIRA et al, 2013).

Além disso, os valores máximos de ET para os três tratamentos foram encontrados no mês de fevereiro de 2019, coincidindo com as maiores temperaturas e os maiores índices de radiação solar. Bosquilia e colaboradores (2019) encontraram as maiores taxas de ET nos meses de dezembro e fevereiro em áreas de plantações (cana de açúcar e eucalipto) e áreas nativas (Cerrado e Mata Atlântica), mostrando que nos meses mais quentes do ano (verão), há maiores taxas de ET em diferentes tipos de vegetação.

Nossa hipótese inicial de que a ET seria maior para a espécie invasora não foi corroborada, já que os valores da ET mínima (0,598 mm/d) e máxima (17,165 mm/d) diárias do tratamento contendo somente a espécie *H. coronarium* foram menores do que os valores mínimos (nativas: 1,073 mm/d; mistura: 0,996 mm/d) e máximos (nativas: 18,278 mm/d; mistura: 18,500 mm/d) diários dos dois outros tratamentos. Além disso, o maior valor de ET diária acumulada ocorreu para tratamento mistura (2.540,16 mm), sendo que o tratamento com a invasora foi o menor valor (2.172,53 mm). Ambientes com vegetação mais heterogênea, principalmente com espécies arbóreas mais altas (tratamento mistura e nativas), tendem a ter maior taxa de evapotranspiração do que ambientes com vegetação mais homogênea e mais baixa, como gramíneas, arbustos e monoculturas (BACELLAR, 2005). Espécies arbóreas, geralmente, possuem folhas maiores, maior área foliar, raízes mais profundas e mais eficientes na absorção de água (REIS et al., 2014), e consequentemente, possuem maiores taxas de ET. Além disso, vegetações mais escuras, aqui representada pelas espécies nativas refletem menos radiação solar do que vegetações mais claras, como *H. coronarium*; logo, espécies nativas possuem maior ET (PEREIRA et al., 1997). Nesse estudo fica claro que o tratamento contendo apenas a espécie invasora obteve menores valores de ET diária, quando comparado com os outros dois tratamentos. Penka (1991) mostrou que para uma ET potencial de 4,4 mm/d em uma floresta ripária, o estrato arbóreo é responsável pela maior porcentagem (88%) e o herbáceo pela menor (3%) do valor total, ou seja, espécies herbáceas tendem a utilizar uma menor quantidade de água quando comparadas às arbóreas. Entretanto, quando comparamos a ET diária entre três tratamentos, a mistura obteve os maiores valores; isso provavelmente ocorreu devido a junção de todas as espécies num mesmo lisímetro. Ademais, esses maiores valores de ET relacionados ao estrato arbóreo podem ser devido a maior altura, raízes mais profundas (BACELLAR, 2005), além da maior produção de biomassa. Espécies com maior biomassa, e consequentemente, maior porte podem consumir uma maior quantidade de água (ENRIGHT, 2000). Essas características morfológicas não são

aplicáveis à espécie invasora alvo esse estudo, já que esta possui menor porte, folhas menores e sistema radicular rizomático.

No tratamento contendo a mistura das espécies (invasora e nativas) a ET mínima foi menor quando comparada ao tratamento contendo apenas nativas, isso provavelmente ocorreu pela presença da espécie *H. coronarium*. Como discutido anteriormente, essa espécie sozinha apresentou menor ET mínima e máxima, o que mostra uma consequência direta do processo de invasão vegetal por essa espécie no sistema hídrico. Uda e colaboradores (2013) encontraram maiores valores de ET diária associados a locais com menor influência antrópica, como florestas nativas e reflorestamentos. Além disso, a ET influencia diretamente o clima através da troca de energia e água, tornando as florestas nativas essenciais para os serviços ecossistêmicos e bacias hidrográficas, tais como o controle de enchentes, qualidade da água e o estoque de carbono e nitrogênio (POON; KINOSHITA, 2018). Em contrapartida, a substituição de floresta nativa por plantações ou pastagens reduz a capacidade de infiltração do solo, a profundidade das raízes e a rigidez das superfícies, além de aumentar o albedo (BONAN et al., 2002; NAUMBURG et al., 2005). Sendo assim, a substituição da vegetação nativa em áreas ripárias pela espécie *H. coronarium* pode acarretar prejuízo na oferta dos serviços ecossistêmicos, e na manutenção da biodiversidade.

De maneira geral, os valores de K_p mensal diferiram entre os três tratamentos estudados e aumentaram ao longo do período de estudo. Esse aumento ao longo do tempo pode estar diretamente relacionado as fases de crescimento das espécies, ou seja, no início do crescimento, há menos biomassa produzida, e conseqüentemente, menor porcentagem de cobertura do solo pelas espécies, levando assim, a menores valores de K_p . Os valores mínimos de K_p para todos os lisímetros se concentraram nos seis primeiros meses, já os valores máximos se concentraram nos quatro últimos. Essa variação se dá, principalmente, as mudanças dos estágios de crescimento das espécies, já que as a maioria das várias condições climáticas (radiação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) estão incorporadas na estimativa da ET_0 . Essa característica metodológica é uma vantagem, pois os valores de K_p encontrados em trabalhos como este podem ser considerados como valores padrão independentes da variabilidade abiótica local.

Até o presente momento, não há valores conhecidos de K_p para a espécie invasora *H. coronarium*, fazendo com que nosso trabalho seja pioneiro na apresentação dessa informação (0,99 até 2,03). Os valores K_p encontrado para o tratamento de nativas (0,73

a 2,29) pode ser utilizado como referência para cálculos de ET em áreas de floresta ripária, ainda que nosso tratamento seja apenas um subconjunto de várias possibilidades de composição de espécies em áreas ripárias neotropicais. Encontramos na literatura um valor médio de K_p (igual a 1,0), também a nível experimental, para áreas ripárias no Brasil (ALLEN et al., 1998), o que evidencia que o K_p para zonas ripárias tem sido subestimado e que os valores apresentados por nós podem ser adotados.

O decréscimo nos valores de K_p no final dos 14 meses de estudo, e até mesmo em alguns períodos durante o experimento reflete os períodos de senescência ou a queda das folhas das espécies, tanto para a espécie invasora, que é anual; quanto para as espécies nativas (ALLEN et al., 1998). Os valores de K_p , geralmente são calculados para culturas importantes economicamente, sendo que essa abordagem ecológica é um campo relativamente novo. Assim, com base na existência de poucos trabalhos que abordem a ecohidrologia ainda é difícil encontrar dados na literatura a título de comparação.

A descrição da ET de uma espécie invasora, bem como a comparação desses valores com ET de espécies nativas, mesmo que a nível experimental, se faz necessário para entendermos melhor a evapotranspiração nos ecossistemas. Ademais, nosso trabalho é o primeiro a mensurar a ET de cinco espécies diferentes de floresta ripária brasileira a nível experimental. Geralmente os trabalhos buscam essa mensuração nos ambientes naturais, o que se torna mais difícil por possuir muitas variáveis a serem controladas e pelo custo financeiro. Além disso, a mensuração da ET_0 , e conseqüentemente, do K_p das espécies estudadas é igualmente importante para entendermos melhor como os processos ecohidrológicos podem afetar a perda de espécies nativas e as invasões biológicas.

Conclusão

A descrição e a comparação da evapotranspiração de uma espécie herbácea invasora (*Hedychium coronarium*) com quatro espécies nativas (Bromeliaceae, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*) de floresta ripária, que competem diretamente em um mesmo ambiente, são de extrema importância para compreendermos melhor a utilização da água por essas espécies, além de nos ajudar a entender a interação vegetação, solo e atmosfera. Nesse trabalho podemos observar que a espécie invasora estudada, *Hedychium coronarium*, quando sozinha, utiliza uma menor quantidade de água, quando comparada às espécies nativas, o que pode reduzir a evapotranspiração em um local. Essa diminuição pode reduzir a oferta de um serviço ecossistêmico de grande

importância, a água, já que a evapotranspiração é a via de retorno da água para a atmosfera e conseqüentemente, parte fundamental do ciclo hidrológico.

Por se tratar de um processo importante do ciclo hidrológico, estudos abordando a evapotranspiração podem nos ajudar a entender o processo de invasão pela espécie *Hedychium coronarium*, principalmente por esta estar dominando áreas de floresta ripária (ambientes com grande disponibilidade de água). Outros trabalhos que mensurem a evapotranspiração precisam ser realizados, abordando até mesmo outras espécies invasoras de floresta ripária, para que possamos entender cada vez melhor o papel dessas espécies nesse ambiente. Além disso, trabalhos que envolvam o consumo de água por espécies invasoras também podem nos ajudar a buscar métodos de erradicação dessas espécies nos ambientes naturais.

Agradecimentos

CAPES à bolsa de doutorado concedida e à FAPESP pelo financiamento do projeto (Processo 2016-19522-5). Ao Janderson Assandre Assis, Mariane Patrezi Zanatta e Karin Reis pela ajuda na montagem do experimento e na coleta de dados; e ao Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC – USP) pela ajuda nos cálculos de evapotranspiração e coeficiente de cultura.

Referências bibliográficas

ALLEN, R. G.; WALTER, I. A.; ELLIOT, R. L.; HOWELL, T.A.; ITENFISU, D.; JENSEN, M. E.; SNYDER, R. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. **ASCE and American Society of Civil Engineers**. 2005.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome: [s,n,], 1998.

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**. 1, 1–39, 2005.

BARLING, R. D; MOORE, I. D. Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. **Environmental Management**, 18: 543-558, 1994.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S.; CHRISTENSEN, R. H. B.; SINGMANN, H.; DAI, B.; SGHEIPL, F.; GROTHENDIECK, G.; GREEN, P.; FOX, J. **Package ‘lme4’, R Package Version 1**, p 1–10, 2016.

BLOSSEY, B.; NÖTZOLD, R. Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis. **Journal of Ecology**, p 83:887–889, 1995.

- BONAN, G. **Ecological Climatology**. Cambridge University Press. 2002.
- BOSQUILIA, R. W. D.; NEALE, C. M. U.; DUARTE, S. N.; LONGHI, S. J.; FERRAZ, S. F. B.; MULLER-KARGER, F. E. Evaluation of evapotranspiration variations according to soil type using multivariate statistical analysis. **Geoderma**, 355: 1-11, 2019.
- CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill Book Company, New York, 1964. p 1418.
- ENRIGHT, W. D. The effect of terrestrial invasive alien plants on water scarcity in South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B, Hydrology, Oceans and Atmosphere** 25: 237 – 242, 2000.
- ESMAEILABADI, A. E. **Evapotranspiration: Application, Scaling and Uncertainty**. Tese (Doutorado) — University of New South Wales, Sydney, Australia, 2014.
- GRIBOVSKI, Z.; KALICZ, P.; SZILÁGYI, J.; KUČSARA, M. Riparian zone evapotranspiration estimation from diurnal groundwater level fluctuations. **Journal of Hydrology**, v. 349, n. 1-2, p. 6–17, 2008. ISSN 00221694.
- HOOD, W. G.; NAIMAN, R. J. Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants. **Plant Ecology**, 148: 105-114, 2000.
- IUCN [International Union for the Conservation of Nature] IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. **Species**, 31/32: 28-42, 1999.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70**. American Society of Civil Engineers, New York, 1990.
- MALAN, H. L.; DAY, J. A. **Linking Discharge, Water Quality and Biotic Response in Rivers: a Literature Review**. WRC Report No. 956/2/02. Water Research Commission, Pretoria, 2002.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: Erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, v,26, p,513-519, 2004.
- NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 28, 621–658, 1997.
- NAUMBURG, E.; MATA-GONZALES, R.; HUNTER, R. G.; MCLENDON, T.; MARTIN, D. W. Phreatophytic vegetation and groundwater fluctuations: A review of current research and application of ecosystem response modeling with an emphasis on great basin vegetation. **Environmental Management**, 35: 726–740, 2005.
- PENKA, M. **The water relations of the herb, shrub and tree layers in the floodplain forest**. In: Floodplain Forest Ecosystem. Vol II: After Water Management Measures, Penka M, Vyskot M, Klimo E, Vasicek F (eds). Academia: Praha, 419±448, 1991.
- PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; NOVA, N. A. V. Book. **Evapotranspiração**. Campinas, SP: [s.n.], 2013. ISBN 978-85-62435-06-5.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA G. C. **Evapo(transpi)ração**.

Piracicaba: FEALQ, 1997. 183.

PONTON, A. F. H. **Determinação empírica da evapotranspiração em zona ripária e áreas vizinhas (Cerrado stricto sensu e eucalipto)**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulos, São Carlos, 2017.

POON, P. K.; KINOSHITA, A. M. Spatial and temporal evapotranspiration trends after wildfire in semi-arid landscapes. **Journal of Hydrology**, 559: 71 – 83, 2018.

R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM. **R: a Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2018.

RICHARDSON, D. M.; HOLMES, P. M.; ESLER, K. J.; GALATOWITSCH, S. M.; STROMBERG, J. C.; KIRKMAN, S. P.; PYSEK, P.; HOBBS, R. J. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and Distributions**, 13:126-139, 2007.

REIS, M. G. DOS; RIBEIRO, A.; BAESSO, R. C. E.; SOUZA, W. G. DE; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balance of water and energy for eucalyptus plantations with partial soil cover. **Ciência Florestal**, 24 (1), 117–126, 2014.

SIMBERLOFF, D.; REJMÁNEK, M. [Encyclopedia of Biological Invasions](#). University of California Press, Berkeley & Los Angeles. 2011.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; KOBIVAMA, M.; SILVA, F. V. da. **Análise da evapotranspiração real diária para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho – SC por meio do modelo SEBAL e imagens ASTER**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Proceedings. INPE, Foz do Iguaçu, Brazil, 2013.

VERSTRAETEN, W.W.; VEROUSTRAETE, F.; FEYEN, J. Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. **Sensors, Basel, Switzerland**, 8 (1), 70–117, 2008.

VITOUSEK, P. M.; D'ANTONIO, C. M.; LOOPE, L. L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKSAL, R. Introduced species: a significant component of human-caused global change. **New Zealand Journal of Ecology**, 21: 1-16, 1997.

VITOUSEK, P. M. Biological invasions and ecosystem properties: can species make a difference? - In: Mooney, H. A. and Drake, J. (eds), **Biological invasions of North America and Hawaii**. Springer, 1986. p 163-176.

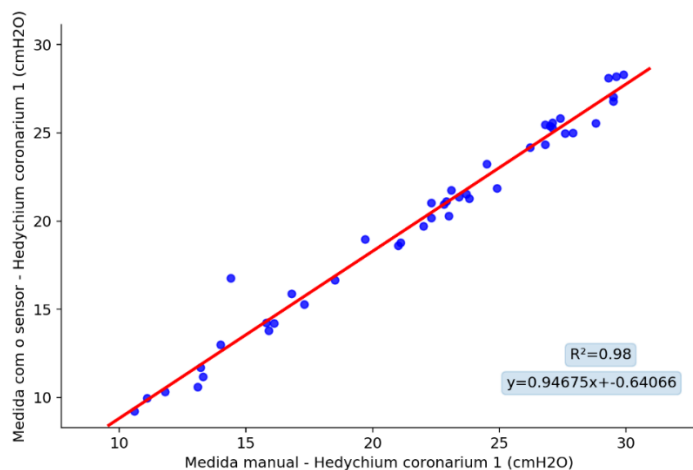
ZOTARELLI, L.; DUKES, M. D.; ROMERO, C. C.; MIGLIACCIO, K. W.; MORGAN, K. T. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). **The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS)**, University of Florida, AE459, 1- 10, 2010.

Apêndice

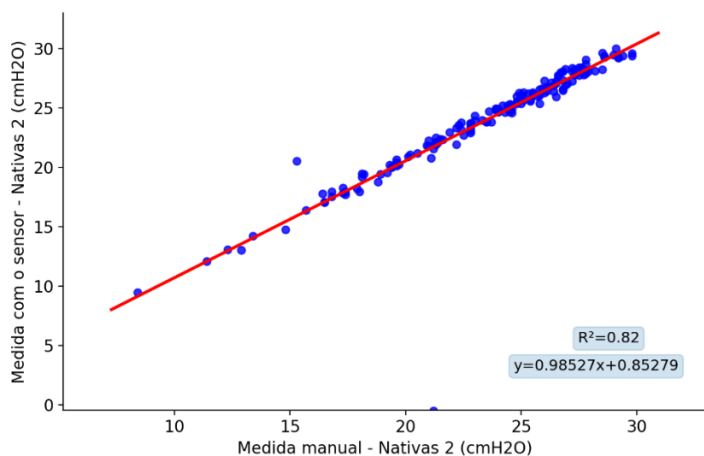
Correlação encontrada entre os dados obtidos pelos divers e a fita métrica (Figura 7 a, b e c) foi boa, ou seja, os dados são compatíveis com a realidade observada diariamente.

Representação gráfica da correlação das medidas manuais (fita métrica) e dos divers ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

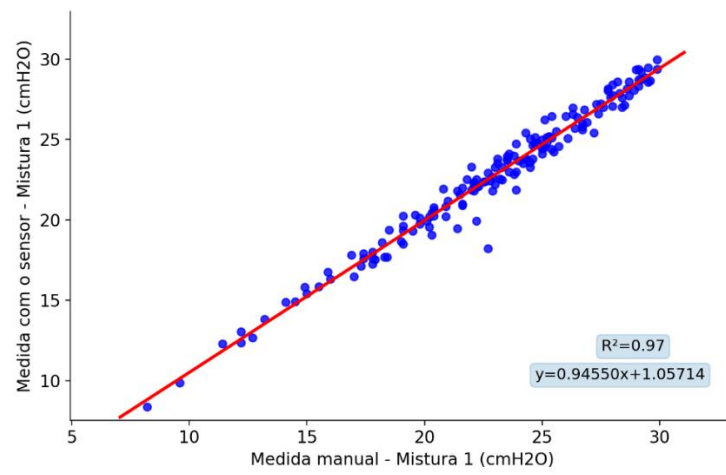
a)



b)



c)



8. CAPÍTULO 2

A relação entre evapotranspiração e crescimento de uma macrófita invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de floresta ripária

RESUMO

As invasões biológicas podem alterar os processos a nível de ecossistemas, tais como ciclo hidrológico, sendo que a evapotranspiração é a via de retorno da água da superfície da Terra para a atmosfera e o tipo de vegetação tem influência direta nesse processo. Objetivou-se (i) analisar a evapotranspiração mensal e o crescimento da espécie invasora, *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de áreas ripárias; e (ii) relacionar o coeficiente da planta (K_p) das espécies e seu crescimento. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação, em três tratamentos diferentes, totalizando seis lisímetros. Tratamento 1: apenas a espécie invasora; tratamento 2: apenas nativas; e tratamento 3: mistura da espécie invasora e das nativas. Mediu-se mensalmente, durante um ano, a altura e diâmetro na altura do solo de rametas de *H. coronarium* e indivíduos das quatro espécies nativas. Utilizamos modelos lineares mistos para quantificar o efeito da altura, DAS, taxa de crescimento, número de rametas e estação do ano na ET. ET teve relação positiva com a altura, taxa de crescimento e a estação verão, além de que o tratamento mistura apresentou maior número de rametas, mostrando que há investimento no crescimento das espécies. O K_p aumentou conforme aumentou a taxa de crescimento ao longo do ano. *Hedychium coronarium*, utiliza os recursos disponíveis, como água, de maneira mais eficiente, investindo no seu crescimento, seja para uma maior ocupação de área ou até mesmo buscando mais luminosidade. A presença dessa espécie em áreas de floresta ripária é preocupante, já que ela pode utilizar os recursos disponíveis para invadir e dominar áreas de floresta ripária.

Palavras chave: evapotranspiração, crescimento, floresta ripária, invasão biológica, *Hedychium coronarium*

Introdução

As invasões biológicas são apontadas como uma das principais causas da perda de biodiversidade (VITOUSEK et al., 1997; IUCN 1999; SIMBERLOFF; REJMANEK, 2011), principalmente por essas novas espécies invasoras serem capazes de utilizar da alta invasibilidade do ambiente, o que conseqüentemente aumenta sua competição com outras espécies (LURGI et al., 2014). Uma maior efetividade na utilização dos recursos locais disponíveis, como a água, pode ser convertida em crescimento e acúmulo de biomassa, o que favorece o processo de invasão e pode alterar os processos a nível de ecossistemas (ciclo hidrológico) (VITOUSEK, 1986).

A evapotranspiração é parte fundamental dos ciclos hidrológicos, já que é através dela que a água volta da superfície da Terra para a atmosfera. Além disso, o tipo de vegetação tem influência direta na evapotranspiração, já que características biológicas das espécies, como altura, sistema radicular e fisiologia, tem efeito direto no balanço entre precipitação e evapotranspiração (LE MAITRE, 2011). Sem a existência da vegetação a ciclagem da água seria muito menor, principalmente devido à perda evaporativa e menores taxas de precipitação (FRAEDRICK et al., 1999). Por ser uma variável importante do ciclo hidrológico, estimar e monitorar a evapotranspiração pode nos ajudar a compreender melhor a interação da vegetação, solo e atmosfera (ESMAEILABADI, 2014).

Várias teorias tentam explicar o sucesso das espécies invasoras em um novo ambiente, uma delas é a que aponta que a ausência de inimigos naturais nesse ambiente (“*Enemy Release Hypothesis*”) libera a espécie invasora do investimento em recursos para a sua defesa (MARON; VILÀ, 2001; KEANE; CRAWLEY, 2002; JESCHKE et al., 2012; HEGER; JESCHKE, 2014). Essa hipótese está fortemente associada à hipótese evolutiva do aumento de habilidade competitiva (“*Evolution of Increased Competitive Ability*”), a qual sugere que espécies de plantas invasoras tendem a ter vantagens competitivas sobre espécies nativas no ambiente invadido (BLOSSEY; NÖTZOLD, 1995). Assim, a ausência de inimigos naturais no novo ambiente permite que a espécie invasora seja capaz de utilizar de maneira mais eficiente os recursos disponíveis nos ambientes (por exemplo, água, luminosidade e nutrientes no solo) na formação de atributos funcionais (alocação de biomassa, taxa de crescimento, tamanho, “*fitness*”, até mesmo atributos fisiológicos) que podem aumentar sua invasibilidade (KOLAR; LODGE, 2001; GROTKOPP, 2002, 2004; VAN KLEUNEN; RICHARDSON, 2007) e conseqüentemente, sua habilidade competitiva.

Com base nas vantagens das espécies invasoras, seja na obtenção de recursos ou na competição com as espécies nativas, esse trabalho tem como objetivo geral analisar a relação da espécie invasora *Hedychium coronarium*, e quatro espécies nativas de floresta ripária. Mais especificamente: (i) analisar a relação entre a evapotranspiração mensal e o crescimento das espécies (invasora e nativas); (ii) relacionar o coeficiente da planta (K_p) das espécies e seu crescimento. Nossas hipóteses são que: (i) a evapotranspiração tem relação direta com crescimento (altura, número de rametas e diâmetro na altura do solo) das espécies estudadas, sendo que a espécie *Hedychium coronarium* terá um crescimento mais acelerado; (ii) o coeficiente da planta (K_p) da espécie *Hedychium coronarium* será maior do que o das espécies nativas, pois esse coeficiente depende diretamente da evapotranspiração.

Material e Métodos

Metodologia

O experimento foi realizado através da montagem de lisímetros, seis no total, que foram construídos em tanques plásticos de 1000 L e estavam localizados em uma casa de vegetação na Secretaria de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (SGAS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) (ver descrição detalhada no item 4.2). Os lisímetros foram preparados com três tratamentos diferentes: 1) lisímetros simulando uma área totalmente invadida contendo apenas a invasora, *H. coronarium*; 2) lisímetros simulando uma área não invadida contendo apenas espécies nativas de ambientes ripários, Bromeliaceae, *Euterpe edulis* Mart., *Tapirira guianensis* Aubl. e *Croton urucurana* Baill.; 3) lisímetros simulando uma área invadida contendo a invasora e as mesmas espécies nativas de ambientes ripários utilizadas no tratamento 2. Cada tratamento foi realizado em réplica. Utilizamos mudas das espécies nativas com uma altura média de 60 cm. Os indivíduos de *H. coronarium* foram coletados previamente em uma área invadida dentro da UFSCar.

Cálculo da evapotranspiração (ET), evapotranspiração de referência (ET_0) e do coeficiente da planta (K_p)

O crescimento das espécies está diretamente relacionado aos dados de ET e ET_0 , sendo assim, utilizamos os resultados de ET , ET_0 e K_p apresentados no capítulo 1 e relacionamos esses valores com o crescimento das espécies estudadas. Para os valores de K_p , fizemos um média entre os mesmos tratamentos aplicados nos lisímetros, ou seja, os

valores de K_p mensais de cada tratamento é a média dos lisímetros com os mesmos tratamentos.

Dados de crescimento

O acompanhamento do crescimento foi realizado mensalmente através da identificação de cada um. A altura e diâmetro na altura do solo (DAS) de todos os indivíduos plantados nos lisímetros foi medida mensalmente. O número de novos rametas de cada geneta de *H. coronarium* foi obtido através da contagem direta. Além disso, calculamos a taxa de crescimento de cada indivíduo/rameta como (1):

$$TC = (M - m)/m \quad (1)$$

onde TC é a taxa de crescimento; M é a maior altura (do mês atual) e m é a menor altura (do mês anterior).

Além disso, o tipo de tratamento (*H. coronarium*, nativas e mistura) e a estação do ano (inverno e verão) foram consideradas variáveis explicativas que poderiam influenciar na evapotranspiração mensal. A coleta de dados foi realizada ao longo de um ano, de julho de 2018 a junho de 2019.

Análises estatísticas

As variáveis altura e diâmetro, geralmente estão correlacionadas, por isso testamos essa correlação através do teste de Pearson. Para testar o efeito das variáveis explicativas (tratamento, estação do ano, altura, DAS, taxa de crescimento e número de rametas) na nossa variável resposta (evapotranspiração mensal), utilizamos os Modelos Mistos (“*Linear Mixed Effects Regression*” – LMER) com o pacote lmer4 (BATES et al., 2016). As réplicas dos tratamentos (os seis lisímetros), a identificação de cada indivíduo e a numeração do indivíduo inicial (identificação dos indivíduos plantados inicialmente no experimento – de 1 a 8) foram consideradas como o efeito aleatório. Todas essas análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM, 2018).

Resultados

Houve diferença na evapotranspiração mensal com as variáveis explicativas: estação do ano verão, altura, DAS e número de rametas (Tabela 5). Os valores de K_p ,

obtidos no capítulo 1, aumentaram ao longo do período de estudo (Figura 16). No início do experimento (de junho a agosto de 2018), os valores de K_p eram baixos, já que as espécies estavam no início do crescimento e possuíam menor porcentagem de cobertura do solo. Entretanto, com mais investimento no crescimento, seja em altura ou número de rametas, a porcentagem de cobertura do solo aumentou, e consequentemente, o K_p , até atingirem o valor máximo (Figura 16). Os valores de K_p variaram de 0,80 a 1,73 para *H. coronarium*, de 0,98 a 1,83 para as nativas e de 0,76 a 2,17 para a mistura (Figura 17).

Tabela 5: Resultados de Modelos Lineares Mistos relação entre evapotranspiração mensal (mm/mês) e as variáveis testadas: tipos de tratamentos (tratamento 1: lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; tratamento 2: lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária Bromeliaceae, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e tratamento 3: uma mistura da invasora e das nativas), estação do ano (inverno e verão), altura (cm), diâmetro na altura do solo (DAS), taxa de crescimento e número de rametas.

Modelos válidos	Efeito fixo	Estimativa	t valor	p
ET ~ Tratamentos	Intercepto	189.55	6	< 0.001
	Tratamento Mistura	40.96	0.94	0.4200
	Tratamento Nativas	-1	-0.03	0.9805
ET ~ Estação do ano	Intercepto	177.57	11.10	< 0.001
	Estação verão	50.37	28.98	< 0.001*
ET ~ Altura	Intercepto	190.70	11.88	< 0.001
	Altura	0.17	7.73	< 0.001*
ET ~ DAS	Intercepto	208.8	12.50	< 0.001
	DAS	-0.43	-2.23	0.0259*
ET ~ Taxa de crescimento	Intercepto	202.46	12.34	< 0.001*
	Taxa de crescimento	0.2582	1.01	0.312
ET ~ Número de Rametas + Tratamento	Intercepto	37.66	1.14	0.2935
	Número de Rametas	1.89	6.00	< 0.001*
	Tratamento Mistura	95.75	2.68	0.05*

* valores significativos.

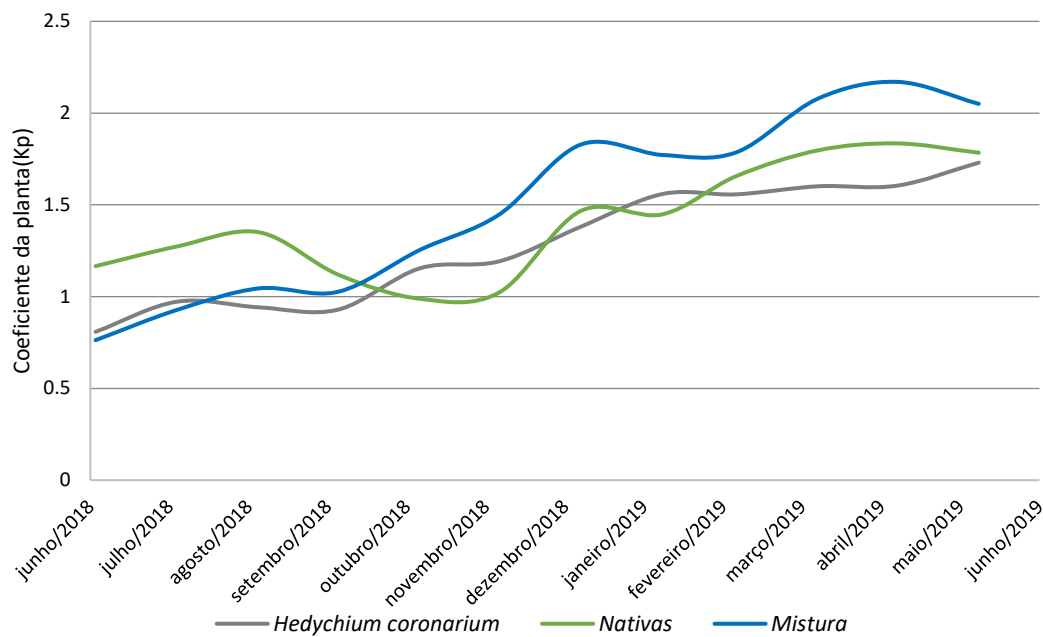


Figura 16: Valores do coeficiente da planta médio (K_p) ao longo dos 14 meses de estudo, para os três diferentes tipos de tratamento. (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas.

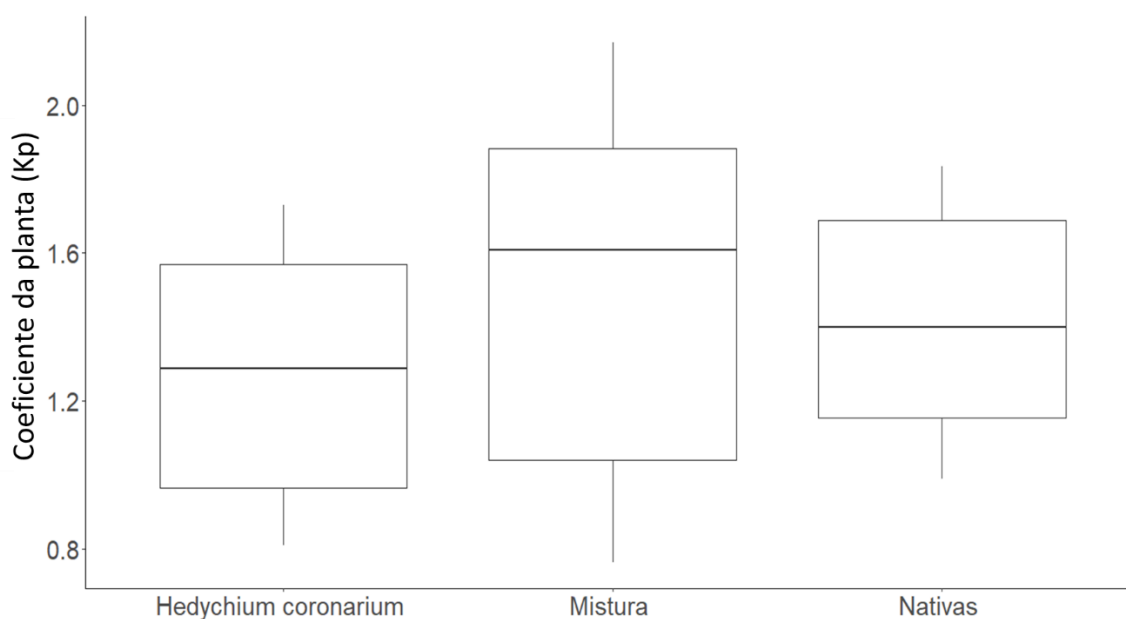


Figura 17: Coeficiente da planta (K_p) em três diferentes tratamentos: (a) lisímetros contendo apenas a invasora *Hedychium coronarium*; (b) lisímetros contendo apenas as espécies nativas de floresta ripária, Bromeliacea, *Euterpe edulis*, *Tapirira guianensis* e *Croton urucurana*; e (c) uma mistura da invasora e das nativas. Estes lisímetros foram mantidos em caixa de vegetação e acompanhados mensalmente ao longo de 14 meses.

Discussão

A evapotranspiração apresentou relação com algumas das variáveis explicativas testadas (altura, número de rametas, DAS e estação do ano verão) mostrando que o maior consumo de água está relacionado em uma época do ano e para o investimento no crescimento das espécies. A análise de solo mostrou que o fósforo é o nutriente que tem relação mais significativa com os lisímetros submetidos ao tratamento mistura.

A maior evapotranspiração relacionado a maior altura e maior número de rametas (para *H. coronarium*) reflete diretamente o uso dessa água para o investimento em crescimento dessa espécie. A espécie invasora, *H. coronarium*, quando na presença de outras espécies nativas (tratamento 3, mistura), não só utiliza mais água durante seu crescimento, como também aproveita da disponibilidade desse recurso para crescer mais rapidamente, tipo de resposta frequentemente encontrada para espécies invasoras (CRONK; FULLER, 1995; PYŠEK; RICHARDSON, 2007; VAN KLEUNEN et al., 2010), seja na produção de um maior número de rametas (provavelmente para ocupar uma maior área) e/ou na altura destes (provavelmente buscando mais acesso a luminosidade) (LARKIN et al., 2012). Espécies exóticas geralmente, apresentam maior crescimento em altura quando comparadas às espécies nativas, já que as exóticas teriam vantagens na captação de luminosidade (KOLLMANN; BANUELOS, 2004). A relação inversa do consumo de água com o diâmetro das espécies estudadas também está relacionada com o crescimento destas. Como as variáveis altura e diâmetro são altamente correlacionadas, as espécies aproveitam da disponibilidade de água para investir em maior altura e mantém um diâmetro suficiente para suportar o seu crescimento, já que a luminosidade pode ser um recurso mais importante nesse momento de ocupação do ambiente.

O investimento em atributos de crescimento (altura e número de rametas, para *H. coronarium*) também pode ser observado quando olhamos o coeficiente da planta (K_p) ao longo do tempo. O tratamento mistura é o que apresenta K_p crescente e com maior valor final, provavelmente, porque a combinação da espécie invasora e nativas aumenta os valores de ET e, conseqüentemente, o valor do coeficiente. Os valores de K_p encontrados nesse trabalho foram bem maiores dos registrados na literatura para áreas ripárias: 1,0 (ALLEN et al., 1998); indicando que não só a espécie invasora *H. coronarium*, mas também as outras espécies tiveram um grande investimento em crescimento. Esse resultado também é corroborado pela ET acumulada que ficou entre 2000 e 2500 mm (capítulo 1), nos três tratamentos estudados. Além disso, as características morfológicas

das espécies estão diretamente relacionadas aos valores de K_p , por exemplo, espécies mais altas, com maiores dosséis e com espaçamento mais próximo entre os indivíduos possuem valores de K_p maiores que 1,0 (ALLEN et al., 2006). Os valores de K_p da espécie invasora foram de 0,80 até 1,73, enquanto os das nativas ficaram entre 0,98 a 1,83; o que reflete diretamente as características observadas. A espécie *H. coronarium* pode alcançar até dois metros de altura e o seu sistema radicular rizomático permite que os genetas fiquem bem próximos. Já as espécies nativas, *Tapirira guianensis* e a *Croton urucurana*, conseguem alcançar maiores alturas, chegando até 5 metros, e possuem maiores dosséis.

A ausência de inimigos naturais no ambiente invadido pela espécie exótica pode fazer com que esta nova espécie seja capaz de alocar recursos para melhorar a sua capacidade competitiva, como maior crescimento, produção de sementes ou até mesmo a sintetização de substâncias alelopáticas (Hipótese da Evolução do Aumento da Habilidade Competitiva ou “*Evolution of Increased Competitive Ability*”) (BLOSSEY; NÖTZOLD, 1995). Essa vantagem competitiva pode permitir que a espécie exótica cresça mais rápido que as espécies nativas, principalmente para ter acesso mais rapidamente aos recursos locais. Isso acaba causando um “*feedback*” positivo entre tamanho e captação de recursos para essa espécie, a qual volta a ter vantagem na competição com as espécies nativas (CASPER; JACKSON, 1997; BLANK, 2010). Além disso, as áreas ripárias estão sob frequente e intensos regimes de distúrbios, antrópicos ou não. Assim, as espécies que ocupam essas áreas, principalmente se forem invasoras, são resilientes e especializadas na exploração de recursos, o que pode convergir em adaptações morfológicas capazes de suportar inundações, deposição de sedimentos, abrasão física e até mesmo, ruptura de caule (NAIMAN et al., 1998); o que mais uma vez acarreta em vantagens competitivas para a espécie invasora.

Nossos resultados mostram que a espécie invasora, *Hedychium coronarium*, uma macrófita anfíbia, consegue utilizar os recursos disponíveis de maneira mais eficiente, investindo no seu crescimento, seja para uma maior ocupação de área (maior número de rametas), ou até mesmo buscando mais luminosidade (maior altura). A presença dessa espécie invasora, altamente competitiva, em áreas de floresta ripária nos causa grande preocupação, já que esses ambientes são de extrema importância para o aporte e regulação de água e nutrientes (FRIDLEY, 2011), e qualquer mudança na composição e na estrutura desse tipo de vegetação pode alterar processos ecossistêmicos chave, além de alterar a estrutura e funcionamento fluvial e das comunidades animais ripárias (CASTRO-DÍEZ; ALONSO, 2017). Espécies vegetais que ocupam essas áreas podem influenciar na vazão,

nos níveis do lençol freático e até no microclima local, principalmente através do processo de evapotranspiração (RICHARDSON et al., 2007). Assim, a substituição da vegetação nativa por espécies invasoras, principalmente a espécie *Hedychium coronarium*, nos traz uma preocupação ainda maior no sentido das consequências negativas na oferta dos serviços ecossistêmicos

Conclusão

Esse capítulo relacionou a evapotranspiração (ET) mensal com atributos de crescimento (altura, diâmetro na altura do solo e número de rametas) das espécies estudadas e a estação do ano, além do coeficiente da planta (K_p). Os resultados nos mostraram que a ET mensal esteve relacionada aos atributos de crescimento citados acima, principalmente o número de rametas no tratamento contendo a mistura das espécies, que evidencia que a espécie invasora *Hedychium coronarium* é capaz de acessar mais facilmente os recursos locais e investir no seu crescimento, causando um “*feedback*” positivo.

Agradecimentos

CAPES pela bolsa de doutorado concedida e à FAPESP pelo financiamento do projeto (Processo 2016-19522-5). Ao Janderson Assandre Assis e Mariane Patrezi Zanatta pela ajuda na coleta de dados.

Referências bibliográficas

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**, FAO Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome: FAO, (Errata sheet). 333p, 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome: [s,n,], 1998.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S.; CHRISTENSEN, R. H. B.; SINGMANN, H.; DAI, B.; SGHEIPL, F.; GROTHENDIECK, G.; GREEN, P.; FOX, J. **Package ‘lme4’, R Package Version 1**, p 1–10, 2016.

BLANK, R. R. Intraspecific and interspecific pairwise seedling competition between exotic annual grasses and native perennials: plant-soil relationship. **Plant Soil**, p 326:331–343, 2010.

BLOSSEY, B.; NÖTZOLD, R. Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis. **Journal of Ecology**, p 83:887–889, 1995.

- CASTRO-DÍEZ, P.; ALONSO, A. Effects of non-native riparian plants in riparian and fluvial ecosystems: a review for the Iberian Peninsula. **Limnetica**, 36: 525-541, 2017.
- CRONK, Q. C. B.; FULLER, J. L. Plant Invaders. In: Chapman & Hall, London. 1995.
- ESMAEILABADI, A. E. **Evapotranspiration: Application, Scaling and Uncertainty**. Tese (Doutorado) -University of New South Wales, Sydney, Australia, 2014.
- FRAEDRICH, K.; KLEIDON, A.; LUNKEIT, F. A green planet versus a desert world: Estimating the effect of vegetation extremes on the atmosphere. **Journal of Climate**, 12: 3156–3163, 1999.
- FRIDLEY, J. D. Invasibility of communities and ecosystems. In: Simberloff D, Rejmánek M (eds) **Encyclopedia of Biological Invasions**, 3rd edn. University of California Press, Ltd; London, England, 2011. p. 356-360.
- GROTKOPP, E.; REJMANEK, M.; SANDERSON, M.J.; ROST, T. L. Evolution of genome size in pines (*Pinus*) and its life history correlates: super tree analyses. **Evolution**, 58:1705-1729, 2004.
- GROTKOPP, E.; REJMANEK, M.; ROST, T. L. Towards a causal explanation of plant invasiveness: seedling growth and life history strategies of 29 pine (*Pinus*) species. **American Naturalist**, 159:396-419, 2002.
- HEGER, T.; JESCHKE, J. M. The enemy release hypothesis as a hierarchy of hypotheses. **Oikos**, 123:741-750, 2014.
- IUCN [International Union for the Conservation of Nature] IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. **Species**, 31/32: 28-42, 1999.
- JESCHKE, J. M.; APARICIO, L. G.; HAIDER, S.; HEGER, T.; LORTIE, C. J.; PYŠEK, P.; STRAYER, D. L. Support for major hypotheses in invasion biology is uneven and declining. **NeoBiota**, 14:1-20, 2012.
- KEANE, R. M.; CRAWLEY, M. J. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. **Trends in ecology & evolution**, 17: 164-170, 2002.
- KOLAR, C. S.; LODGE, D. M. Progress in invasion biology: predicting invaders. **Trends in ecology & evolution**, 16:199-204, 2001.
- KOLLMANN, J.; BANUELOS, M. J. Latitudinal trends in growth and phenology of the invasive alien plant *Impatiens glandulifera* (Balsaminaceae). **Diversity and Distributions**, 10: 377–385, 2004.
- LARKIN, D. J.; FREYMAN, M. J.; LISHAWA, S. C.; GEDDES, P.; TUCHMAN, N. C. Mechanisms of dominance by the invasive hybrid cattail *Typha × glauca*. **Biological Invasions**, 14:65–77, 2012.
- LE MAITRE, D. Hydrology. In: Simberloff D, Rejmánek M (eds) **Encyclopedia of Biological Invasions**, 3rd edn. University of California Press, Ltd; London, England, 2011, p 346-349.

LURGI, M.; GALIANA, N.; LÓPEZ, B.C.; JOPPA, L. N.; MONTOYA, J. M. Network complexity and species traits mediate the effects of biological invasions on dynamic food webs. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 2:1-11, 2014.

MARON, J. L.; VILÀ, M. When Do Herbivores Affect Plant Invasion? Evidence for the Natural Enemies and Biotic Resistance Hypotheses. **Oikos**, 95:361-373, 2001.

MARTINA, J. P.; VON ENDE, C. N. Correlation of soil nutrient characteristics and reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*: Poaceae) abundance in northern Illinois (USA). **The American Midland Naturalist**, 160:430–437, 2008.

NAIMAN, R. J.; FETHERSTON, K. L.; MCKAY, S.; CHEN, J. Riparian forests. *In*: Naiman RJ, Bilby RE (eds) **River ecology and management: lessons from the Pacific coastal ecoregion**. New York, 1998. p. 289-323.

PEDROL, N.; SOUZA-ALONSO, P.; PUIG, C. G.; GONZALEZ, L.; COVELO, E. F.; ASENSIO, V.; FORJAN, R.; ANDRADE, L. Improving soil fertility to support grass-legume revegetation on lignite mine spoils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 45, 1565–1582, 2014.

PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M. Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? *In*: W Nentwig (ed) **Biological Invasions**. Springer, Berlin, 2007. p 97–125.

R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2018.

RICHARDSON, D. M.; HOLMES, P. M.; ESLER, K. J.; GALATOWITSCH, S. M.; STROMBERG, J. C.; KIRKMAN, S. P.; PYSEK, P.; HOBBS, R. J. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and Distributions**, 13:126-139, 2007.

SIMBERLOFF, D.; REJMÁNEK, M. **Encyclopedia of Biological Invasions**. University of California Press, Berkeley & Los Angeles. 2011.

VITOUSEK, P. M.; D'ANTONIO, C. M.; LOOPE, L. L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKSAL, R. Introduced species: a significant component of human-caused global change. **New Zealand Ecological Society**, 21:1-16, 1997.

VITOUSEK, P. M. Biological invasions and ecosystem properties: can species make a difference? - *In*: Mooney, H. A. and Drake, J. (eds), **Biological invasions of North America and Hawaii**. Springer. 1986. p 163-176.

VAN KLEUNEN, M.; RICHARDSON, D. M. Invasion biology and conservation biology time to join forces to explore the links between species traits and extinction risk and invasiveness. **Progress in Physical Geography**, 31: 447-450, 2007.

VAN KLEUNEN, M.; WEBER, E.; FISCHER, M. A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. **Ecology Letters**, 13: 235–245, 2010.

XIE, D.; YU, D.; YOU, W. H.; XIA, C. X. The propagule supply, litter layers and canopy shade in the littoral community influence the establishment and growth of *Myriophyllum aquaticum*. **Biological Invasions**, 15:113–123, 2013.

9. CAPÍTULO 3

O efeito de uma macrófita anfíbia invasora *Hedychium coronarium* sobre o nível do lençol freático em áreas de floresta ripária

RESUMO

Espécies invasoras podem causar perda de biodiversidade e podem alterar o nível de lençol freático, devido ao seu maior consumo de água. Objetivou-se analisar se a profundidade do lençol freático difere na presença da espécie invasora *Hedychium coronarium*. O experimento foi realizado em uma área de floresta ripária, Martinho Prado Jr. (Mogi Guaçu – SP), na qual instalamos cinco poços na área invadida e cinco na área não invadida. A cada 15 dias durante um ano, o nível do lençol freático foi medido e amostras de solo próximas a cada poço foram coletadas para quantificação da umidade do solo. Uma ANOVA foi feita para identificar se havia diferença na profundidade do lençol freático, entre a área invadida e não invadida. Os Modelos Mistos foram usados para testar o efeito das variáveis tipo de área, umidade do solo, precipitação e temperatura média do ar na profundidade do lençol freático. A profundidade do lençol freático é menor na área invadida pela espécie *H. coronarium*. Aqui identificamos um “*feedback*” positivo da própria espécie, pois após se estabelecer em um ambiente susceptível (invasibilidade), ela possivelmente utiliza de um atributo morfológico próprio (raízes rizomáticas, biomassa e baixa decomposição) para alterar uma característica do ambiente e se beneficiar com essa condição, facilitando assim, seu domínio local. Espécies que possuem essas características são chamadas de espécies “transformadoras de ecossistemas”. Essa estratégia é muito eficaz, ainda mais em áreas que apresentam processos de perturbações (naturais ou antrópicas), como as florestas ripárias. *H. coronarium* pode reduzir a diversidade local, seja pela sua alta capacidade de dominância pela formação de populações densas e/ou pelo deslocamento e substituição das espécies.

Palavras chave: invasão biológica, invasibilidade, transformadoras de ecossistemas, lençol freático

Introdução

As atividades humanas têm transformado os ambientes naturais e transportado espécies além de área de distribuição original (RICHARDSON et al., 2011; BLACKBURN et al., 2014). Estas espécies que são levadas de sua área nativa à uma área a qual elas não ocorrem são chamadas espécies exóticas (RICHARDSON et al., 2011). Por não pertencer àquele ambiente, essas espécies são capazes de superar barreiras fundamentais à sua dispersão natural, e conseqüentemente, apresentam uma alta taxa de crescimento populacional, com isso, uma espécie exótica pode se tornar invasora (RICHARDSON et al., 2000). Alguns trabalhos apontam a introdução de espécies exóticas e todo o processo de invasão biológica como uma das principais causas da perda de biodiversidade (VITOUSEK et al., 1997; IUCN, 1999; SIMBERLOFF; REJMANEK, 2011). Neste novo local, estas espécies podem aumentar o seu nível de invasibilidade, o que conseqüentemente aumenta sua competição com outras espécies (LURGI et al., 2014). Por outro lado, alguns ambientes podem ser mais propícios aos processos de invasão, principalmente os locais mais abertos, que sofreram perturbações, super-exploração e/ou extinção de espécies (ALPERT et al., 2000). O termo correto para descrever a susceptibilidade de um ambiente aos processos de invasão biológica é invasibilidade (FRIDLEY, 2011).

Espécies invasoras também são capazes de interagir com as variáveis bióticas e abióticas do ambiente invadido, alterando-as e conseqüentemente se beneficiando ainda mais dessas alterações. Richardson e colaboradores (2000) chamam essas espécies de “transformadoras de ecossistemas”, pois elas são capazes de alterar o ambiente em benefício próprio, criando um “*feedback*” positivo para seu estabelecimento, permanência e reprodução no local.

As alterações causadas por espécies invasoras na composição das espécies em um ambiente podem reduzir ou eliminar a capacidade de um ecossistema fornecer bens ou serviços ecossistêmicos (FENN et al., 2003; CHARLES; DUKES, 2007; PEJCHAR; MOONEY, 2009). Estes bens ou serviços ecológicos, chamados de serviços ecossistêmicos, são benefícios prestados pelos ecossistemas que contribuem para tornar a vida humana possível e com melhor qualidade (DAILY et al., 1997). Os serviços ecossistêmicos podem ser divididos em (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – AM): i) "serviços de provisionamento"; ii) "serviços de regulação"; iii) "serviços culturais"; e iv) "serviços de apoio". Um dos principais serviços ecossistêmicos de provisionamento que pode ser alterado pela presença de espécies invasoras é água (LE

MAITRE, 2011). Espécies invasoras muitas vezes utilizam uma maior quantidade de água no ciclo de vida em relação a espécies nativas, principalmente por apresentarem maiores taxas de evaporação, (MALAN; DAY, 2002). Além disso, devido a esse maior consumo, espécies invasoras podem alterar o nível de lençol freático (DI TOMASO, 1998; ZAVALETA, 2000). Assim, elas podem causar impactos negativos sob o regime hídrico, seja na qualidade e/ou na quantidade de água disponível. Alterações no regime hídrico podem prejudicar a biodiversidade local e até mesmo os humanos, já que a água é essencial para manutenção dos serviços ecossistêmicos, e para a existência das áreas úmidas, rios e estuários (LE MAITRE, 2011).

Atualmente, um dos ambientes que tem havido grande substituição da vegetação e, conseqüentemente, sofrido extremas transformações pelas ações antrópicas são as áreas de florestas ripárias (RICHARDSON et al., 2007). Florestas ripárias, são formações vegetais existente às margens de rios, córregos, lagos, lagoas e nascentes. Florestas ripárias são consideradas fundamentais para a manutenção da biodiversidade, por ser fonte de alimento para a fauna aquática e terrestre, além de serem importantes na filtragem de poluentes, pesticidas e sedimentos que chegam aos corpos hídricos. As mudanças causadas pelo homem nesses ambientes podem facilitar a invasão e dominância de espécies invasoras, e muitas vezes estas espécies são os principais agentes de perturbação (RICHARDSON et al., 2007). Uma das espécies que comumente é encontrada nessas áreas é a *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae), uma macrófita perene, invasora de ambientes úmidos e sub-bosques de florestas ripárias (CABI, 2019).

Apensar do domínio da espécie *H. coronarium* em diversas áreas ripárias, além do potencial efeito no regime hidrológico, o impacto dessa dominância no nível do lençol freático ainda não foi investigado. Esse trabalho tem como objetivo analisar se a profundidade do lençol freático difere na presença da espécie invasora *Hedychium coronarium*. Nossa hipótese é que a presença da espécie invasora *Hedychium coronarium* em áreas de floresta ripária reduz a profundidade do lençol freático, principalmente devido ao acúmulo de detritos, em função da grande biomassa produzida; além de possuir sistema radicular superficial rizomático. Essas características juntas podem fazer com que a água acumule mais na superfície e não percole para níveis mais.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em uma área de Floresta Ripária, o Córrego do Cortado localizado na Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu. A Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu está localizada no distrito de Martinho Prado Jr., município de Mogi Guaçu, São Paulo, ($22^{\circ}18'S$ e $47^{\circ}11'W$) (Figura 18). A área é uma mata ripária de cerca de 1600 metros de comprimento, e largura variando de 50 a 100 metros ao longo do Córrego do Cortado. Essa mata ciliar faz divisa com um Cerrado *strito sensu* de um lado enquanto do outro há uma propriedade privada com culturas agrícolas.

O clima é classificado como quente e temperado com verão chuvoso e inverno mais seco. Segundo Köppen e Geiger o clima é classificado como Cwa (INSTITUTO FLORESTAL, 2019). A precipitação média anual é 1305 mm. A temperatura média é $20,5^{\circ}C$. A altitude média é 600 metros, com topografia relativamente plana. A vegetação local é representada por um mosaico de Floresta Estacional Semidecídua, Cerrado e Mata Ciliar com presença de solos hidromórficos de planície de inundação.

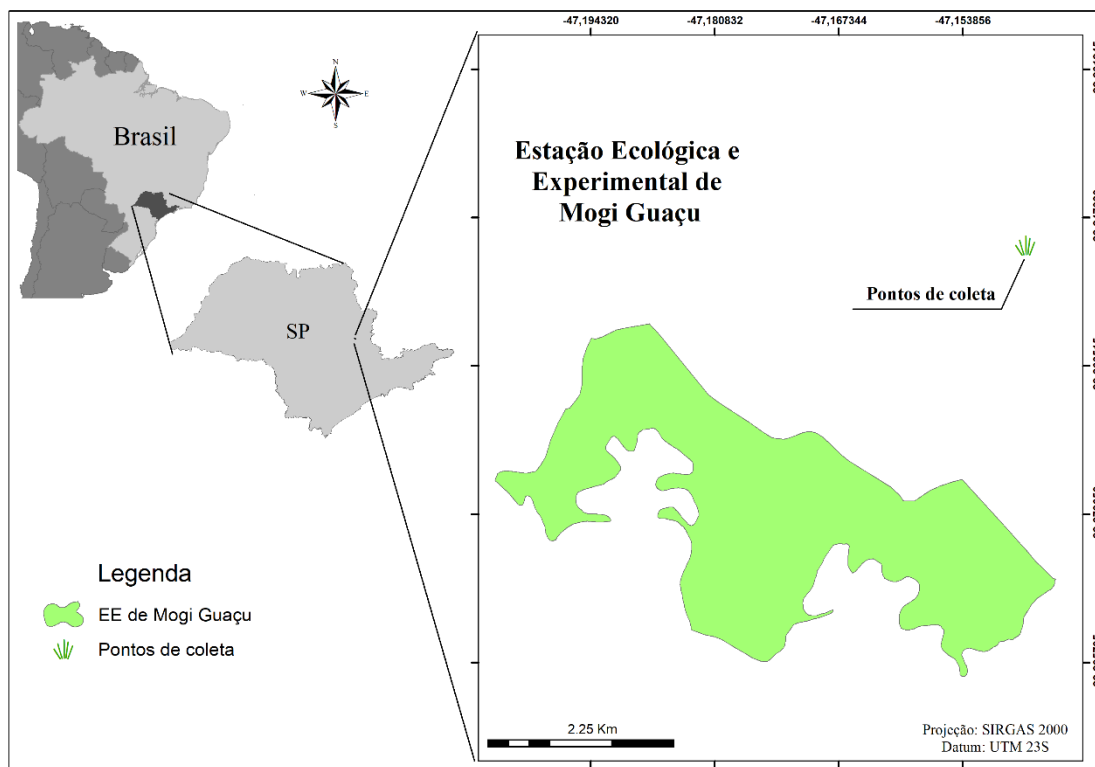


Figura 18: Pontos de coleta situados no Córrego do Cortado, Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu, localizada no distrito de Martinho Prado Jr., município de Mogi Guaçu, São Paulo.

Metodologia

Para testar a hipótese de que presença da espécie *H. coronarium* em áreas de floresta ripária reduz a profundidade do lençol freático, instalamos poços, em agosto de 2018 (estação seca) para monitoramento do nível do lençol freático na área de estudo, já que esta seria o período em que o nível do lençol estaria mais baixo. Verificamos o comprimento total da área invadida e da não invadida, a partir daí, a disposição dos poços foi feita em formato de cruz, para que a profundidade lençol freático nos diferentes pontos de coleta fosse abrangida de maneira espacialmente ampla (Figura 19). A distância entre os poços 1, 2 e 3, e 6, 7 e 8 foi, em média, de 5 metros e a distância entre os poços 5 (à montante), 2 e 4, e 10, 7 e 9 (à jusante) foi, em média, de 100 metros. Além disso, a distância entre a área invadida e não invadida foi também de 100 m. As áreas foram selecionadas levando em consideração que ambas possuem as mesmas características, bióticas e abióticas incluindo distância do corpo hídrico, exceto pela presença de *H. coronarium*. A perfuração do solo para instalação dos poços foi realizada através do uso de um trado manual específico para a perfuração de solo (Figura 20). Consideramos que o lençol freático era atingido quando alcançávamos a água do subsolo aflorasse. No total foram instalados 10 poços, sendo cinco poços na área invadida e cinco na área não invadida.

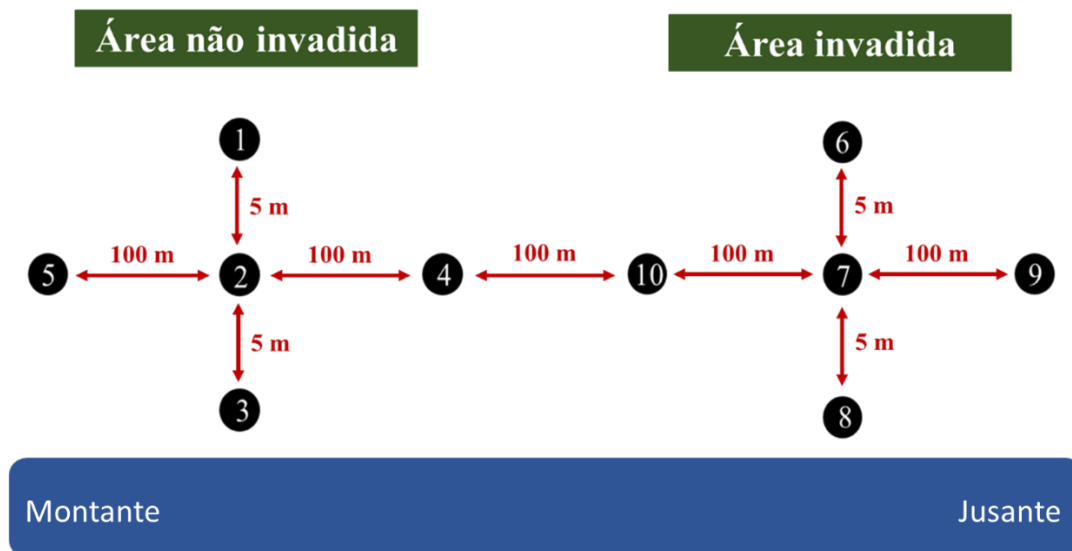


Figura 19: Disposição dos poços instalados (círculos pretos) em relação ao corpo d'água (retângulo azul) na área invadida e não invadidas de floresta ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.), totalizando 10 poços. Os poços foram instalados levando em conta a extensão total das áreas invadidas e não invadidas pela espécie *Hedychium coronarium*, em cada uma das áreas estudadas.

a)



b)



Figura 20: Processo de perfuração do solo com o trado manual para a instalação dos poços (a) e água aflorando no solo já perfurado (b). Foram instalados poços nas áreas invadidas pela espécie *Hedychium coronarium* e não invadidas de Floresta Ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.), totalizando 10 poços.

Os poços foram confeccionados com tubos de PVC de 60 mm de diâmetro e a altura variou de acordo com a profundidade do lençol freático de cada local. Os tubos foram cortados, perfurados, revestidos com manta geotêxtil e bloqueados em uma das extremidades com um “cap”, para que fossem inseridos no solo (Figura 21). Além disso, projetamos um suporte para a fixação dos poços no chão (JANDRIL), já que por ser uma área de Floresta Ripária, os poços poderiam ceder (Figura 22). O monitoramento dos poços foi realizado no período de um ano, com medições quinzenais da profundidade do lençol freático através da sonda Mini Water Level Meters, modelo 102 da Solinst.



Figura 21: Processo de confecção e instalação dos poços nas áreas invadidas pela espécie *Hedychium coronarium* e não invadidas de Floresta Ripária no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr.). (a) Tubo de PVC de 60 mm cortado e perfurado, (b) revestido com manta geotêxtil e “cap” para que a água subterrânea fosse capaz de adentrar no tubo. (c) Instalação do poço no solo perfurado com o trado manual para que fosse possível o monitoramento do lençol freático durante os 12 meses de estudo.

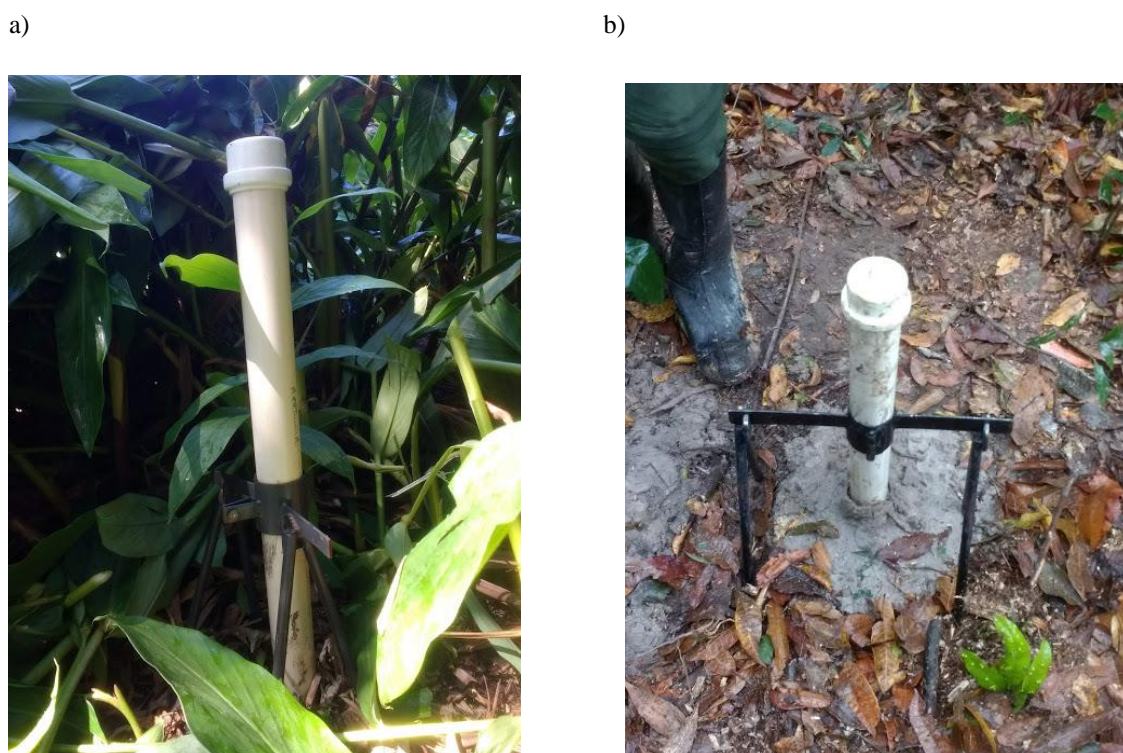


Figura 22: Poços instalados com o suporte JANDRIL na (a) área invadida e (b) não invadida.

Para analisarmos se existe alguma diferença na profundidade de acordo com a variação sazonal, consideramos os dados de profundidade do lençol freático obtidos nas

estações seca e chuvosa. Para estimarmos a umidade do solo local, coletamos quinzenalmente 20 gramas de solo próximo a cada poço instalado (à 20 centímetros de profundidade); as amostras foram inicialmente pesadas e secas em estufa a 60°C até atingir peso constante. Posteriormente, as amostras de solo foram pesadas novamente para quantificar a umidade. A umidade (%) foi obtida a partir da diferença entre peso inicial e final.

Os dados microclimáticos (temperatura média do ar e precipitação) para o Córrego do Cortado no Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) de Mogi Guaçu.

Análises estatísticas

Aplicamos ANOVA para avaliar se havia diferença na profundidade do lençol freático, entre a área invadida e não invadida aplicada. Para testar o efeito das variáveis explicativas (tipo de área, umidade do solo, precipitação e temperatura média do ar) na nossa variável resposta (profundidade do lençol freático), utilizamos os Modelos Mistos (“*Linear Mixed Effects*” – LME) com o pacote lmer4 (BATES et al., 2016). Sendo assim, a relação da variável resposta com variáveis explicativas são os efeitos fixos do modelo, as pseudoréplicas espaciais (os poços instalados), enquanto as temporais (datas das coletas) foram consideradas como o efeito aleatório. Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM, 2018).

Resultados

A análise de variância mostrou a profundidade do lençol freático é maior na área não invadida pela espécie *H. coronarium* ($F = 14.344$; $p = 0.005332$), ou seja, (Figura 23).

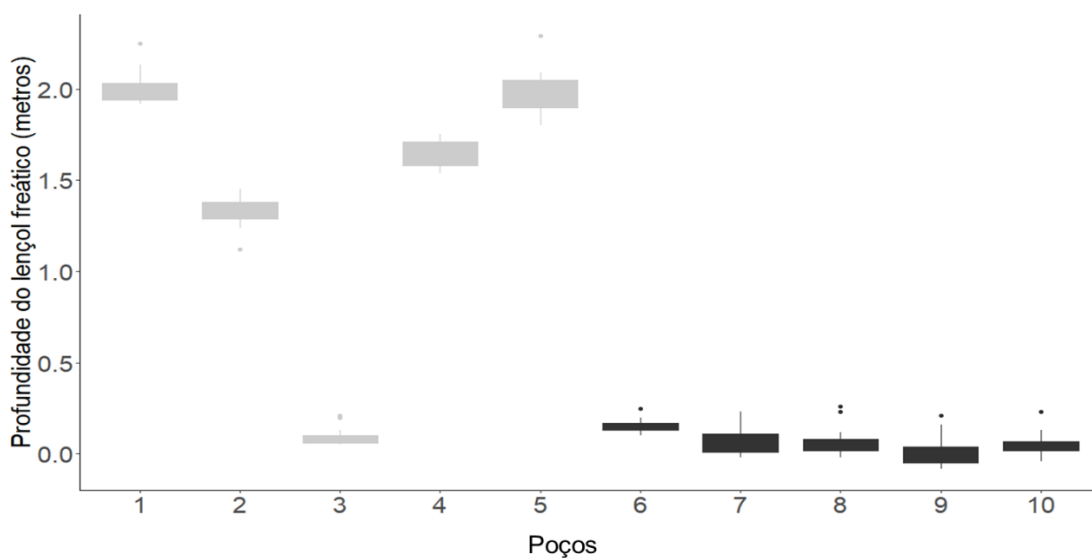


Figura 23: Profundidade do lençol freático (metros) na área invadida (em preto) e não invadida (em cinza) pela espécie *Hedychium coronarium*, nos diferentes poços instalados (de 1 a 10) no Córrego do Cortado ao longo do período de estudo. Houve diferença estatísticas significativas ($p < 0,05$) na profundidade do lençol freático entre as áreas invadidas e não invadidas.

Os Modelos Mistos mostraram que a profundidade do lençol freático no Córrego do Cortado apresentou relação apenas com as variáveis explicativas tipo de área e temperatura média do ar (Tabela 6). As outras variáveis explicativas, umidade do solo, precipitação e temperatura média do ar, não tiveram relação significativa com a variável resposta, profundidade do lençol freático.

Tabela 6: Resultado de Modelos Lineares Mistos analisando a relação entre variável resposta estudada, profundidade do lençol freático, com as variáveis explicativas medidas (tipo de área, umidade do solo, precipitação e temperatura média) em áreas invadidas e não invadidas pela espécie *Hedychium coronarium*, no Córrego do Cortado (Martinho Prado Jr., Mogi Guaçu).

Efeitos fixos	Estimate	t value	p
(Intercept)	-0.3268	-1.8731	0.0623
Área Não Invadida	1.1239	4.5555	0.0019*
(Intercept)	-0.0189	-0.0982	0.9218
Umidade do solo	0.0002	1.0355	0.3015

(Intercept)	0.0211	0.0983	0.9217
Precipitação	0.0001	0.3370	0.7364
(Intercept)	0.0199	0.0932	0.9258
Temperatura média do ar	0.0023	1.9007	0.0585*

* valores significativos.

Discussão

A profundidade de lençol freático em área invadida e não invadida pela espécie *H. coronarium* se mostrou diferente na área estudada. Nossa hipótese foi parcialmente corroborada, já que a profundidade do lençol freático foi menor em área invadida pela espécie *H. coronarium*, quando comparada com a área não invadida. Uma vez que o critério de escolha da área invadida e não invadida levou em consideração que a única diferença entre elas seria a invasão de *H. coronarium*, podemos considerar que a presença da espécie invasora, *H. coronarium*, interfere na profundidade do lençol ou está associada diretamente a lençóis freáticos mais rasos.

Dessa forma, esta espécie consegue se estabelecer mais facilmente a ponto de se tornar dominante nesse tipo de ambiente. Um efeito similar foi encontrado para uma espécie invasora na Califórnia, *Bassia hyssopifolia*, onde os autores mostraram que em áreas invadidas a profundidade média do lençol freático foi de 1,5 m (MATA-GONZALÉZ et al., 2012). Entretanto, a profundidade média do lençol na nossa área de estudo foi de 0,07 m (desvio padrão), uma profundidade média ainda menor, provavelmente por nossa área ser em um ambiente de floresta ripária que tendem a apresentar naturalmente água subterrânea mais próxima à superfície do solo durante o ano todo. (DAHMAN et al., 2002; HUXMAN et al., 2005)

Florestas ripárias bem preservadas, geralmente, apresentam alta biodiversidade e produtividade primária, principalmente devido à alta concentração de nutrientes e disponibilidade de água (VIDAL-ABARCA GUTIERREZ; ALONSO, 2013). Entretanto, devido aos processos de perturbação, sejam eles naturais (inundações periódicas) ou antrópicos (recreação ou captação de água), esses ambientes são mais susceptíveis ao processo de invasão vegetal (RICHARDSON et al., 2007; FRIDLEY, 2011). O termo invasibilidade é utilizado para descrever ambientes mais propensos aos processos de invasão biológica e que, conseqüentemente, facilitam a permanência das invasoras

(FRIDLEY, 2011). Isto também ocorre com *H. coronarium* que é dominante principalmente em áreas antropizadas. Ambas as áreas de floresta ripária apresentam um certo grau de perturbação (observação dos autores) e curta extensão (largura variando de 50 a 100 metros) (Figura 24), possuindo um lençol freático mais raso em alguns pontos. Entretanto, nossos resultados evidenciam uma diferença muito clara entre a profundidade do lençol freático entre os pontos das duas áreas.

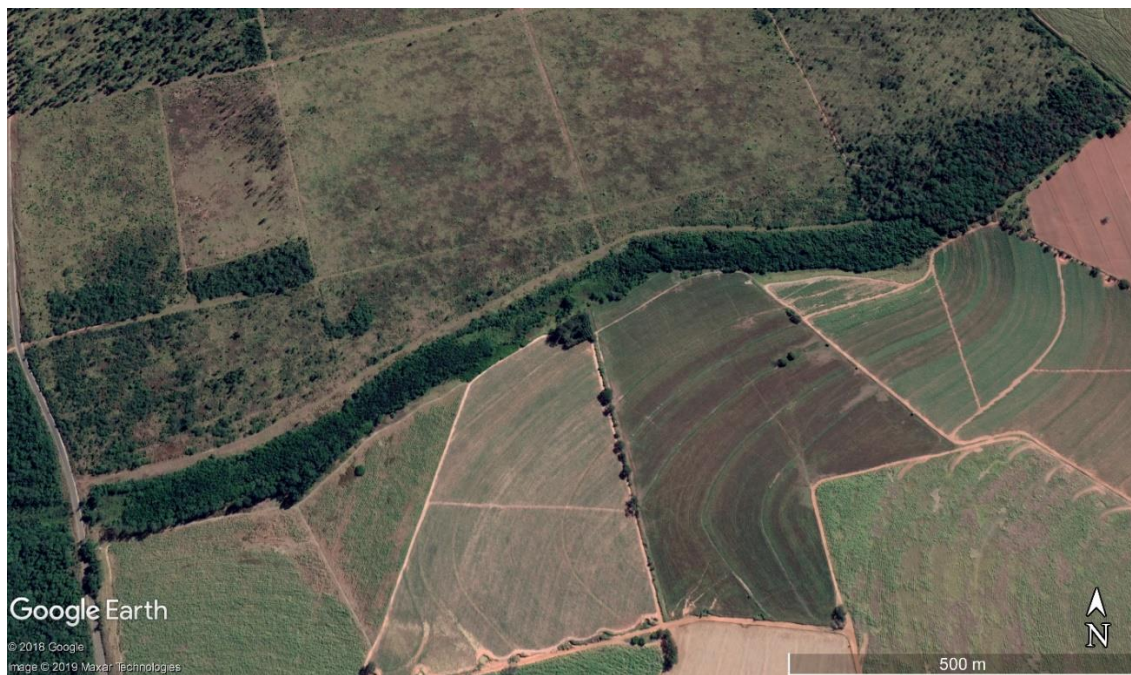


Figura 24: Córrego do Cortado situado na Estação Ecológica e Experimental de Mogi Guaçu, localizada no distrito de Martinho Prado Jr., município de Mogi Guaçu, São Paulo. A área é uma mata ripária de mais ou menos 1600 metros de comprimento, e largura variando de 50 a 100 metros ao longo do córrego; além de fazer divisa com uma área de Cerrado de um lado e do outro, com culturas agrícolas (Imagem do Google Earth).

Os processos de inundação podem influenciar na diversidade em áreas ripárias, uma vez que a variação da quantidade de água na superfície do solo pode criar ambientes heterogêneos e permitir que diferentes espécies se estabeleçam nesses locais. Lençol freático mais raso pode, naturalmente, proporcionar solos saturados e inundações; sendo que a intensidade, frequência e duração da inundação podem ter influência direta na estrutura e na riqueza da vegetação presente em uma determinada área (LOBO; JOLY, 2000; BIANCHINI et al., 2003). Porém, para que haja essa heterogeneidade ambiental é necessário que haja flutuação periódica nos processos de inundação ao longo do ano. A presença de qualquer espécie que domine uma determinada área e tenha influência nesses processos de inundação pode acarretar numa perda de diversidade local. É o que pode

estar acontecendo na área desse estudo, a espécie *H. coronarium*, por ser uma espécie herbácea de alta produção de biomassa aérea e raízes rizomáticas abundantes, possui atributos físicos que podem limitar a infiltração superficial de água no solo e aprisionar sedimentos finos que mantêm a saturação do solo nas camadas superiores (GUILLEMETTE et al., 2005), formando assim, porções alagadiças nas áreas invadidas. Além disso, a espécie *H. coronarium* apresenta uma baixa taxa de decomposição (CHIBA DE CASTRO et al. 2020), o que implica num acúmulo de matéria orgânica e pode proporcionar um potencial efeito na infiltração de água no solo. Entretanto, cabe salientar que provavelmente as diferenças na utilização da água pela espécie invasora estudada e as espécies nativas, como apontado no capítulo 1, pode ter influência nos resultados apresentados nesse capítulo.

Plantas herbáceas com sistema radicular superficial, como é o caso de *H. coronarium*, dependem mais fortemente das águas superficiais, especialmente durante a estação seca (PRIANTE-FILHO et al., 2004; VOURLITIS; DA ROCHA, 2010). Além disso, essa espécie é caracterizada por rápido crescimento e dispersão em áreas de baixadas úmidas e pantanosas (LORENZI, 2000), característica que também identificamos na área de estudo. Almeida (2015) encontrou indivíduos de *H. coronarium* com maior diâmetro em ambientes alagados quando comparados a ambientes não alagados, característica que pode favorecer a sobrevivência dessa espécie nesse tipo de ambiente.

Em contrapartida, a profundidade maior do lençol freático encontrada na área não invadida (Figura 25) pode ser explicada pela presença das espécies nativas juntamente com a ausência da espécie invasora. A cobertura vegetal de uma determinada área é importante para o processo de infiltração de água no solo, pois a presença das raízes proporciona uma macroporosidade que permite que a água consiga penetrar mais facilmente nas diferentes camadas (CHENG et al., 2002; BEST et al., 2003). De modo geral, qualquer cobertura vegetal presente permitiria essa movimentação da água no solo e conseqüentemente, a água chegaria aos níveis mais subterrâneos. Porém, as espécies presentes na área não invadida parecem desenvolver melhor esse papel, já que a espécie invasora estudada possui características morfológicas e consegue interagir com as variáveis abióticas locais em benefício próprio, no caso desse estudo, a água.

e dominância da espécie estudada. Além disso, as características específicas dessa espécie (sistema radicular rizomático, alta produção de biomassa e baixa decomposição) permite que ela forme porções alagadiças no ambiente invadido, o que permite a manutenção de um lençol freático raso. Esse tipo de estratégia é muito eficaz, ainda mais em áreas que apresentam processos de perturbações (naturais ou antrópicas), como as florestas ripárias. Por se tratar de ambiente muito vulnerável, é possível que a esta espécie se expanda rapidamente em direção as áreas de floresta ripária adjacentes, deslocando e substituindo as espécies nativas. Nosso estudo sugere que essa capacidade de alterar a hidrologia local contribui com a dominância da espécie em áreas ripárias neotropicais.

Agradecimentos

CAPES pela bolsa de doutorado concedida e à FAPESP pelo financiamento do projeto (Processo 2016-19522-5). Ao Janderson Assandre Assis, Jhonas Canhete e à Mariane Patrezi Zanatta pela ajuda na coleta de dados e na correção do manuscrito; à Camila Gonçalves pela ajuda na confecção do mapa; e ao Jamil Alexandre Ayach Anache pela ajuda na metodologia aplicada.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, R. V. **Invasividade de *Hedychium coronarium* J. Koenig (Zingiberaceae) em diferentes umidades do solo.** 75 f. Dissertação (Mestre em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2015.
- ALPERT, P.; BONE, E.; HOLZAPFEL, C. Invasiveness, invisibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.3, p.52-66, 2000.
- BEST, A.; ZHANG, L.; MCMAHOM, T.; WESTERN, A.; VERTESSY, R. A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flow and climatic variability. Australia, CSIRO Land and Water Technical. **MDBC Publication**, 56 p. (Technical Report 25/03), 2003.
- BIANCHINI, E.; POPOLO, R. S.; DIAS, M. C.; PIMENTA, J. A. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 17(3): 405-419, 2003.
- BLACKBURN, T. M.; ESSL, F.; EVANS, T.; HULME, P. E.; JESCHKE, J. M.; et al. A Unified Classification of Alien Species Based on the Magnitude of their Environmental Impacts. **PLoS Biology**, 12(5): e100185, 2014. doi:10.1371/ journal.pbio.1001850.

- CABI. Invasive Species Compendium (Beta) (2019) www.cabi.org Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/26678>>. Acessado em julho de 2019.
- CASTRO-DÍEZ, P.; ALONSO, A. Effects of non-native riparian plants in riparian and fluvial ecosystems: a review for the Iberian Peninsula. *Limnetica*, 36 (2): 525-541, 2017. DOI: 10.23818/limn.36.19
- CHARLES, H.; DUKES, J. **Impacts of invasive species on ecosystem services.** In: W. Nentwig, ed. *Biological Invasions*. Berlin: Springer-Verlag, p 217–237, 2007.
- CHENG, J. D.; LIN, L. L.; LU, H. S. Influence of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 165: 11-28, 2002.
- CHIBA DE CASTRO, W. A.; ALMEIDA, R. V.; XAVIER, R. O.; BIANCHINI, I.; MOYA, H.; MATOS, D. M. S. Litter accumulation and biomass dynamics in riparian zones in tropical South America of the Asian invasive plant *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae). *Plant Ecology & Diversity*, 13:1, 47-59, 2020. DOI: 10.1080/17550874.2019.1673496
- DAHM, C. N.; CLEVERLY, J. R.; COONROD, J. E. A.; THIBAUT, J. R.; MCDONNELL, D. E.; GILROY, D. F. Evapotranspiration at the land/water interface in a semi-arid drainage basin. *Freshwater Biology*, 47: 831–843, 2002.
- DAILY, G. C. **Introduction: What are ecosystem services?** In: G. Daily, editor. *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C. 1997. p 1-10.
- DI TOMASO, J. M. Impact, biology, and ecology of saltcedar (*Tamarix* spp.) in the southwestern United States. *Weed Technology*, 12: 326–336, 1998.
- ELTON, C. S. **The ecology of invasions by animals and plants.** Methuen, London. 1958.
- FENN, M. E.; BARON, J. S.; ALLEN, E. B.; RUETH, H. M.; NYDICK, K. R.; GEISER, L.; BOW-MAN, W. D.; SICKMAN, J. O.; MEIXNER, T.; JOHNSON, D. W.; NEITLICH, P. Ecological effects of nitrogen deposition in the western United States. *BioScience*, 53: 404–420, 2003.
- FRIDLEY, J. D. Invasibility of communities and ecosystems. In: Simberloff D, Rejmánek M (eds) **Encyclopedia of Biological Invasions**, 3rd edn. University of California Press, ltd; London, England, 2011. P. 356-360.
- GUILLEMETTE, F.; PLAMONDON, A. P.; PREVOST, M.; LEVESQUE, D. Rainfall generated storm flow response to clearcutting a boreal forest; peak flow comparison with 50 world-wide basin studies. *Journal of Hydrology*, 302: 137-53, 2005.
- HUXMAN, T. E.; WILCOX, B. P.; BRESHEARS, D. D.; SCOTT, R. L.; SNYDER, K. A.; SMALL, E. E.; HULTINE, K.; POCKMAN, W. T.; JACKSON, R. B. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology* 86: 308–319, 2005.
- INSTITUTO FLORESTAL. 2019. Disponível em: < <http://iflorestal.sp.gov.br/areas-protegidas/estacoes-ecologicas/mogi-guacu/>>. Acesso em: jan. 2019.
- IUCN [International Union for the Conservation of Nature]. IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. *Species* 31/32: 28-42, 1999.

LE MAITRE, D. Hydrology. *In*: Simberloff D, Rejmánek M (eds) Encyclopedia of Biological Invasions, 3rd edn. University of California Press, Ltd; London, England, 2011, p 346-349.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. **Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil.** *In*: RODRIGUES, RR. and LEITÃO FILHO, HF. (Eds). Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: Universidade de São Paulo. p. 143-157, 2000.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas.** 3ed. Nova Odessa/SP: Instituto Plantarum, 2000. p.607.

LURGI, M.; GALIANA, N.; LÓPEZ, B. C.; JOPPA, L. N.; MONTOYA, J. M. Network complexity and species traits mediate the effects of biological invasions on dynamic food webs. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 2:1-11, 2014.

MALAN, H. L.; DAY, J. A. **Linking Discharge, Water Quality and Biotic Response in Rivers: a Literature Review.** WRC Report No. 956/2/02. Water Research Commission, Pretoria, 2002.

MATA-GONZÁLEZ, R.; MARTIN, D. W.; MCLENDON, T.; TRLICA, M. J.; PEARCE R. A. Invasive plants and plant diversity as affected by groundwater depth and microtopography in the Great Basin. **Ecohydrology**, 5, 648–655, 2012.

Millennium Ecosystem Assessment - AM.
<http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>

PEJCHAR, L.; MOONEY, H. A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. **Trends in Ecology and Evolution**, 24: 497–504, 2009.

PRIANTE-FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; DE NOGUEIRA, J. S.; CAMPELO-JÚNIOR, J. H.; NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**, 10:863–876, 2004.

R_DEVELOPMENT_CORE_TEAM. **R: a Language and Environment for Statistical Computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2018.

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P.; CARLTON, J. A. **compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology.** *In*: Richardson DM (ed) Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp 409–420, 2011.

RICHARDSON, D. M.; HOLMES, P. M.; ESLER, K. J.; GALATOWITSCH, S. M.; STROMBERG, J. C.; KIRKMAN, S. P.; PYSEK, P.; HOBBS, R. J. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and Distributions**, 13:126-139, 2007.

RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, v. 6, p. 93–107, 2000.

SIMBERLOFF, D.; REJMÁNEK, M. Encyclopedia of Biological Invasions. University of California Press, Berkeley & Los Angeles. 2011.

TUNISON, T. **Element Stewardship Abstract for *Hedychium coronarium***. The Nature Conservancy Arlington, Virginia, 1991.

VIDAL-ABARCAGUTIÉRREZ, M. R.; ALONSO, M. L. S. Which are, what is their status and what can we expect from ecosystem services provided by Spanish rivers and riparian areas? **Biodiversity and Conservation**, 22: 2469–2503, 2013. DOI: 10.1007/s10531-013-0532-2

VITOUSEK, P. M.; D'ANTONIO, C. M.; LOOPE, L. L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKSAL, R. Introduced species: a significant component of human-caused global change. **New Zealand Journal of Ecology**, 21: 1-16, 1997.

VOURLITIS, G. L.; DA ROCHA, H. R. **Flux dynamics in the cerrado and cerrado-forest transition of Brazil**. In: Hill MJ, Hanan NP (eds) Ecosystem function in global savannas: measurement and modeling at landscape to global scales. CRC Inc., Florida, in press. 2010.

ZAVALETA, E. The economic value of controlling an invasive shrub. **Ambio**, 29: 462–467, 2000.

10. CONCLUSÕES GERAIS

O presente estudo investigou o efeito de uma macrófita anfíbia invasora, *Hedychium coronarium*, em um serviço ecossistêmico de grande importância, a água. Por se tratar de uma espécie exótica que invade agressivamente ambientes pantanosos e áreas ripárias, ela pode causar prejuízo não só no ciclo hidrológico, como também em outros processos ecossistêmicos, tais como a ciclagem de nutrientes e produtividade. Em relação ao ciclo hidrológico, escolhemos analisar como a presença da espécie *H. coronarium* pode afetar a evapotranspiração (ET) e o nível do lençol freático. Além de buscarmos entender o crescimento dessa espécie invasora e algumas espécies nativas de áreas ripárias.

Em relação a evapotranspiração (ET), nossos resultados evidenciam que esta muda de acordo com as espécies envolvidas, e que a espécie *H. coronarium* possui menor ET diária quando comparada com as espécies nativas e com a mistura dessas (espécie invasora mais nativas). Quando partimos para uma análise considerando os valores de ET diária acumulados ao longo dos 14 meses de estudo, todos os tratamentos apresentaram um valor acima de 2000 mm; sendo que o padrão da ET mantido, em que o tratamento com maior ET foi a mistura das espécies, e o com menor ET foi a espécie invasora. Além do cálculo da ET real, esse estudo foi capaz de mensurar, pela primeira vez, o coeficiente da planta (K_p) para a espécie *H. coronarium* e para o conjunto específico de espécies

nativas (Bromeliacea, *Euterpe edulis* Mart., *Tapirira guianensis* Aubl. e *Croton urucurana* Baill.), comumente encontradas em florestas ripárias. Ademais, o K_p apresentado por nós para o conjunto de espécies nativas, as quais representam uma amostra de áreas ripárias, mostra que os valores apresentados na literatura (em média 1,0) para estas áreas estavam sendo subestimados.

Ainda considerando a ET como a principal variável, buscamos relacionar o crescimento das espécies estudadas com esta. Nosso trabalho mostra que a ET mensal está diretamente relacionada ao crescimento das espécies, sejam elas nativas ou invasora. Quando focamos na espécie invasora, o investimento ocorre, principalmente, no crescimento em altura e no número de rametas, os quais são úteis na busca por mais luminosidade e ocupação da área, respectivamente. Isso mostra um eficaz mecanismo de invasão biológica.

Os menores valores de ET pela espécie invasora *H. coronarium* podem trazer prejuízos no ciclo hidrológico de áreas invadidas por esta, principalmente porque o tipo de vegetação de uma determinada área tem influência direta no balanço entre evapotranspiração e precipitação. Assim, a substituição de espécies nativas pela espécie *H. coronarium* em áreas ripárias pode alterar a ciclagem de água, e até mesmo o clima local, o que diminuiria a oferta de serviços ecossistêmicos. Além disso, há registro de que ambientes susceptíveis a ações antrópicas possuem menores valores de ET.

Em relação a variação do nível do lençol freático, este estudo mostra que uma área invadida pela espécie *H. coronarium* possui um lençol mais raso quando comparada a uma área não invadida. A principal justificativa parece estar relacionada a capacidade da espécie invasora utilizar de características do próprio ambiente e de si própria (raízes, produção de biomassa e baixa decomposição), formando porções alagadiças e que dificultam o processo de infiltração de água no solo, transformando esse ambiente e causando um “*feedback*” positivo. Isso facilita o processo de ocupação e domínio dessa área pela espécie invasora em questão.

Trabalhos como este são importantes para que possamos entender melhor como os processos de invasão ocorrem e quais os efeitos de uma espécie invasora para os serviços ecossistêmicos. No nosso caso, entender como a espécie *H. coronarium* influencia em processos do ciclo hidrológico, como a evapotranspiração e a infiltração de água no solo em áreas ripárias é essencial termos mais embasamento teórico sobre os prejuízos causados pelos processos de invasão biológica. Além disso, enfatizamos aqui a

busca por mecanismos de controle e erradicação dessa macrófita anfíbia que está invadindo vários ambientes ao redor do mundo.