



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BOTÂNICA TROPICAL**

JÉSSICA DA SILVA PINTO

**EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES
DE ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS
IMPACTOS AMBIENTAIS**

**BELÉM
2021**

JÉSSICA DA SILVA PINTO

**EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES
DE ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS
IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Botânica Tropical, Área de Concentração: Ecologia, Manejo e Conservação, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr^a Grazielle Sales Teodoro

BELÉM
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P659e Pinto, Jéssica da silva pinto
EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES DE
ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS IMPACTOS AMBIENTAIS /
Jéssica da silva pinto Pinto. - 2021.
59 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Biológicas (CB), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.
Orientador: Profª. Dra. Grazielle Sales Teodoro
1. Solo. 2. Alterações ambientais. 3. Uso múltiplo da terra. 4. Área foliar específica. 5. Ponto de perda
de turgor. I. Sales Teodoro, Grazielle , *orient.* II. Título
-

CDD 581

JÉSSICA DA SILVA PINTO

**EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES
DE ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS
IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Botânica Tropical, Área de Concentração: Ecologia, Manejo e Conservação, para obtenção do título de Mestre.

18 de maio de 2021

Data da aprovação

Banca Examinadora:

Grazielle Sales Teodoro

Dr^a Grazielle Sales Teodoro - Orientadora
Universidade Federal do Pará - UFPA
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

Paula Munhoz de Omena

Dr^a Paula Munhoz de Omena - 1^a examinadora
Universidade Federal do Pará - UFPA

Quirha

Dr Erlane José Rodrigues da Cunha – 2^o examinador
Universidade Federal do Pará - UFPA

Julia Valentim Tavares

Dr^a Julia Valentim Tavares – 3^o examinador
Universidade de Leeds – Reino Unido

Dr Leandro Maracahipes dos Santos – Suplente
Universidade Estadual de Campinas

Dedico

A Deus!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido chegar até aqui, e estar sempre comigo em tudo o que eu faço na minha vida, sempre me guiando aonde eu for. Minha eterna gratidão.

A minha família, que mesmo não tendo muita noção da vida na academia, sempre torceu pela minha felicidade e sucesso, me apoiando e tendo muito orgulho da minha caminhada.

Ao meu namorado e amigo, que sempre me incentivou e apoiou desde o início, a correr atrás dos meus objetivos e sonhos.

A minha orientadora Prof^ª Dr^ª Grazielle Sales Teodoro, exemplo de pessoa, um anjo em minha vida, que me proporcionou a oportunidade de adquirir experiências maravilhosas nesse início de jornada, da especialização ao mestrado, agradeço por toda a paciência, amizade e humanidade com a qual me orientou.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi e a Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de ingresso ao programa de pós-graduação em Botânica Tropical.

A Universidade Federal do Pará e ao Laboratório de Ecologia de Produtores primários, pelo espaço concedido para o desenvolvimento da minha pesquisa.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos os professores que de alguma forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos colegas de laboratório ECOPRO, pela amizade, conversas, trocas de conhecimento, apoio acadêmico e pessoal. Em especial, à Carol, Hailin e Vanessa, que sempre se propuseram em ajudar em momentos em que me via perdida.

A toda equipe de campo, que me ajudou durante e após a coleta de uma forma incrível, em especial ao Erlane e ao Rafael por todo o apoio até aqui, sendo tão prestativos, tenham a minha gratidão.

A todos que contribuíram para a realização e execução deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

As florestas tropicais representam os mais biodiversos ecossistemas do mundo, porém, esses ecossistemas sofrem devido inúmeros impactos ambientais. Dentre os impactos, a influência de atividades antrópicas ligadas às atividades de mineração na Amazônia tem causado alterações nos cursos d'água e podem alterar o solo no entorno destes. Além disso, a paisagem está a cada dia mais fragmentada. Dessa forma, essas alterações podem afetar o funcionamento dos ecossistemas naturais e alterar a disponibilidade de recursos para as plantas (e.g. luz, água e íons no solo), o que pode afetar as características ou atributos funcionais das plantas. Os atributos funcionais são características capazes de revelar como as plantas utilizam os recursos. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar se i) os solos dos fragmentos florestais estudados apresentam variações em suas características químicas e físicas; ii) a disponibilidade de nutrientes no solo e as alterações na paisagem influenciam nas características funcionais das espécies e quais variáveis mais influenciam sobre os atributos; iii) espécies de diferentes grupos funcionais respondem de formas diferentes a possíveis alterações no ambiente. O estudo foi realizado em 13 áreas localizadas no município de Barcarena, Pará, Brasil. As espécies estudadas foram: uma palmeira *Bactris hirta* (Arecaceae), uma herbácea, *Calathea altissima* (Maranthaceae) e uma liana *Tetracera* sp. (Dilleniaceae). Para responder aos objetivos propostos, coletamos em cada área três indivíduos e mensuramos seus atributos foliares, sendo eles, área foliar (LA), área foliar específica (SLA) e teor de matéria seca contida (LDMC). Também mensuramos os atributos integradores do funcionamento foliar, tais como, potencial osmótico no turgor máximo (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo de elasticidade (ϵ). Os fragmentos estudados apresentaram bastante homogeneidade nas características químicas e físicas do solo e na paisagem, indicando que não há um gradiente expressivo de disponibilidade de recursos nessas áreas. Os atributos das plantas responderam aos fatores edáficos e as alterações na paisagem, no qual, tanto os atributos morfológicos como os integradores relacionaram-se mais aos fatores químicos do solo e a paisagem. As espécies apresentaram variação semelhante para os atributos morfológicos foliares. No entanto, para os atributos integradores do funcionamento foliar, a espécie herbácea e a palmeira apresentaram maior variação intraespecífica quando comparadas a liana, o que pode ser um indicativo de maior capacidade em responder a mudanças ambientais nessas espécies. Este estudo contribui para o conhecimento sobre os atributos funcionais das plantas e como elas se relacionam com o meio, uma vez que existem variações nos atributos morfológicos e integradores que podem indicar pequenas alterações nos ecossistemas avaliados.

Palavras-chave: Solo, alterações ambientais, grupos funcionais, uso múltiplo da terra, impactos ambientais, área foliar específica, ponto de perda de turgor.

ABSTRACT

Tropical forests represent the most biodiverse ecosystems in the world, however, these ecosystems suffer due to numerous environmental impacts. Among the impacts, the influence of human activities linked to mining in the Amazon has caused changes in watercourses and can alter the soil around them. Besides that, the landscape is increasingly fragmented. Thus, these changes can affect the functioning of natural ecosystems and alter the availability of resources for plants (e.g. light, water, and ions in the soil), which can affect the characteristics or functional traits of plants. Functional traits are characteristics capable of revealing how plants use resources. Therefore, the objective of the work was to evaluate: i) the soils of the studied forest fragments present variations in their chemical and physical characteristics; ii) the availability of nutrients in the soil and changes in the landscape influence the functional characteristics of the species and which variables most influence the traits; iii) species from different functional groups respond differently to possible changes in the environment. The study was carried out in 13 areas located in the municipality of Barcarena, Pará, Brazil. The species studied were: *Bactris hirta* palm (Arecaceae), herbaceous tree, *Calathea altissima* (Maranthaceae), and liana *Tetracera* sp. (Dilleniaceae). To answer the proposed objectives, we collected three individuals in each area and measured their leaf traits, namely, leaf area (LA), specific leaf area (SLA), and content of dry matter contained (LDMC). We also measured the integrative traits of leaf functioning, such as osmotic potential at the maximum turgor (Ψ_{sFT}), turgor loss point (Ψ_{TLP}), and modulus of elasticity (ϵ). The studied fragments showed a high degree of homogeneity in the chemical and physical characteristics of the soil and the landscape, indicative that there is not a significant gradient in the availability of resources in these areas. The traits of the plants responded to the edaphic factors and the changes in the landscape, in which, both the morphological traits and the integrators were more related to the chemical factors of the soil and the landscape. The species showed a similar variation for leaf morphological traits. However, for the traits from pressure-volume curves (integrative of leaf functioning), the herbaceous species and the palm showed greater intraspecific variation when compared to liana, which may be an indicative of a greater capacity to respond to environmental changes in these species. This study contributes to the knowledge about the functional traits of plants and how they relate to the environment since there are variations in the morphological and integrating traits that can indicate small changes in the evaluated ecosystems.

Key-words: Soil, environmental changes, functional traits, multiple land use, environmental impacts, specific leaf area, turgor loss point.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Mapa da área de estudo apresentando os locais de amostragem em Barcarena, Pará, Brasil..... 26
- Figura 2.** Câmara de pressão ou bomba de *Scholander*. Instrumento utilizado para as medidas de potencial hídrico e construção das curvas pressão-volume..... 32
- Figura 3.** Mensuração para posterior construção de curvas p-v com o auxílio da Câmara de pressão..... 33
- Figura 4.** Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando a ordenação dos dados de paisagem e solo para os locais estudados em Barcarena, Pará, Brasil..... 35
- Figura 5.** Variação nos atributos integradores, Potencial osmótico no turgor máximo (Ψ_{sFT} (MPa)) (a), Ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP} (MPa)) (b), e Elasticidade da parede celular (ϵ (MPa)) (c) entre as espécies analisadas. Letras diferentes indicam resultados significativamente diferentes..... 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações básicas das áreas – fragmentos florestais amostrados para monitoramento em Barcarena, Pará, Brasil.....	27
Tabela 2. Parâmetros químicos e físicos que foram mensurados para o solo, com suas respectivas unidades e métodos de amostragem nos pontos de coleta em Barcarena, Pará, Brasil.....	28
Tabela 3. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando as correlações das variáveis com os eixos da PCA.....	35
Tabela 4. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre a leaf area (LA) e leaf dry matter content contained (LDMC) em <i>Bactris hirta</i> . As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.....	37
Tabela 5. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo de elasticidade (ϵ) em <i>Bactris hirta</i> . As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.....	37
Tabela 6. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre a leaf area (LA), specific Leaf area (SLA) e leaf dry matter content contained (LDMC) em <i>Calathea altissima</i> . As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.....	39
Tabela 7. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo de elasticidade (ϵ) em <i>Calathea altissima</i> . As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.....	40
Tabela 8. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre a leaf area (LA), specific leaf area (SLA) e leaf dry matter content contained (LDMC) em <i>Tetracera</i> sp. As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.....	41

Tabela 9. Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo de elasticidade (ϵ) em *Tetracera* sp. As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados..... 42

SUMÁRIO

1. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
1.1 Amazônia e ameaças ao bioma.....	12
1.2 Atributos funcionais de plantas e sua importância.....	13
2. EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES DE ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	17
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
Área de estudo.....	24
Coleta de dados.....	26
Variáveis físicas e químicas do solo.....	27
Análise da paisagem.....	29
Ecofisiologia de plantas.....	30
Atributos Morfológicos.....	30
Atributos integradores do funcionamento foliar.....	31
Análise dos dados.....	33
RESULTADOS.....	34
Variáveis da paisagem e solo.....	34
Relação das características funcionais das espécies e as variáveis de cobertura de dossel, paisagem e solo.....	36
DISCUSSÃO.....	44
Fatores edáficos, paisagem e os atributos funcionais foliares.....	44
CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50
Material suplementar.....	58

REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Amazônia e ameaças ao bioma

A floresta amazônica abriga uma grande diversidade de espécies. Porém, nestas florestas, o desmatamento e as alterações do uso da terra podem apresentar uma grande ameaça à biodiversidade amazônica (Esquivel-Muelbert *et al.* 2018; Brodie *et al.* 2012). Grande parte da diversidade biológica desta é representada pelas plantas, que são os produtores primários neste sistema, onde, considerando somente as Angiospermas, existem cerca de 30.000 espécies (Flora do Brasil 2020). A perda histórica de vegetação na Amazônia têm impactado várias espécies, algumas destas enfrentarão uma alta probabilidade de extinção até 2050 (Gomes *et al.* 2019).

Na região Amazônica, há a crescente urbanização, que leva à remoção de áreas florestais para cultivos agrícolas, expansão de área urbana e outros, que resultam na fragmentação da paisagem (Souza *et al.* 2019). Além disso, os fragmentos florestais remanescentes estão sujeitos ao corte seletivo de árvores, atividades agropecuárias, lançamento de águas residuais nos cursos d'água, dentre outros (Silva & Tabarelli 2000). As queimadas e o desmatamento são apontados como os dois maiores problemas ambientais enfrentados pelo Brasil ultimamente, causando uma séria questão ambiental no país (Gonçalves *et al.* 2012). Grande parcela da Amazônia está sofrendo com o intenso desmatamento e queimadas. O desmatamento na floresta reduziu em cerca 15% de sua extensão desde a década de 1970. Muitos cientistas receiam que a floresta amazônica inicie um ponto de inflexão se o desmatamento alcançar 40% do território, podendo alcançar um outro estágio de configuração da vegetação. As consequências dessa mudança de configuração da vegetação para o aquecimento global, ciclos hidrológicos e biodiversidade seriam trágicas (Amigo 2020; Lovejoy & Nobre 2018; Veríssimo 2011). Além disso, atualmente, as atividades de mineração vêm causando inúmeros impactos no ambiente, por caracterizar um projeto de grande porte que geram sérias alterações ambientais (Sepe & Salvador 2018).

A atividade de mineração apresenta uma imagem negativa, pois afeta o meio ambiente por utilizar recursos não renováveis, além de alterar o equilíbrio ecológico da área e alterar a qualidade da água (Silva & Andrade 2017; Melo *et al.* 2020). Estudos indicam que acidentes ambientais de mineradoras ocorridos em área industrial, assim como o destino não adequado da lama vermelha residual da bauxita, podem resultar em contaminação da água e do subsolo,

além de causar alterações no equilíbrio ecológico da área (Medeiros 2017; Silva & Andrade 2017; Silva *et al.* 2019; Melo *et al.* 2020), gerando impactos no ambiente e na diversidade.

A cidade de Barcarena, no Estado do Pará, está continuamente sofrendo impactos em seu ambiente devido às atividades industriais e portuárias na região (Medeiros 2017). A cidade apresenta sérios impactos devido ao pólo industrial de produção de alumina e alumínio das indústrias Albras e Hydro Alunorte que foram implantadas na região, sendo alvo de despejos tanto industriais como domésticos, assim como a utilização de áreas para agricultura familiar. A região apresenta sérios problemas ambientais relacionados não só as indústrias, como também problemas de saneamento básico como lixões, efluentes domésticos e sanitários (Pereira *et al.* 2007). Em 2018, uma empresa de mineração foi notificada pelo derramamento de rejeitos de uma de suas tubulações, onde a lama vermelha resultante da lavagem da bauxita, matéria prima para produção de alumina, poderia ter chegado até os rios (CPT 2018). Até o momento, não se sabe quais foram os efeitos desses rejeitos para a biodiversidade da região, tanto nos ecossistemas aquáticos como nos ambientes terrestres e nas características das espécies.

1.2 Atributos funcionais de plantas e sua importância

Os atributos funcionais são definidos como características biológicas mensuráveis, podendo ser uma característica morfológica, fisiológica ou fenológica de um indivíduo que, afetam indiretamente ou diretamente o crescimento, a sobrevivência, a reprodução e o condicionamento físico deste indivíduo (Poorter *et al.* 2018; Reich *et al.* 2014; Violle *et al.* 2007; Reich *et al.* 2003). As características funcionais das plantas apresentam uma maneira de antever as respostas das florestas tropicais às variações no ambiente (Nunes *et al.* 2019). Variações nos atributos funcionais estão relacionadas à capacidade plástica das espécies em adquirir recursos que são essenciais para sua sobrevivência (Wright *et al.* 2004; Poorter & Bongers 2006). Essas variações podem abranger ajustes morfológicos e fisiológicos.

Alguns atributos morfológicos foliares, como área foliar específica (*specific leaf area* - SLA) e conteúdo de matéria seca foliar (*leaf dry matter content contained* - LDMC), relacionam-se ao investimento de carbono para construção de folhas. Estes atributos possuem relação com a taxa de crescimento e atividade fotossintética dos indivíduos (Pérez Harguindeguy *et al.* 2013). Já a área foliar (*leaf area* - LA) está relacionada às características plásticas da planta (Boeger & Wisniewski 2003), em que espécies expostas à alta incidência de luz solar, tendem a apresentar uma menor LA. Além disso, espécies em ambientes com menor

disponibilidade hídrica tendem a apresentar menor LA, como estratégia para evitar a perda de água para o ambiente por evapotranspiração (Taiz *et al.* 2017).

Alguns estudos em escala global mostram a importância dos nutrientes no solo, e o padrão de alocação de recursos para construção foliar, mostrando, com isso, a presença do espectro de economia foliar no ambiente (Wright *et al.* 2004). Neste sentido, espécies presentes em sítios com baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N), geralmente apresentam menores valores de SLA, maior LDMC e longevidade foliar, caracterizando como uma estratégia conservativa de uso de recursos. Já uma estratégia mais aquisitiva é caracterizada por maior SLA, menor LDMC e longevidade foliar (Wright *et al.* 2004; Peter & Reich 2014; Missio *et al.* 2017). Variações no investimento de carbono foliar podem ocorrer como ajustes morfológicos, que alteram a área foliar, a área foliar específica e conteúdo de matéria seca foliar (Wright *et al.* 2004; Poorter & Bongers 2006). Com isso, é de suma importância investigar as características funcionais das plantas em condições que possam apresentar variações nas características físicas e químicas do solo, bem como outras alterações no ambiente.

Os atributos como o potencial hídrico, no qual a planta perde o turgor (Ψ_{TLP}) e o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), são importantes atributos funcionais integradores do funcionamento foliar de plantas. O potencial hídrico na perda de turgor foliar (Ψ_{TLP}) é reconhecido como um dos principais determinantes fisiológicos do estresse hídrico (Bartlett *et al.* 2012). O Ψ_{TLP} indica o potencial em que as plantas perdem a turgescência, e, com isso deixam de exercer algumas de suas atividades metabólicas vitais. Enquanto que o Ψ_{sFT} , apresenta uma estratégia para manter o turgor das células, além de poder estar associado à concentração de íons nas células vegetais. O módulo de elasticidade (ϵ) das células representa a rigidez na parede celular vegetal (Bartlett *et al.* 2012). Em escala mundial, esses atributos estão diretamente associados à disponibilidade hídrica. Espécies em ambientes mais áridos frequentemente apresentam um menor ponto de perda de turgor e potencial osmótico (valores mais negativos) como mecanismo de defesa para suportar a seca (Bartlett *et al.* 2014).

Ultimamente discute-se se os atributos integradores do funcionamento foliar apresentam variação intraespecífica (Bartlett *et al.* 2014). Em um estudo realizado por (Rosado & Mattos 2007) esses atributos variaram sazonalmente. Os autores apontaram que a dinâmica temporal dos atributos foliares refletiu a disponibilidade hídrica, e isso poderia ser um fator determinante para o sucesso na ocupação das espécies. Entretanto, as diferenças observadas nas características foliares entre as espécies estudadas podem influenciar em processos relevantes

para a planta, como o crescimento e a reprodução, assim como em padrões de dominância das espécies na comunidade.

**EFEITOS DA PAISAGEM E SOLO SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS FOLIARES
DE ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO CILIAR EM ÁREAS COM MÚLTIPLOS
IMPACTOS AMBIENTAIS**

**Jéssica da Silva Pinto^{1*} Ana Carolina Enríquez Espinosa² Vanessa Negrão Rodrigues¹
Jaqueline Vieira³ Thaísa Sala Michelin⁴ Grazielle Sales Teodoro⁴**

**Formatado conforme as normas da
publicação científica *Acta Botanica
Brasilica*, disponível em:
[https://www.scielo.br/revistas/abb/i
instruc.htm](https://www.scielo.br/revistas/abb/iinstruc.htm)**

^{1*} Programa de Pós-Graduação em Botânica Tropical, Área de Concentração: Ecologia, Manejo e Conservação, Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA 66075-110, Brasil.

³ Hydro Alunorte, Rodovia PA 481, Km12, Barcarena – Pará.

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA 66075-110, Brasil.

*Corresponding author: jessicapintobio@gmail.com

RESUMO

1
2
3
4 As florestas tropicais representam os mais biodiversos ecossistemas do mundo, e os gradientes
5 edáficos, como a fertilidade do solo, hidrologia e propriedades físicas do solo, apresentam
6 grandes impactos sobre a distribuição de plantas tropicais, padrões de diversidade e dinâmica
7 das comunidades de plantas. As mudanças no ambiente podem alterar as características
8 funcionais das plantas. Nesse estudo testamos se a disponibilidade de nutrientes no solo e as
9 alterações na paisagem influenciam os atributos funcionais foliares em três espécies de plantas
10 em fase de muda em florestas ciliares sujeitas a ações antrópicas. Avaliamos se espécies de
11 diferentes grupos funcionais respondem de formas diferentes às possíveis alterações no
12 ambiente. O estudo foi realizado em 13 áreas no município de Barcarena, Pará, Brasil, com as
13 espécies *Bactris hirta*, *Calathea altissima*, e *Tetracera* sp. Coletamos em cada área três
14 indivíduos e mensuramos a área foliar, área foliar específica, conteúdo de matéria seca foliar,
15 potencial osmótico, ponto de perda de turgor e módulo de elasticidade. Os fragmentos
16 estudados apresentaram bastante homogeneidade nas características químicas e físicas do solo
17 e na paisagem. Os atributos funcionais responderam aos fatores edáficos e as alterações na
18 paisagem. As espécies apresentaram variação semelhante para os atributos morfológicos
19 foliares. No entanto, para os atributos integradores do funcionamento foliar, a espécie herbácea
20 e a palmeira apresentaram maior variação intraespecífica quando comparadas a liana, o que
21 pode ser um indicativo de maior capacidade em responder a mudanças ambientais. Este estudo
22 contribui para o conhecimento sobre os atributos funcionais das plantas e como elas se
23 relacionam com o meio ambiente.

24
25 **Palavras-chave:** Solo, alterações ambientais, grupos funcionais, uso múltiplo da terra,
26 impactos ambientais, área foliar específica, ponto de perda de turgor.

ABSTRACT

Tropical forests represent the most biodiverse ecosystems in the world, changes in the environment can alter the functional traits of plants. In this study we tested whether the availability of nutrients in the soil and changes in the landscape influence leaf functional traits in three species of plants in the moulting stage in riparian forests subject to anthropic actions. We evaluated whether species from different functional groups respond differently to possible changes in the environment. The study was carried out in 13 areas in the municipality of Barcarena, Pará, Brazil, with the species *Bactris hirta*, *Calathea altissima*, and *Tetracera* sp. We collected three individuals in each area and measured the leaf area, specific leaf area, leaf dry matter content, osmotic potential, turgor loss point and modulus of elasticity. The studied fragments showed a lot of homogeneity in the chemical and physical characteristics of the soil and in the landscape. The functional traits responded to the edaphic factors and the changes in the landscape. The species showed a similar variation for leaf morphological traits. However, for the traits from pressure-volume curves (integrative of leaf functioning), the herbaceous species and the palm showed greater intraspecific variation when compared to liana, which may be an indicative of greater capacity to respond to environmental changes. This study contributes to the knowledge about the functional traits of plants and how they relate to the environment.

Key-words: Soil, environmental changes, functional traits, multiple land use, environmental impacts, specific leaf area, turgor loss point.

53 INTRODUÇÃO

54

55 As florestas tropicais representam os mais biodiversos ecossistemas do mundo
56 (Esquivel-Muelbert *et al.* 2018), e o gradientes edáficos, como a fertilidade do solo, hidrologia
57 e propriedades físicas do solo, apresentam grandes impactos sobre a distribuição de plantas
58 tropicais, padrões de diversidade e dinâmica das comunidades de plantas (Muscarella *et al.*
59 2019). No entanto, essa diversidade é ameaçada por inúmeras ações antrópicas que modificam
60 o uso da terra e alteram as paisagens naturais em todo o mundo (González-Abraham *et al.* 2015;
61 Souza *et al.* 2019). Dentre as ações antrópicas, as atividades de mineração têm causado diversos
62 impactos ambientais (Milanez 2017) relacionados à extração de minério que estão associados
63 à retirada de matas e de vegetação marginal (Sepe & Salvador 2018).

64 Dentre os minérios extraídos na Amazônia tem-se a bauxita, uma rocha de cor
65 avermelhada, rica em alumínio. Durante o processamento da bauxita, é produzido um resíduo
66 solúvel denominado “lama vermelha” que são estocadas em lagoas para este fim, e podem
67 causar grandes problemas ambientais se estocadas inadequadamente (Constantino *et al.* 2002;
68 Pereira *et al.* 2007; Silva Filho *et al.* 2007). A lama vermelha retém ferro, titânio e sílica
69 presentes na bauxita, além do alumínio, que não foi extraído durante o refinamento, que podem
70 contaminar a água (superficial e subterrânea), solo e como consequência, os animais, plantas e
71 humanos (Pereira *et al.* 2007; Antunes *et al.* 2012; Azevedo *et al.* 2019).

72 Além da mineração, na Amazônia, há a crescente urbanização, levando a remoção de
73 áreas florestais para cultivos agrícolas, expansão de área urbana e outros que resultam na
74 fragmentação da paisagem. Consequentemente, os estoques de carbono e nitrogênio contidos
75 nos solos podem ser modificados à medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola.
76 Com isso, suas propriedades físicas sofrem alterações desfavoráveis ao desenvolvimento
77 vegetal (Souza *et al.*, 2019). Além disso, os fragmentos remanescentes muitas vezes estão

78 sujeitos ao corte seletivo de árvores, águas residuais nos cursos d'água, atividades
79 agropecuárias e outros. Todas essas mudanças no ambiente podem levar a alterações no
80 microclima do fragmento remanescente e ao isolamento das populações vegetais (Silva &
81 Tabarelli 2000), causando impactos tanto no meio físico como biótico com profunda mudança
82 na paisagem urbana e rural (Carmo & Costa 2019).

83 A importância de entender as mudanças no ambiente estimulou o estudo das
84 características ou atributos funcionais das plantas, que refletem as estratégias ecológicas e
85 determinam como estas respondem às variações ambientais (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013).
86 Os atributos funcionais são definidos como características morfológicas, fisiológicas e
87 fenológicas que afetam a aptidão dos organismos através de seus efeitos no crescimento,
88 reprodução e sobrevivência (Violle *et al.* 2007). Estes relacionam-se com a taxa de crescimento
89 vegetal, e estão diretamente envolvidos no processo de aquisição, processamento e conservação
90 de recursos, além de fornecer contribuições para a função do ecossistema (Reich *et al.* 2014;
91 Reich *et al.* 2003). Os atributos funcionais estão relacionados ao nicho ecológico de cada
92 espécie (Reich *et al.* 2014), e seus padrões de alocação de recursos para construção foliar,
93 determinam os valores dos atributos, resultando em *trade-offs* apresentadas pelas plantas. A
94 presença de alterações nas condições ambientais pode modificar os atributos e os *trade-offs* na
95 utilização de recursos (Chesson 2000; Westoby *et al.* 2002; 2004; Reich *et al.* 2014). Portanto,
96 é importante avaliar como a disponibilidade de recursos e alterações no ambiente influenciam
97 nos atributos.

98 Atributos morfológicos foliares, como a área foliar específica (SLA) e conteúdo de
99 matéria seca foliar (LDMC), estão relacionados ao investimento de carbono para produção
100 foliar e possuem relação com a longevidade foliar, atividade fotossintética e taxa de crescimento
101 das espécies (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). A área foliar (LA) também pode refletir as
102 condições ambientais e apresentar variação/plasticidade, por exemplo, pode ocorrer a redução

103 da LA em ambientes com baixa disponibilidade de água (Boeger & Wisniewski 2003), no
104 entanto, com baixa incidência de luz a LA tende a aumentar (Chagas *et al.* 2009).

105 Estudos em escala global evidenciam o papel dos nutrientes no solo sobre o padrão de
106 alocação de recursos para construção de tecidos foliares, estabelecendo, dessa forma, o espectro
107 de economia foliar (Wright *et al.* 2004). Nesse espectro, espécies em ambientes com baixa
108 disponibilidade de nutrientes no solo (fósforo - P e nitrogênio - N), tendem a apresentar folhas
109 com menor SLA e maior LDMC e longevidade foliar (Reich 2014). No entanto, o aumento das
110 atividades antrópicas tem alterado o padrão de ciclagem e disponibilidade de nutrientes no solo,
111 aumentando as perdas de nutrientes por lixiviação e processos erosivos, influenciando nas
112 relações globais (Steffen *et al.* 2015). Além disso, alterações na entrada de luz na floresta,
113 devido ao corte seletivo e outros fatores, também podem levar a respostas nas plantas. Por isso,
114 possíveis alterações na disponibilidade de recursos, tanto naturais, quanto por consequência de
115 atividades antrópicas, podem alterar os atributos morfológicos (Reich *et al.* 2003; Reich 2014).

116 Os atributos integradores do funcionamento foliar são importantes atributos
117 relacionados à disponibilidade hídrica e íons no solo (Bartlett *et al.* 2012; Bartlett *et al.* 2014).
118 A perda de turgescência celular (Ψ_{TLP}) é sem dúvida o mais reconhecido indicador do estresse
119 hídrico da planta, ela indica o limite no qual a planta interrompe o crescimento (Bartlett *et al.*
120 2012). O ajuste osmótico (Ψ_{sFT}) é uma estratégia utilizada pelas plantas para manter a
121 turgescência das células e pode estar associada a concentração de íons celulares, e o módulo de
122 elasticidade (ϵ) está relacionado à rigidez e flexibilidade da parede celular vegetal (Bartlett *et*
123 *al.* 2012). Além disso, discute-se se esses atributos apresentam plasticidade em relação à
124 variação na disponibilidade de recursos no ambiente (Bartlett *et al.* 2014), o que é
125 particularmente importante de ser avaliado considerando as alterações ambientais que tem
126 ocorrido com frequência nos ecossistemas.

127 Espécies que conseguem apresentar variações em suas características funcionais,
128 respondendo a variações no ambiente, tendem a apresentar maiores chances de sobrevivência
129 diante das mudanças antrópicas e climáticas (McLean *et al.*, 2014; Anderson & Gezon 2015;
130 Xie *et al.* 2015). Dessa forma, as plantas poderiam investir de forma diferenciada em suas
131 estruturas foliares devido às alterações ambientais. Essa variação intraespecífica pode
132 contribuir para a estabilidade de várias espécies que se encontram em áreas cujos filtros
133 ambientais são significativos (Maracahipes *et al.* 2018). Além de representar uma estratégia de
134 tolerância a limitações de recursos no ambiente, podendo influenciar na sobrevivência e
135 capacidade competitiva dos indivíduos (Silva *et al.* 2019). Portanto, é importante verificar se
136 ocorre variações nos atributos morfológicos e integradores do funcionamento foliar, para
137 entendermos sobre os padrões de alocação de recursos das espécies, e sua capacidade de
138 apresentar respostas em relação a ambientes possivelmente modificados.

139 Diante disso, avaliamos um conjunto de atributos morfológicos e integradores do
140 funcionamento foliar de três espécies em florestas ciliares em estágio de mudas sujeitas a ações
141 antrópicas, como as atividades de refino da bauxita e usos diversos da terra devido à ocupação
142 humana em Barcarena, Pará, Brasil. O município de Barcarena vem sofrendo vários impactos
143 influenciados pela intensa industrialização que alterou tanto a paisagem rural quanto a urbana
144 na região (Carmo & Costa, 2019). A partir da década de 80, ocorreu um rápido processo de
145 transformação no uso do solo e da paisagem nesta região, no qual resultou em uma paisagem
146 bastante fragmentada, onde os fragmentos florestais remanescentes estão sujeitos a inúmeras
147 ações antrópicas.

148 Para o estudo selecionamos uma espécie palmeira, uma herbácea, e uma liana que
149 correspondem a importantes elementos da flora Amazônica. Selecionamos o estágio de muda,
150 pois em fase inicial de crescimento, as plantas jovens apresentam grande fragilidade, estando
151 sujeitas a diversos danos estruturais relacionados ao ambiente. Desse modo, o estágio juvenil

152 pode ser considerado o mais crítico do ciclo de vida de muitas espécies, podendo apresentar
153 respostas das alterações ambientais (James *et al.* 2011).

154 Portanto, testamos se os atributos funcionais das espécies *Bactris hirta*, *Calathea*
155 *altissima* e *Tetracera* sp. respondem a disponibilidade de nutrientes no solo e aos impactos da
156 paisagem. Para isso, objetivamos responder as seguintes perguntas: i) Os solos dos fragmentos
157 estudados apresentam variações em suas características químicas e físicas? ii) A disponibilidade
158 de nutrientes no solo e as alterações na paisagem influenciam nas características funcionais das
159 espécies? Quais variáveis mais influenciam nos atributos? iii) Espécies de diferentes grupos
160 funcionais respondem de formas diferentes a possíveis alterações no ambiente? Baseado no
161 exposto acreditamos que i) solos em locais mais conservados na paisagem, apresentam maior
162 disponibilidade de nutrientes e solo mais argiloso, já que em áreas mais antropizadas, na qual
163 pode ocorrer maior lixiviação, o solo é mais arenoso e com menor disponibilidade de nutrientes;
164 ii) a disponibilidade de recursos e alterações na paisagem influenciam nas características
165 foliares das espécies. Acreditamos que as variáveis mais relacionadas aos atributos
166 morfológicos foliares são as características químicas do solo, ou seja, a disponibilidade de
167 nutrientes. Já para os atributos integradores esperamos relação com características físicas do
168 solo, pois influenciam na capacidade de retenção de água no solo; iii) esperamos que a espécie
169 herbácea apresente maior variação intraespecífica em seus atributos comparado às plântulas de
170 liana e palmeira, pois, espécies herbáceas geralmente apresentam rápido desenvolvimento e,
171 com isso, sugerimos que estas podem responder mais agilmente a possíveis alterações no
172 ambiente.

173

174 MATERIAL E MÉTODOS

175

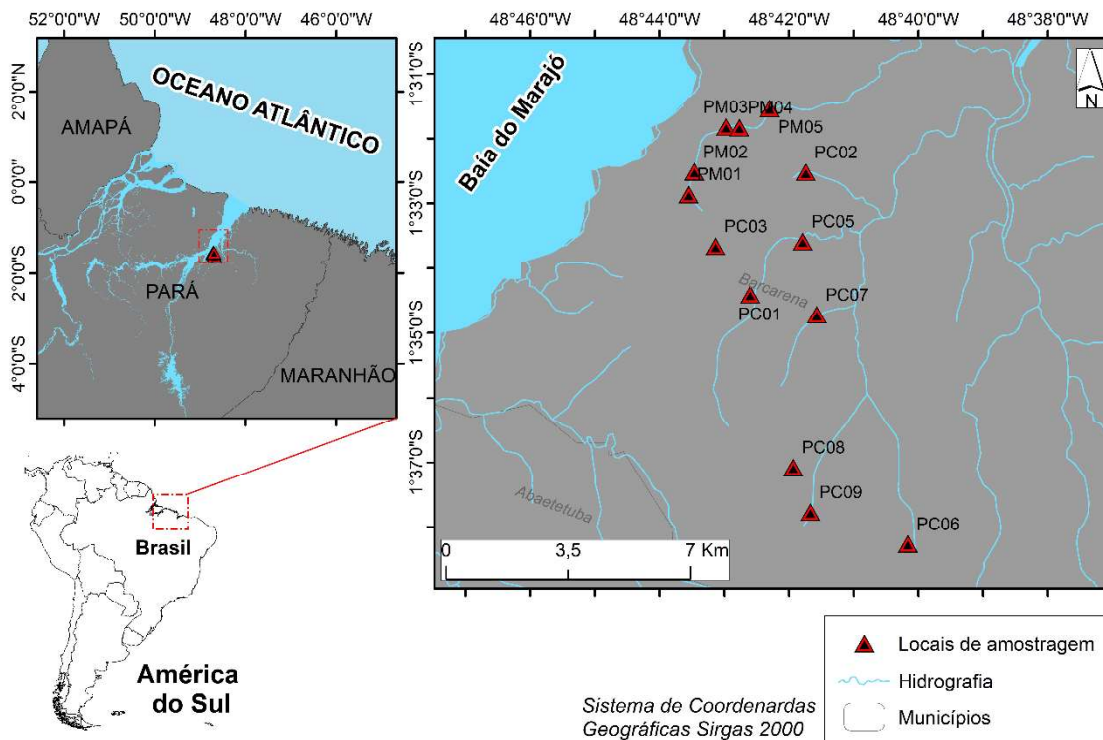
176 Área de estudo

177

178 O estudo foi desenvolvido em 13 fragmentos de mata de vegetação ripária nas
179 localidades de Vila do Conde e Vila dos Cabanos, no município de Barcarena, Pará, Brasil (Fig.
180 1 e Tab. 1). A área possui clima tropical chuvoso, com a presença de chuvas durante o ano
181 inteiro (Piratoba *et al.* 2017). Segundo a Köppen e Geiger o clima é classificado como Af
182 (clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca), com temperatura média de 26.9 °C e
183 2.532 mm de pluviosidade em média anual.

184 A cidade está continuamente sofrendo impactos em seu ambiente devido às atividades
185 industriais e portuárias na região (Medeiros 2017), sendo alvo de despejos tanto industriais
186 como domésticos, assim como a utilização de áreas para agricultura familiar. Além disso, é
187 sujeita a acidentes ambientais causados pelo derramamento da lixívia sódica contendo resíduos
188 do processamento da bauxita, que podem atingir os rios Murucupi e Pará. Em 2018, uma
189 empresa de mineração na região foi notificada pelo derramamento de rejeitos de uma de suas
190 tubulações, onde a lama vermelha resultante da lavagem da bauxita, matéria prima para
191 produção de alumina, poderia ter chegado até os rios (CPT 2018). A região apresenta sérios
192 problemas ambientais relacionados não só as indústrias, como também aos problemas de
193 saneamento básico como lixões, efluentes domésticos e sanitários (Pereira *et al.* 2007).

194



195
 196 **Figura 1.** Mapa da área de estudo apresentando os locais de amostragem em Barcarena, Pará,
 197 Brasil.

198
 199 **Coleta de dados**

200
 201 Realizamos três campanhas de campo, a primeira campanha ocorreu nos períodos de 26
 202 de novembro a 2 de dezembro de 2018, a segunda no período de 19 a 28 de fevereiro de 2019
 203 e a terceira campanha no período de 20 a 29 de maio de 2019. Em cada campanha e em cada
 204 local de amostragem selecionamos as três espécies de plantas em estágio juvenil mais
 205 abundantes, sendo elas, uma palmeira, *Bactris hirta* (Arecaceae), uma herbácea, *Calathea*
 206 *altissima* (Maranthaceae), e uma liana, pertencente ao gênero *Tetracera* sp. (Dilleniaceae). O
 207 critério utilizado para selecionar as espécies foi a abundância das mesmas nas áreas de estudo.

208 Mensuramos os atributos morfológicos como a área foliar (*leaf area* – LA), área foliar
 209 específica (*specific leaf area* – SLA), e conteúdo de matéria seca foliar (*leaf dry matter content*
 210 *containe* - LDMC), e os atributos integradores do funcionamento foliar como potencial

211 osmótico no turgor máximo (Ψ_{SFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo de elasticidade
212 (ϵ). Durante o estudo, cada indivíduo nos pontos de coleta foi considerado como uma unidade
213 amostral.

214

215 **Tabela 1.** Informações básicas das áreas – fragmentos florestais amostrados para
216 monitoramento em Barcarena, Pará, Brasil.

Fragmentos	Nome*	Longitude	Latitude
PC01	SI	-48.710000	-1.573470
PC02	Água verde	-48.695700	-1.542040
PC03	Pramajozinho	-48.718900	-1.561020
PC05	Tauá	-48.696500	-1.559770
PC06	SI	-48.669400	-1.637710
PC07	SI	-48.692800	-1.578690
PC08	SI	-48.698900	-1.617920
PC09	Japim	-48.694500	-1.629490
PM01	Murucupi	-48.725900	-1.547740
PM02	Murucupi	-48.724400	-1.541940
PM03	Murucupi	-48.716200	-1.530310
PM04	Murucupi	-48.712800	-1.530500
PM05	Murucupi	-48.705000	-1.525560

217 *SI = corresponde a igarapés sem informações.

218

219 **Variáveis físicas e químicas do solo**

220

221 Para verificar as características edáficas, realizamos análises químicas e físicas em
222 amostras coletadas em todos os fragmentos de coleta. Após a remoção da serapilheira,
223 coletamos a camada superficial do solo (0 - 10 cm). Avaliamos para este estudo 24 variáveis
224 químicas e físicas (granulométricas) do solo (Tab. S1). As análises foram realizadas pelo
225 laboratório LABRAS, Análises Ambientais e Agrícolas, localizado em Monte Carmelo, Minas

226 Gerais, Brasil. Os métodos utilizados pelo laboratório seguem o protocolo disponível pela
227 Embrapa (2009), que pode ser consultado para detalhes metodológicos.

228 Realizamos uma correlação entre as variáveis amostradas e para as variáveis altamente
229 correlacionadas ($r=0.7$), selecionamos apenas uma para manter nas análises. Portanto,
230 selecionamos dez variáveis que foram utilizadas para este estudo, sendo elas, pH água, fósforo
231 (P), potássio (K), acidez potencial/Hidrogênio+Alumínio (H+Al), matéria orgânica (M.O),
232 cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), soma e bases (SB) e areia total (Tab. 2).

233 A correlação e os valores médios das variáveis do solo nos fragmentos amostrados
234 encontram-se nas tabelas S1 e S2 (Material suplementar).

235

236 **Tabela 2.** Parâmetros químicos e físicos que foram mensurados para o solo, com suas
237 respectivas unidades e métodos de amostragem nos pontos de coleta em Barcarena, Pará, Brasil.

Parâmetro	Sigla	Unidade	Método	Referência
Potencial hidrogeniônico (água)	pH Água	-		Embrapa (2009)
Fósforo	P	mg/kg	Extrator: Mehlich-1	Embrapa (2009)
Potássio	K	mg/kg	Extrator: Mehlich-1	Embrapa (2009)
Hidrogênio + alumínio	H+Al	mg/kg	Extrator: Solução Tampão SMP	Embrapa (2009)
Matéria Orgânica	MO	mg/kg	Extrator: Dicromato de Sódio e Ácido Sulfúrico	Embrapa (2009)
Cobre	Cu	mg/kg	Extrator: Solução de DTPA a pH 7,3	Embrapa (2009)
Ferro	Fe	mg/kg	Extrator: Solução de DTPA a pH 7,3	Embrapa (2009)
Manganês	Mn	mg/kg	Extrator: Solução de DTPA a pH 7,3	Embrapa (2009)

Soma de Bases	SB	mg/kg	Soma de Ca; Mg; K; Na	Embrapa (2009)
Areia Total	-	%	Granulometria	Embrapa (2009)

238 *Nota: Detalhes dos métodos podem ser obtidos pelo laboratório LABRAS, Análises Ambientais*
 239 *e Agrícolas ou pelo protocolo da Embrapa (2009).*

240

241 **Análise da paisagem**

242

243 As variáveis da paisagem nos 13 locais amostrados basearam-se em categorias de uso e
 244 cobertura do solo. Através do ArcGis 10.1 realizamos a delimitação da bacia hidrográfica e da
 245 rede de drenagem. Efetuamos essas delimitações à montante do local estudado. Extraímos a
 246 rede de drenagem a partir de dados do Modelo Digital de Elevação – SRTM (Shuttle Radar
 247 Topograph Mission), com resolução espacial de 30 metros.

248 Adquirimos o modelo de forma gratuita no endereço eletrônico do Serviço Geológico
 249 Americano (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Em seguida, refinamos e revisamos a rede
 250 de drenagem utilizando imagens de satélite e imagens procedentes do software Google Earth
 251 de 2008 (<http://earth.google.com>). A identificação dos usos e coberturas do solo ocorreu através
 252 do Processamento Digital de Imagens (PDI) e do sensor ótico REIS (RapidEye Earth Imaging
 253 System). As imagens RapidEye são de uso comercial, no entanto, os dados foram adquiridos
 254 de maneira gratuita com finalidade de pesquisas no endereço eletrônico do MMA (Ministério
 255 do Meio Ambiente) (<http://geocatalogo.mma.gov.br/>). Para cada buffer 30 m, 60 m, 90 m, 120
 256 m e 150 m, estipulamos 30 a 150 metros laterais no ponto de coleta, e ao longo da rede de
 257 drenagem corremos 300 m à montante e 300 m à jusante, totalizando 600 metros, e isso foi
 258 repetido para cada riacho. O uso do padrão lateral de correlação parcial entre 30 m e 300 m,
 259 mostra que a dimensão lateral mais próxima do riacho apresenta correlação mais forte. No
 260 entanto, para as análises utilizamos o buffer de 150 m, de acordo com o método utilizado por
 261 (Frimpong *et al.* 2005), devido à correlação diminuir longe do riacho, nivelando a 150 m.

262 O período das imagens foi de 2014, 2015 e 2016, períodos em que as mesmas estão
263 disponíveis para esta área de estudo. Nesta busca adquirimos 6 cenas do sensor REIS. Após
264 serem adquiridas e ortoretificadas em sistema de coordenadas geográficas projetadas no
265 DATUM geodésico SIRGAS 2000, as imagens foram submetidas à correção atmosférica,
266 processo que mitiga os efeitos da atmosfera sobre a resposta espectral dos alvos nas cenas e
267 converte os valores dos pixels de número digital para reflectância. Esse processamento foi
268 realizado no software PCI Geomatics 2015, empregando o módulo ATCOR Ground
269 Reflectance. Em seguida, foi feita a correção atmosférica das imagens e realizado o mosaico
270 das cenas RapidEye no módulo OrtoEngine do PCI Geomatics. O mosaico RapidEye foi
271 submetido à classificação orientada ao objeto, utilizando o software Ecognition 9. A validação
272 da classificação foi efetuada com imagens do TerraClass 2014 disponibilizadas pelo Instituto
273 Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Almeida *et al.* 2016). As categorias de usos e
274 coberturas do solo identificadas para este estudo foram: áreas com florestas, que são as áreas
275 recobertas por vegetação florestal; regeneração da floresta, correspondentes a pastos
276 abandonados, ou mesmo áreas dentro da empresa utilizadas para recuperação florestal; solo
277 exposto, onde foi realizada a remoção total da floresta para construção civil; áreas urbanas, com
278 influência antrópica e crescimento industrial; indústria de refino, que corresponde ao
279 processamento da bauxita; e água (lagos/córregos e lagoas de resíduos).

280

281 **Ecofisiologia de plantas**

282 *Atributos Morfológicos*

283

284 Mensuramos três características morfológicas foliares, sendo elas, LA, SLA e LDMC.
285 Para mensuração de todos os atributos, seguimos os protocolos propostos em Pérez-
286 Harguindeguy *et al.* (2013). Em cada local de amostragem, coletamos três indivíduos de cada

287 espécie. Em campo, colocamos as amostras em sacos plásticos e borrifamos água para
288 minimizar a desidratação. Posteriormente, selecionamos três (3) folhas por indivíduo. As
289 mesmas folhas pesamos em balança de precisão digital (Precisão: 0,1 mg) para obter valores de
290 peso fresco e fotografamos para determinação da área foliar, utilizando o software livre ImageJ
291 (Abramoff *et al.* 2004). Em seguida, no Laboratório de Ecologia de Produtores Primários
292 (ECOPRO), localizado no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará,
293 secamos as folhas em estufa a 65° por 72 horas. As folhas secas foram pesadas em uma balança
294 digital.

295 Os valores da área foliar específica (SLA) foram obtidos após a mensuração da massa
296 seca, por meio da equação: $SLA = \text{área foliar} / \text{massa seca}$. O teor de massa seca das folhas
297 (LDMC) foi calculado como a razão entre a massa seca e a massa fresca: $LDMC = \text{massa seca}$
298 $/ \text{massa fresca}$ (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013).

299

300 *Atributos integradores do funcionamento foliar*

301

302 Foram avaliados os atributos integradores do funcionamento foliar das espécies
303 estudadas, para isso, mensuramos o potencial hídrico das plantas e para a construção das curvas
304 pressão-volume, também seguimos os protocolos propostos em Pérez-Harguindeguy *et al.*
305 (2013) com o auxílio de uma câmara de pressão ou bomba de *Scholander* (Fig.2). Realizamos
306 essas medidas em três indivíduos por espécie em cada fragmento do estudo. Os valores foram
307 expressos em megapascal (MPa).

308



309

310 **Figura 2.** Câmara de pressão ou bomba de *Scholander*. Instrumento utilizado para as medidas
311 de potencial hídrico e construção das curvas pressão-volume.

312

313 Medimos três características fisiológicas extraídas das curvas p-v, sendo elas, potencial
314 osmótico no turgor máximo (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}), e módulo de elasticidade
315 da parede (ϵ) (Fig. 2). As mensurações foram feitas em duas campanhas, no período chuvoso
316 (dezembro), e no período com menor incidência de chuvas (maio). Para construção destas
317 curvas, retiramos duas folhas de cada indivíduo (3 indivíduos por espécie) para medir
318 repetidamente o potencial hídrico foliar e o peso correspondente (g). Realizamos esse
319 procedimento até que a massa da folha não oscilasse mais (Fig. 3). Os valores foram expressos
320 em megapascal (MPa).



321

322 **Figura 3.** Mensuração do potencial hídrico foliar para construção de curvas p-v com o auxílio
323 da Câmara de pressão.

324

325 **Análise de dados**

326

327 Para alcançar o objetivo (I), se ocorrem variações nas características químicas e físicas
328 dos solos entre a paisagem e os fragmentos estudados, realizamos uma análise de componente
329 principal (PCA) com os dados de paisagem e solo, para a análise utilizamos os valores
330 individuais das variáveis em cada local amostrado em cada campanha e selecionamos os dois
331 primeiros eixos que explicavam melhor a PCA, utilizando o critério de *broken-stick* (Legendre
332 & Legendre, 2012).

333 Para responder o objetivo (II), se a disponibilidade de recursos e alterações na paisagem
334 influenciam nas características funcionais das espécies, utilizamos uma regressão múltipla com
335 seleção de modelo *forward stepwise* (Blanchet *et al.* 2008). Essa análise seleciona as variáveis

336 a partir de uma matriz ambiental. Realizamos a análise para cada um dos atributos estudados.
337 Cada um dos atributos funcionais foi considerado como variável resposta. Seleccionamos como
338 variáveis explicativas dados da paisagem e do solo, sendo eles: cobertura de dossel, floresta,
339 regeneração da floresta, indústria de refino, potássio (K), pH da água, acidez
340 potencial/Hidrogênio+Alumínio (H+Al), matéria orgânica (M.O), ferro (Fe), e areia total. O
341 critério de escolha das variáveis explicativas, foi a partir das que apresentaram maior associação
342 com os principais eixos da PCA.

343 Para responder à pergunta (III), se espécies de diferentes grupos funcionais diferem na
344 variação intraespecífica em resposta ao ambiente, calculamos o coeficiente de variação (CV)
345 para cada espécie e atributo, essa medida de variação é realizada quando um conjunto de dados
346 apresenta unidades de medida diferentes. Em seguida, utilizamos uma análise de variância
347 ANOVA de um fator com teste de Tukey a posteriori com os CVs para comparação entre os
348 pares. Quando necessário os dados foram transformados para cumprir os pressupostos de
349 normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Para todas as análises, usamos
350 o software R (R Development Core team 2019).

351

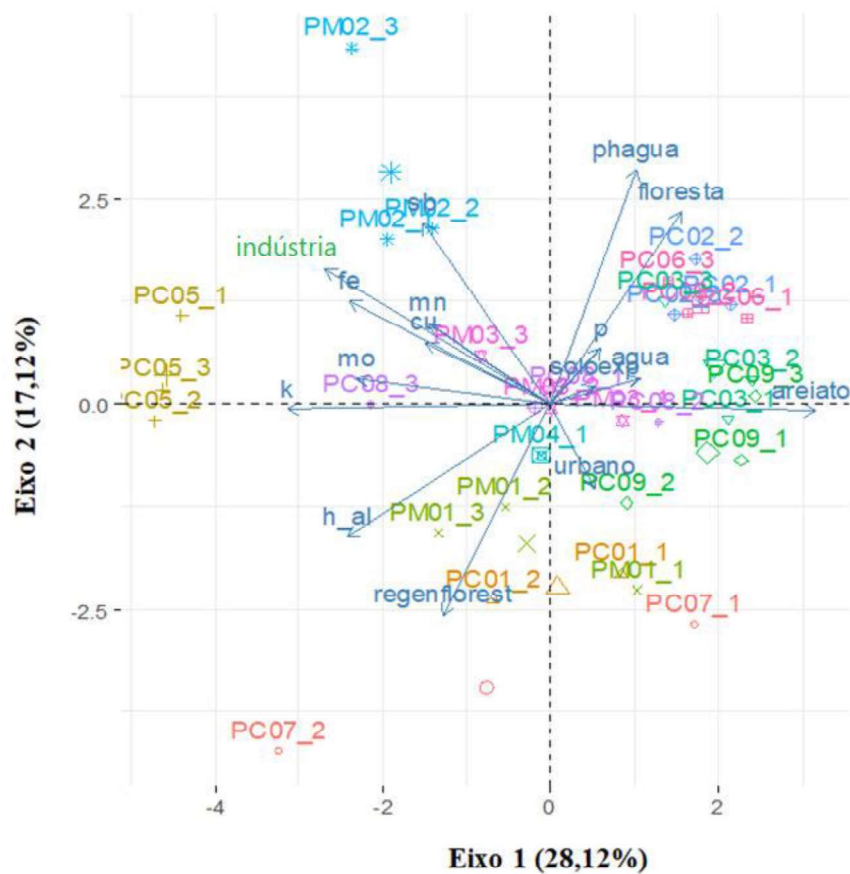
352 **RESULTADOS**

353 *Variáveis da paisagem e solo*

354

355 Os dois primeiros eixos da PCA, com as variáveis da paisagem e do solo das áreas
356 amostradas, explicaram juntos 45,24% da variação total dos dados (Fig. 4 e Tab. 3). O primeiro
357 eixo explicou 28,12% e as variáveis com maior associação ao eixo referem-se às variáveis do
358 solo. Está relacionado positivamente com a areia total e negativamente com as variáveis
359 potássio (K), acidez potencial (H-Al), matéria orgânica (M.O), ferro (Fe) e indústria de refino.
360 O segundo eixo explicou 17,12%, o qual está relacionado positivamente às variáveis floresta,

361 pH - água e soma de bases (Sb), e negativamente à regeneração da floresta. Observa-se que os
 362 fragmentos PC02 e PC06 estão mais associados à floresta e pH – água. Os fragmentos PC03 e
 363 PC09 estão mais relacionados à areia total, e o PC05 mais associado ao potássio (K). Já o PM02
 364 está mais relacionado com indústria de refino, ferro (Fe), e soma de bases (Sb).
 365



366
 367 **Figura 4.** Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando a ordenação dos dados de
 368 paisagem e solo para os locais estudados em Barcarena, Pará, Brasil.

369
 370 **Tabela 3.** Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando as correlações
 371 das variáveis com os eixos da PCA.

Variáveis	Eixo1	Eixo2
Floresta	0,4358992	0,65178937
Regeneração-floresta	-0,3582224	-0,7167221
Solo exposto	0,1457859	0,0598861

Urbano	0,149449	-0,28348472
Indústria	-0,7508825	0,46140497
Água	0,297452	0,08918603
pH-água	0,2858414	0,79406063
P	0,1644534	0,18941222
K	-0,8748559	-0,01652792
H-Al	-0,6747442	-0,45236876
M.o	-0,644925	0,08550533
Cu	-0,4155628	0,20948287
Fe	-0,6678883	0,3487304
Mn	-0,4055907	0,27461765
Sb	-0,4217205	0,61375972
Areia total	0,88241	-0,0224176
Autovalor	4,499319667	2,740064028
Broken_Stick	3,380728993	2,380728993

372

373 *Relação das características funcionais das espécies e as variáveis de cobertura de dossel,*
374 *paisagem e solo*

375

376 *Bactris hirta* Mart.

377

378 Em relação aos atributos morfológicos foliares, para a espécie *Bactris hirta*, a variação
379 da área foliar relacionou-se negativamente as variáveis ferro (Fe) e regeneração da floresta ($R^2=$
380 $0,191$; $F= 3,530$; $p<0,027$) (Tab. 4). O SLA não está relacionado com as variáveis selecionadas
381 para o estudo ($R^2= 0,001$; $F= 1,0543$; $P= 0,312$). Para o LDMC o melhor modelo relacionou-se
382 negativamente com a matéria orgânica (M.O) e positivamente com acidez potencial (H-Al) e
383 indústria de refino ($R^2=0,183$; $F= 2,433$; $p=0,060$) (Tab. 4).

384

385 **Tabela 4.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
 386 paisagem e solo sobre a área foliar (LA) e conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) em *Bactris*
 387 *hirta*. As variáveis em negrito representam efeito significativo sobre os atributos analisados.
 388

Área foliar (LA)				
LA	b*	Std.Err. of b*	t(29)	p-value
Intercept			3,14133	0,003853
Fe	-0,530959	0,194096	-2,73555	0,010514
Regen floresta	-0,937200	0,360719	-2,59815	0,014578
Floresta	-0,488170	0,334119	-1,46107	0,154748

Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC)				
LDMC	b*	Std.Err. of b*	t(27)	p-value
Intercept			2,89175	0,007479
M.O	-1,95056	0,607017	-3,21336	0,003384
H-Al	1,66060	0,559240	2,96940	0,006193
Indústria	0,76141	0,266562	2,85640	0,008145
Cobert dossel	-0,22202	0,179660	-1,23580	0,227177
Fe	-0,19711	0,181309	-1,08716	0,286576

390
 391 Em relação aos atributos integradores, para a *Bactris hirta*, o Ψ_{SFT} apresentou uma
 392 relação positiva apenas com o ferro (Fe) ($R^2= 0,485$; $F= 6,981$; $p<0,003$) (Tab. 5). A variação
 393 do Ψ_{TLP} foi explicado somente pelo ferro com um efeito significativo positivo ($R^2= 0,382$; $F=$
 394 $4,920$; $p<0,013$) (Tab. 5). Já o modelo que melhor explicou a variação do módulo de
 395 elasticidade apresentou efeito com cobertura de dossel, indústria de refino, acidez potencial (H-
 396 Al) e ferro (Fe), ($R^2= 0,459$; $F= 4,224$; $p<0,014$), sendo cobertura de dossel e ferro com efeito
 397 negativo sobre o mesmo (Tab.5).

398

399 **Tabela 5.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
 400 paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{SFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo

401 de elasticidade (ϵ) em *Bactris hirta*. As variáveis em negrito representam efeito significativo
 402 sobre os atributos analisados.

Potencial osmótico (Ψ_{sFT})				
Ψ_{sFT}	b*	Std.Err. of b*	t(16)	p-value
Intercept			-5,55583	0,000043
Fe	0,871087	0,195218	4,46213	0,000393
Cobert dossel	-0,352701	0,188063	-1,87544	0,079102
Regen floresta	0,336151	0,205678	1,63436	0,121703
Ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP})				
Ψ_{TLP}	b*	Std.Err. of b*	t(16)	p-value
Intercept			-5,17050	0,000093
Fe	0,722841	0,206804	3,49530	0,002993
Areia total	0,369686	0,209825	1,76188	0,097181
Cobert dossel	0,258556	0,185436	1,39431	0,182285
Módulo de elasticidade (ϵ)				
ϵ	b*	Std.Err. of b*	t(14)	p-value
Intercept			3,33280	0,004930
Cobert dossel	-0,731577	0,191600	-3,81825	0,001882
Indústria	0,535373	0,214095	2,50063	0,025436
H-AI	0,589788	0,226423	2,60481	0,020782
Fe	-0,512479	0,235011	-2,18066	0,046763
Floresta	0,387607	0,215075	1,80219	0,093080

403

404 *Calathea altissima* (Poepp. & Endl.) Körn.

405

406 A área foliar relacionou-se negativamente às variáveis matéria orgânica (M.O),
 407 regeneração da floresta e floresta em *Calathea altissima* ($R^2= 0,238$; $F= 3,937$; $p<0,005$). (Tab.
 408 6). Já para o SLA da *Calathea altissima*, a regeneração da floresta foi relacionada
 409 positivamente, e o potássio (K) apresentou efeito negativo sobre a mesma ($R^2= 0,245$; $F= 6,099$;

410 P<0,001) (Tab. 6). Para o LDMC o melhor modelo relacionou-se positivamente com a acidez
 411 potencial (H-Al), e negativamente com cobertura de dossel e potássio (K) (R²=0,157; F= 3,921;
 412 p<0,014) (Tab. 6).

413

414 **Tabela 6.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
 415 paisagem e solo sobre a área foliar (LA), área foliar específica (SLA) e conteúdo de matéria
 416 seca foliar (LDMC) em *Calathea altissima*. As variáveis em negrito representam efeito
 417 significativo sobre os atributos analisados.

418				
Área foliar (LA)				
LA	b*	Std.Err. of b*	t(42)	p-value
Intercept			4,74115	0,000025
M.O	-0,97247	0,471467	-2,06265	0,045365
Regen floresta	-1,57416	0,417105	-3,77402	0,000498
Floresta	-1,36444	0,393630	-3,46631	0,001230
K	-0,36587	0,202893	-1,80325	0,078527
H-Al	0,73640	0,457587	1,60931	0,115040
419				
Área foliar específica (SLA)				
SLA	b*	Std.Err. of b*	t(44)	p-value
Intercept			5,76254	0,000001
Regen floresta	0,511088	0,131599	3,68159	0,000630
K	-0,287623	0,135227	-2,12696	0,039067
Fe	0,246761	0,146679	1,68232	0,099591
420				
Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC)				
LDMC	b*	Std.Err. of b*	t(44)	p-value
Intercept			5,62611	0,000001
Cobert dossel	-0,433629	0,148167	-2,92663	0,005404
K	-0,501592	0,193883	-2,58709	0,013061
H-Al	0,402285	0,179829	2,23704	0,030399

421

422 Em relação aos atributos integradores, para a *Calathea altissima*, o Ψ_{sFT} relacionou-se
 423 negativamente a regeneração da floresta ($R^2= 0,225$; $F= 2,380$; $p=0,098$) (Tab. 7). A variação
 424 do Ψ_{TLP} foi explicado pela regeneração da floresta e cobertura de dossel com um efeito negativo
 425 ($R^2= 0,197$; $F= 3,342$; $p=0,059$) (Tab. 7). Já o modelo que melhor explicou a variação do
 426 módulo de elasticidade apresentou somente a variável ferro (Fe) com um efeito negativo ($R^2=$
 427 $0,605$; $F= 8,300$; $p<0,001$) (Tab. 7).

428

429 **Tabela 7.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
 430 paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo
 431 de elasticidade (ϵ) em *Calathea altissima*. As variáveis em negrito representam efeito
 432 significativo sobre os atributos analisados.

433				
Potencial osmótico (Ψ_{sFT})				
Ψ_{sFT}	b*	Std.Err. of b*	t(15)	p-value
Intercept			1,39972	0,181939
Regen floresta	-1,75218	0,671496	-2,60936	0,019728
Areia	-0,86993	0,416749	-2,08741	0,054326
Fe	-0,46117	0,335119	-1,37613	0,188981
Floresta	-0,70681	0,552098	-1,28023	0,219910
434				
Ponto de perda de turgor(Ψ_{TLP})				
Ψ_{TLP}	b*	Std.Err. of b*	t(17)	p-value
Intercept			-0,75103	0,462905
Regen floresta	-0,391936	0,207061	-1,89285	0,075531
Cobert dossel	-0,313521	0,207061	-1,51415	0,148358
435				
Módulo de elasticidade (ϵ)				
ϵ	b*	Std.Err. of b*	t(15)	p-value
Intercept			0,88122	0,392100
K	0,449089	0,268943	1,66983	0,115684
Fe	-0,513634	0,173314	-2,96361	0,009662

Indústria	0,280379	0,162289	1,72765	0,104576
H-Al	0,272127	0,269726	1,00890	0,329021

436

437 ***Tetracera* sp.**

438

439 Para a *Tetracera* sp., o modelo que melhor explicou a variação dos dados de área foliar
 440 estava relacionado ao ferro (Fe), indústria de refino, cobertura de dossel, floresta e potássio (K)
 441 ($R^2= 0,444$; $F= 6,206$; $P<0,001$). Dentre essas variáveis, o ferro (Fe), floresta e potássio (K)
 442 apresentaram um efeito negativo sobre a área foliar (Tab. 8). A variação da SLA relacionou-se
 443 positivamente com a cobertura de dossel, e negativamente com a indústria de refino ($R^2= 0,242$;
 444 $F= 5,155$; $P<0,004$) (Tab. 8). Já o melhor modelo para explicar a variação do LMDC apresentou
 445 as variáveis matéria orgânica (M.O), ferro (Fe), acidez potencial (H-Al), indústria de refino e
 446 floresta. A matéria orgânica e o ferro apresentaram um efeito significativo negativo sobre o
 447 LMDC ($R^2= 0,341$; $F= 5,037$; $P<0,001$) (Tab. 8).

448

449 **Tabela 8.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
 450 paisagem e solo sobre a área foliar (LA), área foliar específica (SLA) e conteúdo de matéria
 451 seca foliar (LDMC) em *Tetracera* sp. As variáveis em negrito representam efeito significativo
 452 sobre os atributos analisados.

453

Área foliar (LA)				
LA	b*	Std.Err. of b*	t(33)	p-value
Intercept			3,33694	0,002107
Fe	-0,41690	0,140786	-2,96121	0,005641
Indústria	1,23401	0,268150	4,60195	0,000059
Regen floresta	-2,64287	0,546340	-4,83740	0,000030
Cobert dossel	0,70663	0,168261	4,19959	0,000190
Floresta	-2,35696	0,533988	-4,41389	0,000103
K	-0,93670	0,281086	-3,33241	0,002133

Área foliar específica (SLA)				
SLA	b*	Std.Err. of b*	t(36)	p-value
Intercept			-0,6883	0,866873
Cobertdosssel	0,334536	0,152918	2,18769	0,035268
Mineração	-0,559484	0,224124	-2,49631	0,017266
K	0,418401	0,217092	1,92730	0,061863
Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC)				
LDMC	b*	Std.Err. of b*	t(34)	p-value
Intercept			6,23743	0,000000
M.O	-1,24757	0,320981	-3,88675	0,000447
Fe	-0,49122	0,161377	-3,04393	0,004484
H-Al	0,81466	0,303391	2,68519	0,011125
Indústria	0,45275	0,168207	2,69163	0,010951
Floresta	0,45970	0,172325	2,66762	0,011616

454

455 Para *Tetracera* sp., o Ψ_{sFT} foi melhor explicado pela indústria de refino e acidez
456 potencial (H-Al) ($R^2= 0,341$; $F= 4,113$; $P<0,013$). Dentre essas variáveis a acidez potencial
457 apresentou um efeito significativo negativo sobre o atributo (Tab. 9). O Ψ_{TLP} relacionou-se
458 positivamente com a indústria de refino ($R^2= 0,276$; $F= 2,836$; $P<0,044$) (Tab. 9). Já o modelo
459 que melhor explicou a variação do módulo de elasticidade apresentou a regeneração da floresta
460 e o potássio (K) ($R^2= 0,105$; $F= 1,947$; $P= 0,152$), com um efeito negativo sobre esse atributo
461 (Tab. 9).

462

463 **Tabela 9.** Regressão múltipla relacionando o efeito das variáveis de cobertura de dossel,
464 paisagem e solo sobre o potencial osmótico (Ψ_{sFT}), ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e módulo
465 de elasticidade (ϵ) em *Tetracera* sp. As variáveis em negrito representam efeito significativo
466 sobre os atributos analisados.

Potencial osmótico (Ψ_{sFT})

Ψ_{sFT}	b*	Std.Err. of b*	t(20)	p-value
Intercept			-3,41821	0,002724
Indústria	0,452508	0,170405	2,65548	0,015184
H-AI	-0,611454	0,211630	-2,88927	0,009069
Cobert dossel	0,350231	0,176739	1,98162	0,061435
Regen floresta	0,313267	0,213383	1,46810	0,157630
Ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP})				
Ψ_{TLP}	b*	Std.Err. of b*	t(19)	p-value
Intercept			-3,75765	0,001333
Floresta	0,180848	0,214183	0,84436	0,408973
Indústria	0,619686	0,271004	2,28663	0,033867
Cobert dossel	0,379582	0,195286	1,94372	0,066891
M.O	-0,261297	0,192346	-1,35848	0,190224
Areia	0,290963	0,283693	1,02562	0,317950
Módulo de elasticidade(ϵ)				
ϵ	b*	Std.Err. of b*	t(21)	p-value
Intercept			2,46638	0,022340
Regen floresta	0,741321	0,311715	2,37820	0,026969
K	-0,799266	0,380972	-2,09797	0,048186
M.O	0,373606	0,268061	1,39374	0,177973

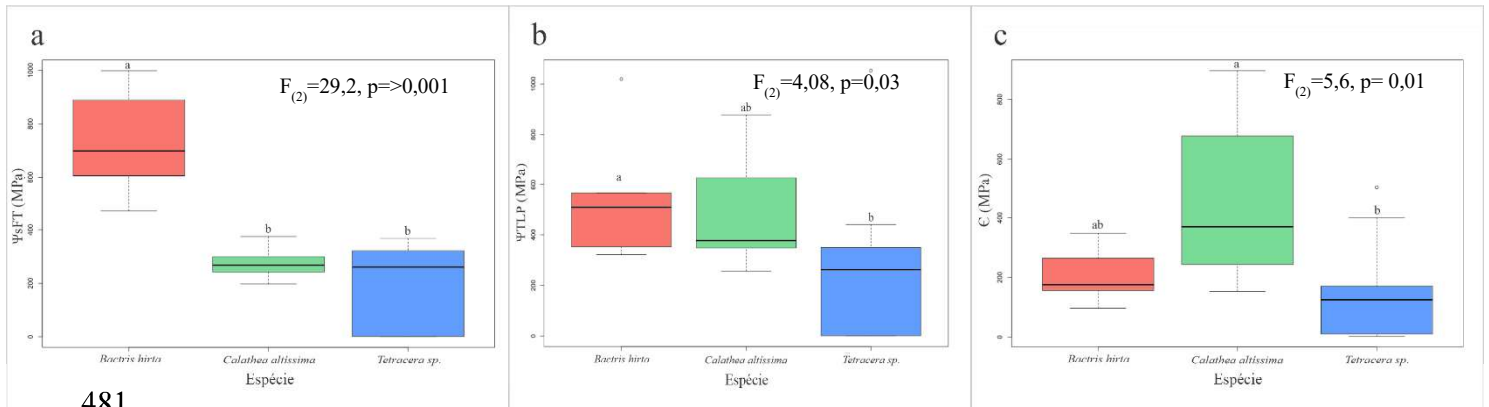
467

468 469 **Varição nos atributos morfológicos e integradores do funcionamento foliar**

470 O coeficiente de variação (CV) dos atributos morfológicos (LA: $F_{(2)} = 1,4$; $p = 0,2$, SLA:
471 $F_{(2)} = 0,2$; $p = 0,7$ e LDMC: $F_{(2)} = 0,6$; $p = 0,5$) não diferiu entre as espécies para este estudo,
472 indicando variação intraespecífica similar entre elas.

473 Já em relação aos atributos integradores do funcionamento foliar, os grupos funcionais
474 diferiram significativamente no coeficiente de variação. A espécie *Bactris hirta* apresentou
475 maior CV no potencial osmótico (Ψ_{sFT}), diferindo das outras espécies (Fig. 5a). Assim como

476 *Bactris hirta* e *Calathea altissima* apresentaram maior CV no ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP})
 477 em relação a *Tetracera* sp., porém só houve diferença entre *Bactris* e *Tetracera* sp. (Fig. 5b).
 478 Para o módulo de elasticidade (ϵ) *Calathea altissima* foi a espécie que apresentou maior CV
 479 com diferença significativa em relação à *Tetracera* sp. (Fig. 5c). Considerando todos os
 480 atributos integradores, a liana (*Tetracera* sp.) apresentou a menor variação intraespecífica.



482 **Figura 5.** Variação nos atributos integradores, Potencial osmótico no turgor máximo (Ψ_{sFT}
 483 (MPa)) (a), Ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP} (MPa)) (b), e Elasticidade da parede celular (ϵ
 484 (MPa)) (c) entre as espécies analisadas. Letras diferentes indicam resultados significativamente
 485 diferentes.

486

487 DISCUSSÃO

488

489 De acordo com nossos resultados, a hipótese (i) não foi corroborada, os fragmentos
 490 estudados apresentaram bastante homogeneidade nas características químicas e físicas do solo
 491 e na paisagem, indicando que não há um gradiente expressivo de disponibilidade de recursos
 492 nessas áreas. Em relação à hipótese (ii), a mesma foi parcialmente corroborada, pois os atributos
 493 das plantas responderam aos fatores edáficos e as alterações na paisagem. No entanto, tanto os
 494 atributos morfológicos como os integradores do funcionamento foliar relacionaram-se mais aos
 495 fatores químicos do solo e a paisagem e não com as variáveis granulométricas, que estariam
 496 mais relacionadas à capacidade de retenção de água no solo. A hipótese (iii) também foi
 497 parcialmente corroborada, uma vez que as espécies apresentaram variação semelhante para os
 498 atributos morfológicos foliares. No entanto, para os atributos integradores do funcionamento
 499 foliar, a espécie herbácea e a palmeira apresentaram maior variação intraespecífica quando

500 comparadas a liana, o que pode ser um indicativo de maior capacidade em responder a
501 mudanças ambientais.

502 Os solos Amazônicos, de maneira geral, são bem drenados e sofrem muita influência
503 das oscilações de marés. Poucas regiões brasileiras possuem uma influência tão marcante dos
504 regimes hidrológicos fluviais e marinhos nos solos quanto a Amazônia (Schaefer *et al.* 2017).
505 Isso é particularmente importante na região estudada em Barcarena, onde a oscilação do nível
506 do rio influencia diretamente no volume e características da água nos cursos d'água e,
507 conseqüentemente nos solos ao redor destes (Schaefer *et al.* 2017). Por isso, alterações nos
508 elementos minerais nos cursos d'água decorrentes de atividades antrópicas, como
509 beneficiamento da alumina e outros poderiam influenciar na disponibilidade de nutrientes e
510 metais nos solos. No entanto, as áreas mostraram-se bastante homogêneas em relação às
511 variáveis químicas e físicas do solo.

512

513 ***Fatores edáficos, paisagem e os atributos funcionais foliares***

514

515 Em relação à segunda hipótese proposta, corroboramos que a disponibilidade de
516 recursos no solo e variáveis da paisagem influenciam nas características foliares das espécies.
517 No entanto, diferente do que esperávamos, tanto os atributos morfológicos, como os
518 integradores do funcionamento foliar estavam relacionados a variáveis químicas (e.g. Fe, K,
519 matéria orgânica (M.O) e pH) e variáveis da paisagem (cobertura de dossel, regeneração da
520 floresta, floresta e indústria de refino.

521 Globalmente, no espectro de economia foliar (Wright *et al.* 2004), reconhece-se o papel
522 de alguns nutrientes para a produtividade dos ecossistemas, no qual mostra-se uma relação
523 global positiva do fósforo com a SLA e negativa com o LDMC (Wright *et al.* 2004). No entanto,
524 em escalas menores, ainda há incertezas em relação aos fatores que podem influenciar na
525 variação dos atributos funcionais. Isso é agravado nesse contexto de mudanças climáticas e
526 antrópicas que podem afetar o ambiente e a disponibilidade de nutrientes com efeitos ainda
527 incertos sobre o funcionamento das plantas (Gong & Gao, 2019).

528 A área foliar em *Bactris hirta* e *Tetracera* sp. apresentou uma relação negativa com o
529 Fe. A absorção de Fe pelas plantas é metabolicamente controlada, além disso, o ferro é um
530 elemento considerado imóvel no ambiente. O pH do solo influencia na disponibilidade desse e
531 de outros nutrientes minerais para as plantas (Taiz *et al.* 2017). O pH ácido dos solos
532 amazônicos pode influenciar na solubilização do Fe, podendo explicar a relação negativa entre

533 o Fe e área foliar. O aumento da área foliar aumenta a área transpiracional, o que interfere na
534 absorção dos minerais essenciais. Portanto, um aumento da área, pode contribuir para um
535 aumento na absorção de elementos por fluxo de massa (Taiz *et al.* 2017).

536 O conteúdo de matéria orgânica nos solos influenciou nos atributos morfológicos em
537 todas as espécies estudadas. O LDMC de *Bactris hirta* e da *Tetracera* sp., apresentou uma
538 relação negativa com a matéria orgânica (MO). A alta quantidade de MO é uma característica
539 muito importante nos solos Amazônicos (Cleveland *et al.* 2011). Um dos fatores relacionados
540 à alta produtividade da floresta Amazônica refere-se à eficiente ciclagem da MO (Cleveland *et*
541 *al.* 2011). Portanto, manter a alta disponibilidade de matéria orgânica é fundamental para
542 manter a funcionalidade da floresta, ciclando os nutrientes chave para manter a produtividade
543 da floresta (Cleveland *et al.* 2011). O LDMC está relacionado ao investimento em carbono e
544 longevidade foliar (Wright *et al.* 2004; Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). Geralmente, em
545 ambientes com menor disponibilidade de recursos, as espécies tendem a apresentar menor SLA
546 e maior LDMC (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). Essa relação foi observada nesse estudo, no
547 qual, fragmentos com menor disponibilidade de MO apresentaram um maior LDMC,
548 reforçando o importante papel da MO na ciclagem e disponibilização de nutrientes nas florestas
549 tropicais.

550 O LDMC apresentou relação positiva com a acidez do solo neste estudo, no qual, quanto
551 maior a acidez do solo, maior a capacidade de investimento de carbono para construção foliar.
552 Os solos nos trópicos tendem a ser naturalmente ácidos (Schaefer *et al.* 2017; Lambers *et al.*
553 2008), e um dos principais fatores que diminuem o pH do solo é a decomposição da matéria
554 orgânica, esse processo natural de decomposição é muito importante para a ciclagem dos
555 elementos e libera íons H⁺ no solo, contribuindo para a sua acidez (Schaefer *et al.* 2017; Taiz
556 *et al.* 2017; Lambers *et al.* 2008). Um pH ácido indica quantidades altas de alumínio,
557 aumentando a solubilidade do alumínio e manganês no solo (Lambers *et al.* 2008), a acidez do
558 solo é um problema específico em regiões tropicais, onde os solos apresentam altas taxas de
559 intemperismo, e com isso tendem a fixar fortemente alguns elementos minerais essenciais às
560 plantas, o que os tornam, geralmente, indisponíveis para as raízes. O pH do solo influencia na
561 disponibilidade de todos os nutrientes minerais, o mesmo determina a disponibilidade de
562 nutrientes no solo (Taiz *et al.* 2017). Por isso, em pH mais ácidos, pode haver uma limitação
563 nutricional, o que pode ter resultado no maior LDMC. Geralmente espécies com maior LDMC
564 apresentam maior longevidade foliar e os nutrientes apresentam maior tempo de retenção
565 (Wright *et al.* 2004; Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013).

566 Nossos resultados sugerem que estas plantas estão apresentando uma estratégia mais
567 conservativa no uso de recursos, ou seja, apresentam maior taxa de retenção dos nutrientes,
568 visto que em solos ácidos, além do fósforo e o nitrogênio, o ferro o potássio e outros, são
569 limitantes. Jager *et al.* (2015), em um estudo realizado na Nova Zelândia, mostrou que em solos
570 ácidos, e conseqüentemente de baixa fertilidade, os indivíduos apresentaram folhas com menor
571 SLA, maior LDMC e possível maior longevidade, pois solos com baixa fertilidade podem
572 induzir expressivas limitações de nutrientes para o desenvolvimento vegetal. O estudo mostra
573 que espécies que se desenvolvem em solos empobrecidos, são significativamente mais
574 eficientes na reabsorção de nutrientes, e com isso, são mais conservadoras no uso de recursos.

575 A SLA na *Calathea altissima*, apresentou relação negativa com o potássio (K). O
576 potássio é um dos elementos essenciais para as plantas, e essa relação negativa pode ser um
577 indicativo de uma estratégia para aquisição de nutrientes do solo, pois quanto menor a
578 disponibilidade de K, maior será o investimento em SLA, corroborando com os resultados que
579 encontramos para o LDMC (discutido acima). Por exemplo, quando ocorre a diminuição de
580 potássio, podem ocorrer limitações no desenvolvimento vegetal (Costa & Zocche 2009), e essas
581 plantas precisarão de estratégias para investir em suas taxas de crescimento. Geralmente solos
582 mais antigos apresentam uma menor disponibilidade de P e K, se comparados a solos mais
583 jovens (Delpiano *et al.* 2020), uma vez que esses solos estão sofrendo as ações do intemperismo
584 em longas escalas de tempo, no qual, a argila e alguns elementos essenciais para as plantas
585 foram lixiviados, podendo limitar a produtividade do ecossistema (Lambers *et al.* 2008).

586 Já os atributos integradores do funcionamento foliar, na meta análise global apresentada
587 por (Bartlett *et al.* 2012), estão relacionados à disponibilidade de água no ambiente, no qual
588 ambientes mais secos tendem a apresentar um ponto de perda de turgor mais negativo (Bartlett
589 *et al.* 2012; 2014). As variáveis físicas do solo relacionam-se a capacidade de retenção de água,
590 mas trata-se de uma medida indireta (Reinert & Reichert 2006). Nossos resultados apresentaram
591 uma relação negativa com a cobertura de dossel e regeneração da floresta, quanto menor a
592 cobertura de dossel e regeneração florestal, menor foi o ponto de perda de turgor (Ψ_{TLP}) e
593 potencial osmótico (Ψ_{SFT}). Áreas com uma menor cobertura de dossel pode apresentar uma
594 maior evapotranspiração, assim, essas plantas precisam manter potenciais mais negativos. Com
595 a menor cobertura de dossel, a incidência solar no interior da floresta aumenta, assim como, a
596 demanda evaporativa das espécies. O contrário pode ser observado na relação positiva com a
597 porcentagem de floresta, ou seja, locais onde essa porcentagem de floresta foi maior, mais
598 positivo foi o potencial osmótico, o que pode estar relacionado ao microclima mais úmido

599 propiciado pela floresta, no qual as plantas não precisem manter potenciais muito negativos, o
600 que implicaria em risco no transporte hídrico, nessas condições.

601 A nossa terceira hipótese, onde esperávamos que a espécie herbácea apresentasse maior
602 variação intraespecífica em seus atributos comparado às plântulas de liana e palmeira, foi
603 parcialmente corroborada. As espécies estudadas, apresentaram variação em suas
604 características foliares, indicando a plasticidade das espécies. O coeficiente de variação (CV)
605 dos atributos morfológicos (LA, SLA e LDMC) não diferiu entre as espécies para este estudo.
606 Já o CV dos atributos integradores do funcionamento foliar diferiu entre as espécies, indicando
607 que algumas espécies são mais plásticas que outras.

608 A resposta funcional da *Bactris hirta* e *Calathea altissima* a fatores ambientais nesse
609 estudo, indica que estas apresentam maior variação (CV) em seus Ψ_{TLP} , Ψ_{sFT} e ϵ . Essa maior
610 variação intraespecífica sugere que essas espécies são as que irão responder mais a mudanças
611 nas condições ambientais e apresentam maiores chances de sobrevivência. Frequentemente, a
612 ocorrência de variação intraespecífica nos atributos funcionais pode estabelecer a persistência
613 de muitas espécies em locais com filtros ambientais expressivos (Maracahipes *et al.* 2018).

614

615 **CONCLUSÃO**

616

617 Os fragmentos de vegetação estudados apresentam uma homogeneidade nas
618 características físicas e químicas do solo. Os atributos das plantas respondem a uma relação
619 entre os atributos morfológicos e integradores do funcionamento foliar com os fatores químicos
620 e de paisagem. Conforme sugerido, as espécies herbáceas têm maior capacidade de responder
621 às mudanças ambientais, assim como outras espécies de crescimento intermediário, como as
622 palmeiras por exemplo, uma vez que nosso estudo indicou que os atributos integradores do
623 funcionamento foliar apresentam uma maior variação intraespecífica na espécie herbácea e
624 palmeira. Nossos resultados apresentam grande importância
625 para uma maior atenção no desenvolvimento dessas espécies, uma vez que poderão direcionar
626 as respostas ambientais, e com isso, contribuir para o estabelecimento de espécies futuras em
627 vista a mudanças nas condições ambientais.

628 Por fim, este estudo contribui para o conhecimento sobre os atributos funcionais das
629 plantas e como elas se relacionam com o meio ambiente, uma vez que existem variações nos
630 atributos morfológicos e integradores que podem indicar pequenas alterações nos ecossistemas
631 avaliados.

632

633 **REFERÊNCIAS**

634

635 Almeida CA, Coutinho AC, Esquerdo JCDM, *et al.* 2016. High spatial resolution land use and
636 land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and
637 MODIS data. *Acta Amazonica* 46(3): 291–302. <http://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>.

639 Amigo I. 2020. The Amazon's Fragile Future. *Nature*. Vol 578.
640 <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00508-4>.

641 Anderson MJ. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.
642 *Austral Ecology* 26(1): 32-46. <http://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>.

643 Anderson JT, Gezon ZJ. 2015. Plasticity in functional traits in the context climate change: a
644 case study of the subalpine forb *Boecherastricta* (Brassicaceae). *Global Change Biology*
645 21: 1689-1703. <http://doi:10.1111/gcb.12770>.

646 Angiospermas in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
647 Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128482>>.
648 Acesso em: 27 out. 2020.

649 Antunes MLP, Conceição FT, Toledo SP, Kiyohara PK. 2012. Bauxita e seu resíduo,
650 caracterização e estudo por microscopia eletrônica. 1º Congresso Latino-Americano de
651 Cerâmica. IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials.

652 Abramoff MD, Magalhaes PJ, Ram SJ. 2004. "Image Processing with ImageJ". *Biophotonics*
653 *International*. pp. 36-42.

654 Azevedo TF, Nascimento RS, Figueira BAM, Moreira TAS, Ferreira AP, Fernandes OJC. 2019.
655 Caracterização de rejeitos de lavagem de bauxita da Amazônia para produção de cimento
656 geopolímero ambientalmente sustentável. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de
657 Minérios e Metalurgia Extrativa Belo Horizonte-MG.

658 Bartlett MK, Scoffoni C, Sack L. 2012. The determinants of leaf turgor loss point and prediction
659 of drought tolerance of species and biomes: A global meta-analysis. *Ecology Letters*
660 15(5): 393-405. [http://doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01751.x](http://doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01751.x).

661 Bartlett MK, Zhang Y, Kreidler N. *et al.* 2014. Global analysis of plasticity in turgor loss point,
662 a key drought tolerance trait. *Ecology Letters* 17: 1580-1590. [http://doi:](http://doi:10.1111/ele.12374)
663 10.1111/ele.12374.

664 Blanchet FG, Legendre P, Borcard D. 2008. Modelling directional spatial processes in
665 ecological data. *Ecological Modelling* 215: 325-336.
666 <http://doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.04.001>.

667 Brodie J, Post E, Laurance WF. 2012. Climate change and tropical biodiversity: a new focus.
668 *Trends in Ecology and Evolution* 145-149. <http://doi:10.1016/j.tree.2011.09.008>.

669 Boeger MRT, Wisniewski C. 2003. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de
670 três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul
671 do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. p. 61–72.

672 Carmo MBS, Costa SMF. 2019. Estudo do crescimento urbano de uma pequena cidade na
673 Amazônia: Uma abordagem metodológica. *GeoFocus (Artículos)*, 23: 31-47.
674 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.537>.

675 Chagas MGS, Silva MD, Galvêncio JD, Pimentel RMM. 2009. Variações Foliares em Grupos
676 Funcionais Vegetais de uma Paisagem de Restinga, Pernambuco-Brasil. *Revista*
677 *Brasileira de Geografia Física*. p. 50-63.

678 Costa S, Zocche JJ. 2009. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na
679 região sul de Santa Catarina. *Rev. Árvore*, v.33, 4: 665-674.

680 Comissão pastoral da terra (CPT). 2018. Justiça e Ibama punem mineradora Hydro por
681 vazamento em Barcarena. Reportagem Catarina Barbosa. Portal Amazônia Real.

682 Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/publicacoes/noticias/conflitos-no->
683 [campo/4263-justica-e-ibama-punem-mineradora-hydro-por-vazamento-em-barcarena.](https://www.cptnacional.org.br/publicacoes/noticias/conflitos-no-campo/4263-justica-e-ibama-punem-mineradora-hydro-por-vazamento-em-barcarena)

684 Constantino VRL, Araki K, Silva DO, Oliveira W. 2002. Preparação de compostos de alumínio
685 a partir da bauxita: Considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento
686 didático. *Quimica Nova*. p. 490–498.

687 Chesson, P. 2000. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology,*
688 *Evolution and Systematics* 31: 343-366.

689 Cleveland, CC, Townsend, AR, Taylor, P. *et al.* 2011. Relationships among net primary
690 productivity, nutrients and climate in tropical rain forest: a pan-tropical analysis. *Ecology*
691 *Letters* 14: 939–947. <https://doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01658>.

692 Definiens AG. 2009. Developer User Guide. Definiens AG. Munich, Germany.

693 Delpiano CA, Prieto I, Loayza AP, Carvajal DE, Squeo FA. 2020. Different responses of leaf
694 and root traits to changes in soil nutrient availability do not converge into a community-
695 level plant economics spectrum. *Plant Soil*. 450:463–478.
696 <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04515-2>.

697 ESRI. 2014. Environmental Systems Research Institute – ESRI. ArcGIS 10.1. CA, USA:
698 Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands.

699 Embrapa. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª edição. Rio de
700 Janeiro.

701 Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG. *et al.* 2018. Compositional response of Amazon
702 forests to climate change. *Glob Change Biol* 25: 39–56. <http://doi: 10.1111/gcb.14413>.

703 Frimpong EA, Sutton TM, Lim KJ. *et al.* 2005. Determination of optional riparian forest buffer
704 dimensions for stream biota-landscape association models using multimetric and
705 multivariate responses. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 1–6. <https://doi: 10.1139/F05-020>.

706 Gonçalves KS, Castro HA, Hacon SS. 2012. As queimadas na região amazônica e o
707 adoecimento respiratório. Departamento de Endemias Samuel Pessoa, Escola Nacional
708 de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz.

709 González-Abraham C, Ezcurra E, Garcillán PP, Ortega-Rubio A, Kolb M, Creel JEB. 2015.
710 The human footprint in Mexico: Physical geography and historical legacies. PLoS ONE.
711 p. 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121203>.

712 Gong H, Gao J. 2019. Soil and climatic drivers of plant SLA (specific leaf area). *Global Ecology*
713 *and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00696>.

714 Gomes VHF, Vieira ICG, Salomão RP, Steege HT. 2019. Amazonian tree species threatened
715 by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*. p. 547–553.
716 <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>.

717 James JJ, Svejcar TJ, Rinella MJ. 2011. Demographic processes limiting seedling recruitment
718 in arid grassland restoration. *Journal of Applied Ecology*. p. 961–969. [https://doi:](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02009.x)
719 [10.1111/j.1365-2664.2011.02009.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02009.x).

720 Jager MM, Richardson SJ, Bellingham PJ, Clearwater MJ, Laughlin DC. 2015. Soil fertility
721 induces coordinated responses of multiple independent functional traits. *Journal of*
722 *Ecology* 103: 374–385. [https://doi: 10.1111/1365-2745.12366](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12366).

723 Lambers H, Oliveira RS. 2019. *Plant Physiological Ecology*. 3^a Ed.
724 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1>.

725 Lambers H, Chapin III FS, Pons TL. 2008. *Plant physiological ecology*. Second edition.
726 [http://doi: 10.1007/978-0-387-78341-3](http://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3).

727 Lambers H, Raven JA, Shaver GR, Smith SE. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change
728 with soil age. *Trends in Ecology and Evolution* Vol. 23 No. 2.
729 [http://doi:10.1016/j.tree.2007.10.008](http://doi.org/10.1016/j.tree.2007.10.008).

730 Legendre P, Legendre L. 2012. Numerical, L. L.; Science, E. Excerpt from Chapter 13 of : p.
731 23–24, 2012.

732 Lovejoy TI, Nobre C. 2018. Amazon Tipping Point. *Sci. Adv.* 4(2), eaat 2340.
733 <http://DOI:10.1126/sciadv.aat2340>.

734 Maracahipes L, Carlucci MB, Lenza E. 2018. How to live in contrasting habitats? Acquisitive
735 and conservative strategies emerge at inter- and intraspecific levels in savanna and forest
736 woody plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*.
737 <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2018.07.006>.

738 Medeiros AC, Faial, KRF, Faial, KCF. *et al.* 2017. Quality index of the surface water of
739 Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 123: 156–
740 164. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.002>.

741 Mello K, TaniwakiRH, De Paula FR.*et al.* 2020. Multiscale land use impactsonwaterquality:
742 Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental*
743 *Management* 270. 110879.

744 Milanez B. 2017. Mineração, ambiente e sociedade: Impactos complexos e simplificação da
745 legislação. *Boletim regional, urbano e ambiental* | 16 | jan.-jun.

746 Missio FF, Silva AC, Higuchi P. *et al.* 2017. Atributos funcionais de espécies arbóreas em um
747 fragmento de floresta ombrófila mista em Lages – SC. *Ciência Florestal*, Santa Maria, p.
748 215-224.

749 Muscarella R, Bacon CD, Faurby S. *et al.* 2018. Soil fertility and flood regime are correlated
750 with phylogenetic structure of Amazonian palm communities. *Annals of Botany* 123:
751 641–655. <http://doi: 10.1093/aob/mcy196>.

752 McLean EH, Prober SM, Stock WD. *et al.* 2014. Plasticity of functional traits varies clinally
753 along a rainfall gradient in *Eucalyptus tricarpa*. *Plant, cell and environment* 37: 1440-
754 1451. <http://doi: 10.1111/pce.12251>.

755 Nunes MH, Both S, Bongalov B. *et al.* 2019. Changes in leaf functional traits of rainforest
756 canopy trees associated with an El Niño event in Borneo. *Environ. Res. Lett.* 14 085005.
757 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2eae>.

758 Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E. *et al.* 2013. New handbook for standardised
759 measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61: 167-
760 234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>.

761 Pereira SF, Lima MA, Freitas KH, Mescouto CS, Saraiva AF. 2007. Estudo químico ambiental
762 do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio
763 *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science.* p. 62-82.
764 <https://doi:10.4136/ambi-agua.34>.

765 Piratoba ARA, Ribeiro HMC, Morales GP, Gonçalves WG. 2017. Caracterização de
766 parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente &*
767 *Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.* [https://doi:10.4136/ambi-](https://doi:10.4136/ambi-agua.1910)
768 [agua.1910](https://doi:10.4136/ambi-agua.1910).

769 Poorter L, Bongers, F. 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain
770 forest species. *Ecology* 87(7): 1733–1743.

771 Poorter L, Castilho CV, Schiatti J, Oliveira RS, Costa FRC. 2018. Can traits predict individual
772 growth performance? A test in a hyper diverse tropical forest. *New Phytologist* 219: 109–
773 121. <http://doi: 10.1111/nph.15206>.

774 R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R
775 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
776 Accessed september 2019.

777 RapidEye. 2015. Satellite imagery product specific cations. Retrieved February 20, 2016, from
778 <http://www.rapideye.de/>

779 Reich PB. 2014. The world-wide ‘fast–slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto.
780 Journal of Ecology 102: 275–301. <http://doi: 10.1111/1365-2745.12211>.

781 Reich PB, Wright IJ, Cavender-Bares J, Craine JM. *et al.* 2003. The evolution of plant
782 functional variation: traits, spectra, and strategies. *Int. J. Plant Sci.* 164(3):S143–S164.

783 Reinert DJ, Reichert JM. 2006. Propriedades físicas do solo. Departamento de solos, UFSM.
784 p.18.

785 Richmond H. 2007. PCI Geomatics Inc. PCI Geomatica version 10.1. Ontario - Canadá.

786 Rosado BHP, Mattos EA. 2007. Temporal variation of morphological leaf traits in ten species
787 from Restinga of Jurubatiba National Park, Macaé, Rio de Janeiro State, Brazil. *Acta bot.*
788 *bras.* 21(3): 741-752. 2007.

789 Silva Filho EB, Alves MCM, Da Motta M. 2007. Lama vermelha da indústria de
790 beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações
791 alternativas. *Revista Matéria.* p. 322–338. ISSN 1517-7076.

792 Sepe J, Salvador NNB. 2018. Impactos da mineração e conflitos pelo uso da Água com as
793 atividades agrícolas de pequeno porte. In: VIII Simpósio sobre reforma agrária e questões
794 rurais. Araraquara. NUPEDOR/UNIARA. p. 1-14.

795 Silva ML, Andrade MCK. 2017. Os impactos ambientais da atividade mineradora. *Caderno*
796 *Meio Ambiente e Sustentabilidade* – v.11 n.6.

797 Silva MC, Teodoro GS, Bragion EFA, Berg Evd. 2019. The role of intraspecific trait variation
798 in the occupation of sharp forest savanna ecotones. *Flora* 253(2019): 35–42.
799 <http://doi.org/10.1016/j.flora.2019.03.003>.

800 Silva PRB, Nora FED, Castro RJ, Wastowsk AD, Mauad FF. 2019. The environmental quality
801 of sediments of rivers near prospection areas of semiprecious rocks. *Environ Monit*
802 *Assess* 191: 364. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7456-6>.

- 803 Silva JMC, Tabarelli M. 2000. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic
804 forest of northeast Brazil. *Nature*. p. 72–74.
- 805 Souza AS, Kato OR, Freitas LS, Galvão JR. 2019. Propriedades e estoque de Carbono e
806 Nitrogênio do solo na Amazônia Oriental: Um Estudo de caso sobre os Sistemas de
807 Manejo. *Observatório de la economia Latino americana* ISSN: 1696-8352.
- 808 Schaefer CEGR, Lima HN, Texeira WG. *et al.* 2017. Solos da região Amazônica. Solos dos
809 Biomas Brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- 810 Steffen W, Richardson K, Rockström J. *et al.* 2015. Planetary boundaries: Guiding human
811 development on a changing planet. *Science* 347, 1259855. [https://DOI:
812 10.1126/science.1259855](https://doi.org/10.1126/science.1259855).
- 813 Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed.
814 Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates Publishers.
- 815 Veríssimo A, Rolla A, Vedoveto M, Futada SM. 2011. *Áreas protegidas na Amazônia*
816 *Brasileira: Avanços e desafios* IMAZON/ISA. edição Liana John.
- 817 Violle C, Navas ML, Vile D. *et al.* 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116 (5):
818 882-892. <http://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>.
- 819 Westoby M, Falster D, Moles A, Vesk P, Wright IJ. 2002. Plant ecological strategies: some
820 leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and*
821 *Systematics* 33: 125-59.
- 822 Wright IJ, Reich PB, Westoby M. *et al.* 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*
823 428: 821–827. 2. [http://doi: 10.1038/nature02403](http://doi.org/10.1038/nature02403).
- 824 Xie JB, Xu GQ, Jenerette GD, Bai Yf, Wang ZY, Li Y. 2015. Apparent plasticity in functional
825 traits determining competitive ability and spatial distribution: a case from desert.
826 *Scientific reports* 5: 12174. [http://DOI: 10.1038/srep12174](http://doi.org/10.1038/srep12174).

Area	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn	SB	t	V(%)	m(%)	C.O	Area	Tota		
0.89	0.14	-0.24	-0.22	-0.3	0.48	-0.2	-0.8	-0.76	-0.32	-0.2	0.07	-0.1	0.16	0.23	0.33	-0.1	0.66	-0.62	-0.3	0.3
1	-0	-0.39	-0.37	-0.2	0.47	-0.4	-0.8	-0.8	-0.55	-0.2	-0.1	0.15	0.14	0.25	-0.2	0.66	-0.52	-0.6	0.26	
-0.04	1	0.21	0.23	-0.1	-0.2	0.07	-0.1	-0.08	0.14	-0.2	0.36	-0.4	0	0.35	-0.2	-0.2	-0.14	0.02	0.14	0.12
-0.39	0.21	1	0.99	-0.1	-0.1	0.58	0.41	0.65	0.69	0.53	0.09	0.12	0.31	0.22	0.16	0.43	-0.24	-0.01	0.69	-0.59
-0.37	0.23	0.99	1	-0.1	-0.1	0.56	0.41	0.63	0.69	0.53	0.12	0.13	0.32	0.19	0.15	0.42	-0.25	0	0.69	-0.61
-0.19	-0.1	-0.11	-0.09	1	-0.2	-0.1	0.37	0.08	-0.03	0.06	0.19	0.05	0.15	-0.2	-0.2	0	-0.31	0.42	-0	-0.06
0.47	-0.2	-0.09	-0.1	-0.2	1	0.34	-0.6	-0.23	-0.01	0.05	0.04	0.09	0.27	0.17	0.94	0.65	0.93	-0.92	-0	0.01
-0.35	0.07	0.58	0.56	-0.1	0.34	1	0.13	0.55	0.67	0.21	0.25	0.18	0.52	0.36	0.65	0.78	0.14	-0.41	0.66	-0.27
-0.77	-0.1	0.41	0.41	0.37	-0.6	0.13	1	0.63	0.32	0.49	0.05	0.05	0.04	-0.4	-0.4	0.18	-0.71	0.72	0.32	-0.51
-0.8	-0.1	0.65	0.63	0.08	-0.2	0.55	0.63	1	0.7	0.35	-0.1	0.25	0.04	0.01	0.03	0.43	-0.47	0.26	0.7	-0.55
-0.55	0.14	0.69	0.69	-0	-0	0.67	0.32	0.7	1	0.42	0.01	0.27	0.01	0.08	0.25	0.47	-0.25	-0.02	1	-0.31
-0.24	-0.2	0.53	0.53	0.06	0.05	0.21	0.49	0.35	0.42	1	-0.3	0.19	0.09	-0.4	0.13	0.45	-0.1	0.09	0.42	-0.63
-0.06	0.36	0.09	0.12	0.19	0.04	0.25	0.05	-0.06	0.01	-0.3	1	-0	0.55	0.49	0.12	0.16	0.03	-0.1	0.01	-0.04
-0.07	-0.4	0.12	0.13	0.05	0.09	0.18	0.05	0.25	0.27	0.19	-0	1	0.09	-0.1	0.14	0.18	-0.04	-0.09	0.27	-0.48
0.15	-0	0.31	0.32	0.15	0.27	0.52	0.04	0.04	0.01	0.09	0.55	0.09	1	0.34	0.41	0.47	0.2	-0.27	0.01	-0.35
0.14	0.35	0.22	0.19	-0.2	0.17	0.36	-0.4	0.01	0.08	-0.4	0.49	-0.1	0.34	1	0.28	0.08	0.17	-0.41	0.08	0.2
0.25	-0.2	0.16	0.15	-0.2	0.94	0.65	-0.4	0.03	0.25	0.13	0.12	0.14	0.41	0.28	1	0.82	0.81	-0.89	0.25	-0.1
-0.21	-0.2	0.43	0.42	-0	0.65	0.78	0.18	0.43	0.47	0.45	0.16	0.18	0.47	0.08	0.82	1	0.43	-0.51	0.47	-0.43
0.66	-0.1	-0.24	-0.25	-0.3	0.93	0.14	-0.7	-0.47	-0.25	-0.1	0.03	-0	0.2	0.17	0.81	0.43	1	-0.9	-0.3	0.2
-0.52	0.02	-0.01	0	0.42	-0.9	-0.4	0.72	0.26	-0.02	0.09	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.9	-0.5	-0.9	1	-0	-0.1
-0.55	0.14	0.69	0.69	-0	-0	0.66	0.32	0.7	1	0.42	0.01	0.27	0.01	0.08	0.25	0.47	-0.25	-0.02	1	-0.31
0.26	0.12	-0.59	-0.61	-0.1	0.01	-0.3	-0.5	-0.55	-0.31	-0.6	-0	-0.5	-0.4	0.2	-0.1	-0.4	0.2	-0.1	-0.3	1
-0.28	-0.1	0.62	0.64	0.13	0	0.43	0.44	0.6	0.3	0.41	0.27	0.37	0.61	0.05	0.17	0.46	-0.19	0.04	0.3	-0.88
-0.25	-0.1	0.54	0.56	0.03	-0	0.19	0.5	0.51	0.32	0.68	-0.1	0.51	0.2	-0.3	0.06	0.38	-0.21	0.13	0.32	-0.98

212	4.25±0.354	46.2±8.627	7.05±2.333	63.05±30.759	0.35±0.071	159±43.841	8.7±0.141	0.885±0.53	74±5.657
73	1.933±0.709	23.6±0.794	3.567±1.05	35.733±6.088	0.267±0.058	253±51.507	7.467±0.85	2.557±0.65	75.667±2.517
.058	7.65±6.35	32.433±2.715	4.767±1.069	44.367±9.311	0.2±0.1	304±316.436	7.067±3.581	0.763±0.251	71.667±5.132
.153	4.4±0	59.167±7.702	9.833±1.021	65.733±8.785	1±0	659.333±216.865	29.367±42.811	2.103±0.382	29.667±2.887
	6.2±0.854	28.433±5.852	3.6±0.361	30.367±1.818	0.667±0.208	296±41.073	5.3±0.917	0.907±0.316	82±3.464
95	2.9±0.707	35.75±27.931	12±11.597	44.5±32.951	0.2±0	237.5±174.655	1.95±0.354	0.465±0.346	56.5±37.477
.208	5.567±0.493	37.38±9.793	10.733±6.278	91.367±58.626	0.567±0.115	305.667±160.503	4.433±2.312	1.33±1.207	69.667±6.506
.503	9.667±1.704	25.067±8.882	2.6±1.277	17.233±9.842	0.7±0.265	98.333±28.572	2.3±2.007	0.577±0.324	82±1.732
.153	3.467±0.289	33.8±10.301	8.2±1.744	53.5±7.93	0.367±0.058	292.667±154.196	3.533±2.205	1.063±0.709	57.333±19.009
	6.35±4.55	47.4±13.727	5.267±2.103	82.5±27.051	0.467±0.058	511±150.063	11.867±8.391	3.21±2.506	46.333±3.512
.153	1.167±0.153	29.4±5.406	8.033±0.473	57.167±13.113	0.367±0.153	587±247	1.267±0.635	0.437±0.211	60±14.422
	6.6	31.6	9.7	55.9	0.5	358	1.4	0.65	48
0	26.5	26.5	4.6	26.5	0.3	265	2.4	0.95	50

