



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA

Gabriela Brasci Berro

Distribuição e biomassa de
epífitas avasculares em Floresta
Ombrófila Densa Montana de
Mata Atlântica

CAMPINAS
2021

Gabriela Brasci Berro

Distribuição e biomassa de
epífitas avasculares em Floresta
Ombrófila Densa Montana de
Mata Atlântica

*Dissertação apresentada ao Instituto
de Biologia da Universidade Estadual
de Campinas como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção
do Título de Mestra em Ecologia.*

Orientadora: Prof^a Dr^a Simone Aparecida Vieira

ESTE ARQUIVO DIGITAL CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA
GABRIELA BRASCI BERRO E ORIENTADA PELA
PROF^a DRA^a SIMONE APARECIDA VIEIRA

CAMPINAS
2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Biologia
Mara Janaina de Oliveira - CRB 8/6972

B459e Berro, Gabriela Brasci, 1991-
Distribuição e biomassa de epífitas avasculares em floresta ombrófila densa montana de Mata Atlântica / Gabriela Brasci Berro. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Simone Aparecida Vieira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.

1. Epífitas. 2. Epífitas - Distribuição geográfica. 3. Biomassa. 4. Floresta ombrófila densa montana. 5. Briófito. I. Vieira, Simone Aparecida, 1967-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Distribution and biomass of non-vascular epiphytes in the ombrophilous dense montane Atlantic Forest

Palavras-chave em inglês:

Epiphytes

Epiphytes - Geographical distribution

Biomass

Montane dense ombrophilous forest

Bryophytes

Área de concentração: Ecologia

Titulação: Mestra em Ecologia

Banca examinadora:

Simone Aparecida Vieira [Orientador]

Carlos Alfredo Joly

Flavio Nunes Ramos

Data de defesa: 20-07-2021

Programa de Pós-Graduação: Ecologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-9339-0188>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/1771482413318855>

Campinas, 20 de julho de 2021

COMISSÃO EXAMINADORA

Profª Drª Simone Aparecida Vieira

Prof. Dr. Carlos Alfredo Joly

Prof. Dr. Flavio Nunes Ramos

Os membros da Comissão Examinadora acima assinaram a Ata de Defesa, que se encontra no processo de vida acadêmica do aluno.

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa de Pós Graduação em Ecologia do Instituto de Biologia.

Agradecimentos

Como nada na vida a gente faz sozinho (e também não teria a menor graça se assim fosse!), gostaria de agradecer

À querida orientadora Prof^a Dr^a Simone Aparecida Vieira, pela inspiração, acolhimento, apoio na caminhada e ajuda em todas as etapas desse estudo. Por proporcionar chances de crescimento pessoal e profissional, por sempre me lembrar de respirar fundo, pelas conversas sobre a vida e risadas acompanhadas de pipoca;

Ao querido Prof. Dr. Carlos Alfredo Joly, pelas aulas e oportunidades incríveis de desenvolvimento e aprendizado durante a pós graduação, pelo cuidado e atenção ao me ouvir, por me incentivar e contribuir para melhorar meu trabalho, especialmente nas etapas de qualificação, pré banca e banca;

Ao Prof. Dr. Martin Francisco Pareja, pela possibilidade de experimentar e inovar em sala de aula, por estar sempre aberto ao diálogo e pelas considerações na qualificação e nas reuniões do Comitê de Acompanhamento;

À Prof^a Dr^a Cristina Máguas, por tantas ideias desde as primeiras versões do projeto, pelo apoio no Comitê de Acompanhamento e por me mostrar (mesmo do outro lado do oceano!) quão maravilhosos os líquens e as briófitas são;

Ao Prof. Dr. Gustavo Quevedo Romero, pela disponibilidade, interesse e discussões estatísticas durante o Comitê de Acompanhamento;

Ao Prof. Dr. Flávio Maës dos Santos, por me despertar para a beleza da ecologia vegetal na graduação, pelos questionamentos (afinal de contas, o que é um indivíduo?!) e por aceitar participar como membro da banca;

À Prof^a Dr^a Ingrid Koch, pela receptividade e presença na banca de qualificação;

À Prof^a Dr^a Sara Adrián Lopez de Andrade, por me receber no Laboratório de Fisiologia Molecular de Plantas (LaFiMP - Unicamp) e auxiliar no processamento das amostras para a elaboração do segundo capítulo;

Ao Prof. Dr. Plínio Camargo (CENA/USP), pelas análises isotópicas do segundo capítulo;

Ao Prof. Dr. Flavio Nunes Ramos, pela prestatividade e contribuições nas etapas de pré-banca e banca, tanto na escrita quanto em reflexões sobre o trabalho;

À Prof^a Dr^a Daniela Mariano Lopes da Silva, pela revisão e considerações na etapa de

pré-banca, e também por aceitar o convite para participação como membro da banca;

Aos lêmures, habitantes fofinhos do Laboratório de Ecologia e Manejo de Ecossistemas (LEME), pela convivência com ou sem pandemia e tantas contribuições para esse projeto que eu nem consigo enumerar aqui. Por partilharem afeto diário, conhecimento, sonhos, comidinhas, plantinhas e mapas astrais. Um combo de abraços e beijos (com umas lágrimas junto, obviamente) para Yvonne Vó Bakker, Rafa Flora, Mel Sampaio, Luis Quimbayo, Cinthinha Silva, Ana Cláudia Souza, Cris Antunes, Alice Moraes, Martinha Simbine, Rafa Lembi, Maíra Padgurschi, Camila Islas, Paula Drummond, Guilherme Sheep Ferragut, Marina Lopes, Ana Calheiros e Cris Seixas. Obrigada por sempre serem mais do que “colegas do meio” e tornarem tudo mais leve!;

À Yvonne Vó pela parceria no estudo das epífitas, planejamento e realização dos campos (desculpa pelos carrapatos, mas valeram a pena!);

Ao Rafa Flora pela paciência, suporte com as planilhas sem fim, consultorias mesmo aos finais de semana e revisão do segundo capítulo;

À Alice e Martinha pela revisão do primeiro capítulo e colaboração para organizar melhor as ideias da escrita (sempre bom colocar metas na geladeira!);

Ao Renato Pézão, por tantas viagens e horas de conversas no carro do Projeto BIOTA, por todas as ajudas no campo e orientações pra não me perder até chegar nas parcelas;

Ao Luis Quimbayo, Rafael Pereira e Ana Paula Ferreira, por me ajudarem nas dificuldades estatísticas que apareceram com os dados categóricos do primeiro capítulo. À Isa Romitelli pelo incentivo quase que semanal, pelas várias reuniões para discussão e pelo auxílio nas análises estatísticas ao final dos dois capítulos. À Cinthinha Silva pela ajuda com a construção dos modelos alométricos;

Aos amigos da ONG Cursinho Professor Chico Poço, por acreditarem em mim e pelas boas energias enviadas. Obrigada por compreenderem algumas ausências em projetos paralelos enquanto me dedicava a este aqui... agradeço em especial à Gi Ermani, Mari Kika, Gagá, Vitor, Magu, Buosi e Orlandinho, por estarem presentes até o final. Um obrigada também aos meus alunos da ONG, por me ensinarem muito mais do que podem imaginar.

Ao Rafael Galeoti Gagá, pela torcida e apoio de sempre, que mesmo não suportando mais o Google Meet na pandemia ainda se interessou pelo projeto e me ouviu contar as histórias das “meninas epífitas”, ajudando com a organização de informações e construção dos mapas topográficos da dissertação;

Ao fofíssimo Matt e às amigas jundiaenses de toda a vida, Aline, Helena, Fernanda, Ingrid e Lívia, por sempre me lembrarem que meu olho brilha quando eu falo sobre ecologia e educação, apesar dos desafios atuais. Pelo carinho e cuidado, pela famosa força para seguir o baile e por comemorarem todas as minhas conquistas (tem um pouquinho de vocês em cada uma delas);

À Ana Paula, pela amizade e parceria desde a graduação, por me incentivar o tempo todo e ter me apresentado as mesinhas das calçadas de Barão;

Aos amigos da Bio010D, Rafael, Marcelo Zig, Gabriel Vó, Gabriel Doug, Aline e André, pelas jantas cheias de receitas novas (com ou sem a lendária fumaça em pó) e desabafos da vida de pós-graduando;

Às queridas da casinha mais arrumada que Campinas já viu, Tamara e Patrícia, pela partilha de tantas vivências, faxinas e sagas da pós graduação no IB;

À minha família, minha mãe Marta, meu pai Vanderlei, Nê, tio Dri, tio Paulo Batata, tia Raquel, tia Rô, Fefê, vó Eda, vovó Fir e vô Andrea (que mesmo em outro plano, está por perto!). Agradeço por todo o suporte desde quando me conheço por gente, por terem me apoiado na escolha profissional e me auxiliado de muitas maneiras a caminhar diante das dificuldades que apareceram. Por mostrarem interesse pelo meu trabalho (mesmo quando ele parecia difícil demais ou quando eu “ia pro mato de novo”) e entenderem todas as horas em que precisei me ausentar para que isso tudo acontecesse.. a mágica agora ficou pronta! Agradeço em especial à minha mãe por segurar milhares de barras, pela assistência (inclusive em textos e nas planilhas do R!), amor e incentivo em tudo, sempre.. obrigada por me ouvir e me puxar nas crises existenciais que a pandemia trouxe ao final desse processo, eu não teria feito metade se não fosse por você! À vovó Fir, agradeço pelas conversas e risadas infinitas, além das velas e orações para o anjo da guarda nas semanas mais difíceis.. acho que agora ele vai tirar uma folga!;

Aos humaninhos de vários cantos que torceram (cada um à sua maneira) para que eu chegasse até aqui.. Bru Pastro, Júlio Simões, Marcel Veloso, San Rodrigues, Tábata Dilenardi, Gustavo Shimizu, Du Rigacci, Zé Venâncio, Sílvia, Marquinhos, Marina, Silvana, Toninho, Caio e Camila;

Ao Sr. João Paulo Villani e todos os funcionários do Núcleo Santa Virgínia do Parque Estadual da Serra do Mar, especialmente à D. Francisca (por vigiar os esquilos e evitar que eles levassem nossa comida, cuidar da equipe durante os campos e nos esperar com pudim),

Reginaldo, Will e ao Wagner, que tanto me ajudou nas coletas e não me deixou perdida no meio das parcelas, procurando a saída até agora;

Ao Instituto Florestal, pelas autorizações concedidas para acesso às áreas e realização das coletas de material (Cotec proc. 260108-003.329/2017);

Ao Programa BIOTA/FAPESP e ao Projeto BIOTA/FAPESP Gradiente Funcional (proc. 03/12595-7);

Ao Projeto Mudanças globais e tempo de residência do carbono na vegetação e no solo ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo - Brasil (FAPESP proc. 12/10851-5);

Ao Projeto ECOFOR: Biodiversidade e funcionamento de ecossistemas em áreas alteradas pelo homem nas Florestas Amazônica e Atlântica (FAPESP/NERC proc. 12/51872-5);

Ao Projeto Vulnerabilidade de Biomas brasileiros ao aquecimento do clima (FAPESP proc. 17/16923-1);

À Universidade Estadual de Campinas, ao Instituto de Biologia e ao Programa de Pós Graduação em Ecologia pela estrutura e suporte para a realização do projeto;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela bolsa concedida. "O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Processo 88882.329256/2019-01".

À maravilhosa Serra do Mar, por me acolher e me ver crescer nos últimos anos.

Muito obrigada, de coraçãozinho! <3

Resumo

A Mata Atlântica é uma das Florestas Tropicais mais biodiversas do mundo e um dos *hostspots* mais vulneráveis em cenários de mudanças climáticas. A Floresta Ombrófila Densa Montana é uma das diversas fitofisionomias que a compõe e apresenta abundância de epífitas, um grupo vegetal que não tem contato com o solo e utiliza outras plantas para sua instalação (forófitos), absorvendo água e nutrientes diretamente da atmosfera. As epífitas avasculares (briófitas) exibem preferência por ambientes úmidos e sombreados, abrigando organismos fixadores de nitrogênio e contribuindo para a produtividade primária de Florestas Tropicais. Conhecidas como indicadoras biológicas e pioneiras na sucessão ecológica, sua instalação relaciona-se a características do forófito. Para identificar quais fatores determinam a ocorrência e distribuição de epífitas avasculares e quantificar a biomassa deste componente em áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana, desenvolvemos o estudo em 5 parcelas de 1ha instaladas nesta fitofisionomia, localizadas no Parque Estadual da Serra do Mar, apresentando diferentes históricos de perturbações antrópicas (floresta madura, corte seletivo e área em sucessão tardia). Para as análises de distribuição, foi adaptado e implementado um novo índice para classificação dos forófitos de acordo com a cobertura de tronco e galhos por epífitas avasculares (ICE-av). Avaliamos a relação entre a distribuição das classes de ICE-av e características dos forófitos (inclinação do fuste, diâmetro, densidade de madeira e iluminação da copa), bem como sua relação com a ocorrência de epífitas vasculares. Também verificamos se perturbações antrópicas afetam esta distribuição e se ela apresenta algum padrão espacial. Para a quantificação de biomassa, foram feitas coletas de epífitas avasculares em 30 forófitos pertencentes a diferentes classes de ICE-av, sendo amostradas todas as suas faces (N,S,L,O) e quatro diferentes alturas incluindo fuste e galhos (zonas ecológicas). O conteúdo de carbono e nitrogênio das epífitas avasculares foi quantificado, foi estimada a biomassa epifítica do forófito e ajustado um modelo alométrico para a quantificação indireta desta biomassa.

Nas parcelas foram classificados visualmente 8.149 forófitos quanto à cobertura por epífitas avasculares, dentre os quais quase 93% tiveram alguma ocupação. A maior porcentagem de forófitos sem epífitas foi observada em áreas onde houve corte seletivo. Quanto maior o diâmetro, a inclinação e a iluminação da copa destes indivíduos suporte, maior a cobertura por epífitas avasculares, mas houve relação negativa com a densidade da madeira. Os forófitos

com mais epífitas avasculares também possuem mais epífitas vasculares, e tiveram maior presença em locais de menor altitude no interior das parcelas. Análises de biomassa mostraram que não houve diferença nas alturas ou faces dos forófitos e o modelo alométrico ajustado utilizou a altura do forófito e o ICE-av como variáveis. A estimativa de biomassa de epífitas avasculares foi de em média 208 kg ha⁻¹ em floresta madura, sendo o conteúdo de carbono correspondente a 43,93%, e de nitrogênio a 2,07%. Esta pesquisa amplia o conhecimento sobre a distribuição da comunidade epifítica avascular em Floresta Ombrófila Densa Montana e evidencia a contribuição deste componente para os estoques de carbono e nitrogênio em Florestas Tropicais, auxiliando na compreensão sobre o funcionamento destes ecossistemas.

Palavras chave: Epífitas avasculares, Distribuição, Biomassa, Floresta Ombrófila Densa Montana.

Abstract

Distribution and biomass of non-vascular epiphytes in the Ombrophilous Dense Montane Atlantic Forest

The Atlantic Forest is one of the most biodiverse Tropical Forests in the world and one of the most vulnerable *hotspots* in climate change scenarios. The Ombrophilous Dense Montane Forest is one of the various phytophysiognomies from the Atlantic Forest and presents an abundance of epiphytes, a plant group that has no contact with the soil and uses other plants for its installation (phorophytes), absorbing water and nutrients directly from the atmosphere. The non-vascular epiphytes (bryophytes) show a preference for humid and shaded environments, sheltering nitrogen-fixing organisms and contributing to the primary productivity of Tropical Forests. Known as biological indicators and pioneers in ecological succession, their establishment is related to the characteristics of the phorophyte. To identify which factors determine the occurrence and distribution of non-vascular epiphytes and to quantify the biomass of this component in areas of Ombrophilous Dense Montane Forest, we developed the study in 5 plots of 1ha installed in this phytophysiognomy located in the Serra do Mar State Park. The studied areas presented different histories of anthropic disturbance, from mature forest to areas subjected to selective logging, and an area in late succession. For the distribution analyses, a new index was adapted and implemented to classify the phorophytes according to the coverage of trunk and branches by non-vascular epiphytes (ICE-av). We assessed the relationship between the distribution of ICE-av classes and phorophyte characteristics (stem inclination, diameter, wood density and canopy illumination), as well as their relationship with the occurrence of vascular epiphytes. We also verified if anthropic disturbances affect this distribution and if the distribution presents any spatial pattern. For biomass quantification, non-vascular epiphytes were collected in 30 phorophytes belonging to different ICE-av classes, being sampled all their faces (N, S, E, W) and four different heights (ecological zones) including stem and branches. Carbon and nitrogen content of the non-vascular epiphytes was quantified, the epiphytic biomass of the phorophyte was estimated and an allometric model was adjusted for the indirect quantification of this biomass. In the plots, 8.149 phorophytes were visually classified as to coverage by non-vascular

epiphytes, among which almost 93% had some occupation, with the highest percentage of phorophytes without epiphytes observed in areas where selective logging had taken place. The greater the diameter, inclination and canopy illumination of these supporting individuals, the greater the coverage by non-vascular epiphytes, but there was a negative relation with wood density. The phorophytes with more non-vascular epiphytes also had more vascular epiphytes and had the highest occurrence at lower elevation sites within the plots. Biomass analyses showed that there was no difference in the heights or faces of the phorophytes and the allometric model used phorophyte height and ICE-av as variables. The estimated biomass of non-vascular epiphytes averaged 208 kg ha⁻¹ in mature forest, with carbon content corresponding to 43.93%, and nitrogen content to 2.07%. This research increases the knowledge on the distribution of the avascular epiphytic community in Ombrophilous Dense Montane Forest and shows the contribution of this component to the carbon and nitrogen stocks in Tropical Forests, also helping to understand the functioning of these ecosystems.

Key-words: Non-vascular epiphytes, Distribution, Biomass, Ombrophilous Dense Montane Atlantic Forest.

Lista de Figuras

Capítulo I - Fatores determinantes para a ocorrência da comunidade epífítica avascular em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

Figura 1.1. Localização geográfica das cinco parcelas de estudo (NSV-01, NSV-02, NSV-03, NSV-04, NSV-05 no contexto do Parque Estadual da Serra do Mar (SP) e dos limites municipais (Cunha, Ubatuba e São Luis do Paraitinga).....35

Figura 1.2. Representação esquemática das quatro classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), adaptado de Tansley & Chipp (1926). ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.....37

Figura 1.3. Representação esquemática das classes do Índice de Iluminação da Copa (Adaptada do Manual de Campo da RAINFOR para Índices de Lianas e Iluminação da Copa, revisado em 2018). IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2a: luz lateral baixa, IC 2b: luz lateral média, IC 2c: luz lateral alta, IC 3a: luz vertical em menos de 50% da copa, IC 3b: luz vertical em mais de 50% da copa, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total.....39

Figura 1.4. Representação esquemática das classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), adaptado de Bakker (2015). ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas, ICE 2: muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 3: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas, ICE 4: epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 5: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes.....40

Figura 1.5. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) por parcela de estudo. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia.....43

Figura 1.6. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada parcela. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia.....44

Figura 1.7. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada classe de diâmetro. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As classes de diâmetro nas quais os indivíduos foram divididos são 4,8 a 10cm, 10 a 30cm, 30 a 50cm e acima de 50cm.....45

Figura 1.8. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) de acordo com a inclinação do fuste. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Os forófitos foram separados entre retos e aqueles com inclinação $\geq 10\%$46

Figura 1.9. Média da densidade da madeira (g cm^{-3}) dos forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.....47

Figura 1.10. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes à família Myrtaceae e às demais famílias no interior das parcelas, classificados no Índice Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.....48

Figura 1.11. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às diferentes classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada classe do Índice de Iluminação da Copa do forófito (IC). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Quanto ao IC, temos IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2: luz lateral, IC 3: luz vertical, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total.....49

Figura 1.12. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE) em cada classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). Para o ICE, temos ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas/muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 2: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas/epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 3: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de

cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.....50

Figura 1.13. Mapas topográficos e tridimensionais das parcelas M1, M2, M3 e CS, onde M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3 e CS: Corte Seletivo. As curvas de nível em tons mais escuros correspondem às zonas de maior altitude (m), e o gradiente de diminuição de tons representa também a diminuição da altitude. Nos mapas topográficos, os números indicam a altitude das curvas de nível, o triângulo preto sinaliza o ponto mais alto da parcela e o triângulo branco indica o mais baixo.....51

Figura 1.14. Distribuição espacial dos forófitos classificados em cada classe de ICE-av, plotados em topografia vetorizada das parcelas M1, M2, M3 e CS em ambiente ArcGIS 10.2.1. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As parcelas são M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3 e CS: Corte Seletivo.....53

Capítulo II - Modelos alométricos para estimativa de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

Figura 2.1. Localização geográfica das cinco parcelas de estudo (NSV-01, NSV-02, NSV-03, NSV-04, NSV-05 no contexto do Parque Estadual da Serra do Mar (SP) e dos limites municipais (Cunha, Ubatuba e São Luis do Paraitinga).....65

Figura 2.2. Representação esquemática das quatro classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), adaptado de Tansley & Chipp (1926). ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.....67

Figura 2.3. Divisão do forófito em zonas ecológicas. Zona 1: da inserção da raiz no solo até 1,30m, Zona 2: região intermediária do fuste, Zona 3: até 1,30m abaixo da ramificação dos galhos e Zona 4: do início da ramificação dos galhos até a extremidade dos mesmos.....	68
Figura 2.4. Correlações entre as variáveis preditoras selecionadas (ICE-av, diâmetro e altura) para o desenvolvimento do modelo alométrico para quantificação da biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.....	71
Figura 2.5. Biomassa de epífitas avasculares por área (g cm^{-2}) de acordo com as zonas ecológicas e faces do forófito. As zonas são Zona 1: da inserção da raiz no solo até 1,30m, Zona 2: região intermediária do fuste, Zona 3: até 1,30m abaixo da ramificação dos galhos e Zona 4: do início da ramificação dos galhos até a extremidade dos mesmos. As faces são N: norte, S: sul, L: leste e O: oeste.....	74
Figura 2.6. Dados de porcentagem de carbono (C), nitrogênio (N) e razão C:N de epífitas avasculares por zonas ecológicas (1,2,3 e 4) e faces do forófito (N,S,L e O).....	75
Figura 2.7. Relação entre a área estimada dos forófitos amostrados (m^2) e sua altura (m).....	76
Figura 2.8. Distribuição da biomassa de epífitas avasculares (kg).....	77
Figura 2.9. Ajuste da biomassa de epífitas avasculares (kg) em relação à altura total estimada do forófito (m), através do uso do modelo selecionado.....	78
Figura 2.10. Ajuste da biomassa de epífitas avasculares (kg) em relação ao DAP do forófito (cm), através do uso do modelo selecionado.....	79

Lista de Tabelas

Capítulo I - Fatores determinantes para a ocorrência da comunidade epifítica avascular em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

Tabela 1.1. Classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), agrupamento entre suas classes e alinhamento às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av).....41

Tabela 1.2. Altitudes máximas e mínimas (m) das parcelas de estudo localizadas no Parque Estadual da Serra do Mar. As áreas M1, M2 e M3 se referem às áreas de floresta madura e a área CS é referente ao local onde houve corte seletivo.....52

Tabela 1.3. Índice de Moran por distância (m) para cada Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e parcela. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As parcelas são M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia. Os valores das correlações destacados representam diferenças significativas ($p < 0,05$).....54

Tabela 1.4. Variáveis analisadas, pesos relativos correspondentes (Estimate S) e seus valores de significância para a variável resposta Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) na análise GLM. O suporte estatístico forte (intervalo não sobreposto a zero) é demonstrado a partir de asteriscos (*), e os números negativos são referentes a relações negativas.....55

Capítulo II - Modelos alométricos para estimativa de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

Tabela 2.1. Modelos selecionados para serem testados com os dados de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.....71

Tabela 2.2. Modelos alométricos e equações correspondentes, considerando-se as variáveis altura total e DAP do forófito (individualmente) como variáveis preditoras para a quantificação de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.....72

Tabela 2.3. Variáveis preditoras utilizadas para a análise de distribuição de biomassa de epífitas avasculares, seus respectivos pesos relativos (Estimate S) e valores de significância..74

Tabela 2.4. Modelos com melhor ajuste aos dados de biomassa por epífitas avasculares para a variável altura e para a variável DAP, e seus respectivos valores de ΔAIC77

Tabela 2.5. Modelos power testados com a combinação das variáveis preditoras (ICE-av, DAP e altura total do forófito) para as estimativas de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana, e seus respectivos valores de ΔAIC78

Tabela 2.6. Biomassa estimada de epífitas avasculares estimada (kg ha^{-1}) para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.....80

Tabela 2.7. Estoque de carbono estimado (kg ha^{-1}) no compartimento das epífitas avasculares para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.....81

Tabela 2.8. Estoque de nitrogênio estimado (kg ha^{-1}) no compartimento das epífitas avasculares para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP)

e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.....81

Apêndices

Tabela 1. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as parcelas do estudo, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).....103

Tabela 2. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as parcelas de estudo - considerando seus respectivos tipos de perturbação antrópica - utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as áreas, temos M1: Madura 1, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).....104

Tabela 3. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes de diâmetro do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As classes de diâmetro nas quais os indivíduos foram

divididos são 4,8 a 10cm, 10 a 30cm, 30 a 50cm e acima de 50cm. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).....105

Tabela 4. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e a inclinação do fuste do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Os forófitos foram separados entre retos e aqueles com inclinação $\geq 10\%$. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).....106

Tabela 5. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Iluminação da Copa (IC) do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Quanto ao IC, temos IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2: luz lateral, IC 3: luz vertical, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).....107

Tabela 6. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. Para o ICE, temos ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas/muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 2: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas/epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 3: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas

avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas
avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas
avasculares.....108

Tabela 7. Dados dos forófitos selecionados para a coleta de epífitas avasculares em Floresta
Ombrófila Densa Montana. Para cada um dos 30 indivíduos, temos a espécie, o DAP (cm), a
altura (m), a classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares, a biomassa úmida e
biomassa seca por zona ecológica e face do forófito (g cm^{-2}) e a biomassa total por zona (g cm^{-2}).....109

Tabela 8. Parâmetros registrados e calculados para os forófitos amostrados. Para cada um,
temos diâmetro do forófito (DAP) (cm), altura (m), Índice de Cobertura por Epífitas avasculares
(ICE-av), área estimada (m^2) e biomassa total de epífitas avasculares estimada (kg).....111

Tabela 9: Porcentagem de carbono (%C), nitrogênio (%N) e razão C:N para cada uma das
amostras de epífitas avasculares sorteadas para análise destes componentes, pertencentes a
diferentes zonas ecológicas, faces e classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares
(ICE-av).....112

Sumário

Introdução geral	26
Capítulo I - Fatores determinantes para a ocorrência da comunidade epifítica avascular em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica	30
1.1. Introdução	31
1.2. Objetivos	33
1.3. Métodos.....	34
1.3.1. Área de estudo.....	34
1.3.2. Amostragem e coleta de dados	34
1.3.2.1. Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av).....	36
1.3.2.2. Diâmetro à altura do Peito (DAP)	37
1.3.2.3. Inclinação do fuste.....	37
1.3.2.4. Densidade da madeira	38
1.3.2.5. Iluminação da copa do forófito (IC)	38
1.3.2.6. Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE)	39
1.3.3. Distribuição espacial dos forófitos das diferentes classes de cobertura por epífitas avasculares.....	41
1.3.4. Análise estatística	41
1.4. Resultados.....	42
1.4.1. Ocorrência e abundância de epífitas avasculares	42
1.4.2. Distribuição de epífitas avasculares e diâmetro do forófito	44
.....	45
1.4.3. Inclinação do fuste e ICE-av	45
1.4.4. Relação entre densidade da madeira do forófito e distribuição de epífitas avasculares	46
1.4.5. Iluminação da copa, ocorrência e abundância de epífitas avasculares	48
1.4.6. Relação entre ocorrência de epífitas avasculares (ICE-av) e epífitas vasculares (ICE).....	49
1.4.7. Influência do relevo na ocorrência de epífitas avasculares	50
1.4.8. Fatores que influenciam na ocorrência de epífitas avasculares	55

1.5. Discussão	55
1.6. Considerações finais	59
Capítulo II - Modelos alométricos para a estimativa de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica	60
2.1. Introdução	61
2.2. Objetivos	63
2.3. Métodos.....	64
2.3.1. Área de estudo.....	64
2.3.2. Amostragem e coleta de dados	65
2.3.3. Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av).....	66
2.3.4. Coleta de material epifítico avascular ao longo do forófito para estimativa da biomassa	67
2.3.5. Quantificação do conteúdo de carbono e nitrogênio de epífitas avasculares	69
2.3.6. Estimativa da área da superfície do forófito	69
2.3.7. Quantificação da biomassa epifítica avascular por forófito	70
2.3.8. Ajuste do modelo alométrico	70
2.3.9. Estimativa da biomassa total de epífitas avasculares nas Florestas Montanas de Mata Atlântica	72
2.3.10. Análises estatísticas	73
2.4. Resultados.....	73
2.4.1. Biomassa de epífitas avasculares nas zonas ecológicas e faces.....	73
2.4.2. Conteúdo de carbono e nitrogênio de epífitas avasculares.....	74
2.4.3. Área de superfície do forófito e biomassa de epífitas avasculares.....	75
2.4.4. Ajuste do modelo alométrico	76
2.4.5. Cálculo da biomassa total de epífitas avasculares por parcela	79
2.4.6. Contribuição das epífitas avasculares para os estoques de carbono e nitrogênio	80
2.5. Discussão	81
2.6. Considerações finais	85
Referências	86

Apêndices.....	103
1. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) entre as cinco parcelas de estudo	103
2. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) entre os tipos de perturbação antrópica das parcelas.....	104
3. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes de diâmetro do forófito	105
4. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e a inclinação do fuste do forófito.....	106
5. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Iluminação da Copa (IC).....	107
6. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE)	108
7. Dados dos forófitos selecionados para a coleta de epífitas avasculares	109
8. Área (m ²) e biomassa total (kg) estimadas para os forófitos amostrados	111
9. Porcentagem de carbono (C) e nitrogênio (N), e razão C:N por amostra selecionada de epífita avascular	112
Anexos	113
1. Declaração de Bioética e Biossegurança	113
2. Declaração de direitos autorais	114

Introdução geral

As Florestas Tropicais possuem a maior diversidade do planeta (Brown, 2014), abrigando de 50 a 80% da biodiversidade dos ecossistemas terrestres em uma área inferior a 7% da superfície global (Myers, 1988). São florestas que ocorrem entre as latitudes 23,5° N e 23,5° S, características por serem ambientes com grande heterogeneidade em termos de estrutura e dinâmica das comunidades que as compõem (Clark et al., 1995), sendo seus microclimas moldados por mosaicos de topografia, luz, composição físico-química do solo (Pan et al., 2013) e biota associada a ele (Chapin et al., 2011). Tais variações também podem ser explicadas pela existência de regimes de perturbação, como resultado da própria dinâmica dos ecossistemas ou de ações antrópicas (Clark & Clark, 2000). Essas florestas concentram 55% do carbono terrestre, o que corresponde a um estoque de 471 ± 93 Pg C - alocado em sua maior parte na biomassa viva acima do solo (56%) e no solo (32%) (Pan et al., 2011) - respondendo por um terço de toda a produtividade primária líquida dos ecossistemas terrestres (Malhi & Grace, 2000), estimada em 18 Pg C por ano (Field et al., 1998).

O Brasil abriga duas importantes Florestas Tropicais, a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica, esta última é a segunda maior floresta das Américas (Tabarelli et al., 2005) e a floresta brasileira mais antiga (Colombo & Joly, 2010; Rizzini, 1997). Distribuindo-se inicialmente ao longo de mais de 3300 km na zona costeira do Brasil e cobrindo 17% do território nacional (Joly et al., 2014), o histórico da Mata Atlântica é marcado por intensas pressões humanas que se intensificaram a partir da colonização portuguesa, sendo explorada e substituída por cultivos em diversos ciclos econômicos (Dean, 1997) como extração do pau-brasil no séc XVI, pecuária do séc XVI até hoje, cana-de-açúcar iniciada no séc. XVII e café a partir do séc XVIII (Farinaci, 2012).

Como resultado destes processos de expansão da agricultura, somados à urbanização e industrialização, as áreas de Mata Atlântica estão atualmente restritas a uma faixa de 11,4 a 16% de sua cobertura nativa original, sendo grande parte dos remanescentes encontrados como fragmentos localizados na costa, onde o relevo atuou como fator limitante das atividades antrópicas (Ribeiro et al., 2009).

Reconhecidamente um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do mundo (Myers et al., 2000) e um dos *hotspots* mais vulneráveis em cenários de mudanças climáticas (Colombo & Joly, 2010; Béllard et al., 2014), a Mata Atlântica é também um importante centro de

endemismo (Joly et al., 2012; Laurance, 2009), abrigando um total de 16.146 espécies em sua flora e 2.420 espécies em sua fauna catalogadas até o momento (Joly et al., 2019).

Em decorrência de sua topografia e clima, a estrutura da Mata Atlântica é estratificada e apresenta grande variação microclimática vertical (Oliveira et al., 2009), abrigando uma vegetação exuberante mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade devido às altas taxas de lixiviação e ao tipo de rocha matriz (Martins et al., 2015; Chapin et al., 2002). Sua diversidade vegetal vai muito além do componente arbóreo, incluindo diversas espécies de palmeiras, samambaias, lianas e uma abundante comunidade de epífitas (Morellato & Haddad, 2000).

O termo “epífita” tem origem grega, o prefixo “epi” significa “sobre algo” e “fiton” significa “todo/qualquer vegetal”. Esta definição foi aprimorada com o passar do tempo e, segundo Madison (1977), são plantas não ligadas ao solo, enquanto Bennett (1986) destaca o fato de que “a espécie dependente beneficia-se do substrato proporcionado pela espécie hospedeira (forófito), retirando nutrientes diretamente da atmosfera...”. Benzing (1990) reafirma estes conceitos e formula uma das definições mais adotadas atualmente, caracterizando as epífitas como “vegetais que durante toda sua vida ou em algum estágio dela, vivem sobre as árvores, utilizando-as como suporte”.

As epífitas formam um compartimento diferenciado do ecossistema no que se refere aos ciclos biogeoquímicos (Mardegan et al., 2009), pois os nutrientes de fato são retirados da atmosfera a partir de duas principais vias - deposição seca e deposição úmida - e a água, por sua vez, é acessada por estes organismos através de precipitação, transprecipitação e em eventos de neblina (Benzing, 1990; Diaz et al., 2007). Elas contribuem significativamente para a produtividade primária das florestas (Nadkarni, 1986; Zotz & Winter, 1994), podendo adicionar de 40 a 150% à biomassa fotossintetizante do dossel (Diaz et al., 2010).

Espécies de plantas vasculares e avasculares podem fazer parte da comunidade de epífitas (Gradstein et al., 2003), sendo que as primeiras são caracterizados pela presença de vasos condutores de seiva, e as demais não os possuem (Raven et al., 2014).

As epífitas vasculares correspondem a 10% de todas espécies de plantas vasculares em florestas de Mata Atlântica (Petean, 2009), pertencendo principalmente às famílias Orchidaceae e Bromeliaceae (Leme, 1993; Breier, 1999). Elas podem apresentar características que auxiliam em sua sobrevivência, como arranjos específicos de suas folhas,

fitotelmata, tricomas absorventes e velame, além de associação simbiótica com animais (Gonçalves et al., 2011; Cardelús & Mack, 2010).

As epífitas avasculares, por sua vez, incluem líquens (associação simbiótica entre algas e fungos) e o grupo parafilético das briófitas que compreende três divisões: Anthocerotophyta (antóceros) (Renzaglia et al., 2009), Marchantiophyta (hepáticas) (Crandall - Stotler et al., 2009) e Bryophyta (musgos) (Goffinet et al., 2009).

As briófitas epífitas possuem diversas estratégias para obtenção de nutrientes, e podemos destacar a existência de armadilhas de serapilheira em algumas espécies (Glime, 2017) e associação com cianobactérias, que são organismos fixadores de nitrogênio (Cardelús & Mack, 2010; Taiz & Zeiger, 2013). Muitas espécies de briófitas têm crescimento em forma de tapetes, permanecendo bastante aderidas ao substrato e apresentando grande retenção de água (Glime, 2007). Elas são um componente importante em processos de sucessão ecológica em Florestas Tropicais, facilitando a ocupação por indivíduos de grupos vegetais complexos (como as epífitas vasculares) (Uniyal, 1999), além de fornecer habitat para diversos microrganismos, promovendo interações ecológicas (Turetsky, 2003). Sendo assim, a integridade da comunidade briofítica é fundamental para a manutenção de processos bióticos e abióticos em ecossistemas tropicais (Alvarenga et al., 2010).

Por serem poiquilohídricas (isto é, terem pouco controle sobre a perda de água) e possuírem rápido ciclo de vida (Frahm, 2003), as epífitas avasculares são amplamente conhecidas por seu papel como robustas indicadoras de condições ambientais (Salazar, 2016). Sua distribuição vertical no forófito está intimamente relacionada com as condições microclimáticas de intensidade de luz e umidade do ar das florestas estratificadas (Holz et al., 2002; Wolf, 1993), podendo também fornecer informações sobre como perturbações antrópicas afetam suas preferências de nicho (Acebey et al. 2003; Batista & Dos Santos, 2016). As briófitas são frequentemente encontradas em sítios úmidos e sombreados (Gradstein et al., 1996), e algumas características dos forófitos como diâmetro (Bates, 1992), córtex rugoso e pH ácido (Acebey et al., 2003) influenciam em seu estabelecimento (Bataghin et al., 2012).

Em Florestas Tropicais montanas da Costa Rica, onde a comunidade epifítica é abundante, Nadkarni (1984) observou que a biomassa de epífitas vasculares somada a das epífitas avasculares corresponde a 30% da biomassa fotossintetizante total da floresta e 45% dos nutrientes estão alocados no componente epifítico. De acordo com revisão realizada por Diaz et al. (2010) nestas áreas, a biomassa das epífitas pode alcançar 30 Mg ha⁻¹.

Sabe-se que, em Florestas Tropicais, a biomassa viva acima do solo desempenha um importante papel no ciclo global de carbono (Vieira et al., 2011). Para áreas de Mata Atlântica existem estimativas de biomassa de alguns destes componentes, como árvores (Alves et al., 2010), bambus (Padgurschi et al. 2021), epífitas vasculares (Bakker, 2015) e as lianas (Alves et al., 2012).

As estimativas de biomassa existentes contribuem para a compreensão do funcionamento das florestas, porém existem lacunas de conhecimento em relação à biomassa de alguns compartimentos, como as epífitas avasculares, que são o foco deste trabalho. Modelos alométricos ajustados e específicos para cada componente da floresta são importantes para fornecer dados de biomassa total, sendo também um reforço para os serviços de conservação e manejo florestal sustentável (Pan et al., 2013).

Considerando-se o papel que as epífitas avasculares desempenham em Florestas Tropicais, fica evidente a importância em conhecer sua contribuição para o estoque de carbono destas áreas e quais as variáveis ambientais envolvidas em sua ocorrência. Além disso, dado seu papel como bioindicadoras, esta comunidade pode ser afetada rapidamente em um cenário de mudanças climáticas, sendo portanto ainda mais premente identificar os fatores que afetam sua ocorrência diante de um possível clima mais seco e quente.

Capítulo I

Fatores determinantes para a ocorrência da comunidade epifítica avascular em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

1.1. Introdução

As epífitas são vegetais que durante toda sua vida ou em algum estágio dela vivem sobre as árvores, utilizando-as como suporte (Benzing, 1990). Por não terem contato com o solo, representam uma interface importante entre vegetação e atmosfera (Zotz & Bader, 2009), sendo um grupo heterogêneo que contém tanto espécies vasculares quanto avasculares (Gradstein et al., 2003), diferenciadas pela presença ou ausência de vasos condutores de seiva (Raven et al., 2014). Nas Florestas Tropicais, as epífitas são um componente que contribui substancialmente para a diversidade de espécies e para a biomassa fotossintetizante do dossel (Affeld et al., 2008, Diaz et al., 2010).

As epífitas avasculares incluem líquens e briófitas, e estas últimas são plantas criptogâmicas de ambiente terrestre, constituindo um grupo parafilético que abriga três divisões monofiléticas (Amorim, 2013): Anthocerotophyta (Renzaglia et al., 2009), Marchantiophyta (Crandall-Stotler et al., 2009) e Bryophyta (Goffinet et al., 2009). Com ampla distribuição, as briófitas são comumente encontradas nas regiões tropicais e subtropicais (Lemos-Michel, 2001). Na região neotropical (centro e sul da América) ocorre sua maior diversidade, havendo 4.000 espécies identificadas, pertencentes a 595 gêneros e 120 famílias (Gradstein et al., 2001). No Brasil existem registros de 1.580 espécies, das quais 343 são endêmicas (Flora do Brasil 2020).

A reprodução das briófitas epifíticas é dependente de água ou, ao menos, de condições locais com alta umidade que viabilizam o encontro dos gametas, facilitando a movimentação do gameta masculino flagelado (Costa & Luiz-Ponzo, 2010). Sendo organismos poiquilohídricos, têm pouco controle sobre a perda de água (Gradstein et al., 1996) e são mais frequentes em áreas úmidas e sombreadas (Frahm, 1990).

Constituem uma parte importante na comunidade vegetal de áreas de Florestas Montanas (Frahm & Gradstein, 1991) e contribuem para o aumento da capacidade hídrica destas áreas e de Florestas Altomontanas (Hölsher et al., 2004), absorvendo água e nutrientes a partir da atmosfera (Cardelús & Mack, 2010) através da superfície do gametófito (Chilanti & Bordin, 2016).

Ao fornecerem habitat para vários microrganismos, as epífitas promovem grande diversidade de interações ecológicas (Turetsky, 2003), tendo também um papel importante nos processos de sucessão, modificando o ambiente e facilitando o estabelecimento de

grupos vegetais mais complexos como, por exemplo, as epífitas vasculares (Uniyal, 1999). Apesar de serem conhecidas como colonizadoras iniciais, o desenvolvimento das briófitas epífitas no substrato costuma ser lento, mesmo que haja estabelecimento de propágulos, uma vez que elas são dependentes da umidade do meio (Nadkarni, 2000).

Devido à sua sensibilidade às condições ambientais e ao seu rápido ciclo de vida, as briófitas epífitas são amplamente conhecidas como bioindicadoras (Frahm, 2003). Suas respostas a filtros ambientais locais e regionais podem ser fundamentais para a detecção e compreensão de mudanças causadas nos ecossistemas por perturbações naturais ou em decorrência de ações humanas (Batista & Dos Santos, 2016), uma vez que seus mecanismos de estabelecimento nos microhabitats são principalmente fisiológicos (Glime, 2007).

Segundo Bataghin et al. (2012), a ocorrência de briófitas epífitas no sistema tem forte relação com as características das árvores que elas usam para suporte - os forófitos - como arquitetura da copa e inclinação do tronco e galhos, que interferem na umidade do substrato e estabelecimento de diásporos (Barkman, 1958; Cornelissen & ter Steege, 1989). A ocorrência também está relacionada à rugosidade e acidez do córtex (Acebey et al., 2003), assim como ao diâmetro e idade do forófito (Oliveira et al., 2009), sendo que esta última característica se associa à densidade da madeira e altura (Vieira et al., 2008).

A distribuição vertical das epífitas no forófito (zonação) evidencia preferências de nicho de acordo com as condições microclimáticas de iluminação e umidade do ar que as Florestas Tropicais estratificadas exibem (Holz et al., 2002; Wolf, 1993), favorecendo a existência de uma brioflora bastante rica (Batista & Dos Santos, 2016). Sabe-se que esta zonação vertical e diversidade são passíveis de alterações mediante mudanças na estrutura da floresta, como por exemplo diante de desmatamento e fragmentação, uma vez que há impactos em condições e fatores locais (Alvarenga & Porto, 2007; Acebey et al., 2003).

No geral, as perturbações antrópicas são responsáveis por mudanças na abundância e frequência de diversos grupos ecológicos (Joly et al., 2014), e com as epífitas isso também é observado, uma vez que utilizam a comunidade arbórea como suporte (Breier, 2005; Zotz & Bader, 2009).

Entre as Florestas Tropicais que apresentam histórico bastante pronunciado deste tipo de impacto, encontra-se a Mata Atlântica (Rezende et al., 2018). Nesta Floresta Tropical, as epífitas são um componente importante da biodiversidade (Morellato & Haddad, 2000) e podem ser encontradas 45% das espécies de briófitas do país, caracterizando-a como o

domínio fitogeográfico com maior riqueza deste grupo (Costa & Peralta, 2015).

Em virtude de sua extensão territorial, a Mata Atlântica exhibe gradientes latitudinais e altitudinais, com uma ampla variação de condições ecológicas que mostram-se interessantes para o desenvolvimento de estudos no contexto das mudanças climáticas. Ela funciona como um laboratório onde é possível avaliar de que maneira as alterações nos regimes de precipitação e aumento de temperatura podem afetar a distribuição de epífitas e os processos ecossistêmicos relacionados a elas, dado que este grupo desempenha papel importante na ciclagem de nutrientes (Song et al., 2012), no estoque de carbono (Nadkarni et al., 2004) e na regulação hídrica dos ecossistemas tropicais (Pócs, 1980), especialmente em áreas de Florestas Montanas.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo identificar quais fatores bióticos e abióticos afetam a ocorrência e distribuição da comunidade de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica. Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- 1.2.1. Avaliar a ocorrência e distribuição de epífitas avasculares utilizando o Índice de Cobertura por Epífitas avasculares nas áreas de estudo;
- 1.2.2. Avaliar se a perturbação antrópica afeta a ocorrência da comunidade de epífitas avasculares;
- 1.2.3. Analisar a relação entre a ocorrência de epífitas avasculares e características do forófito, entre elas (i) diâmetro, (ii) inclinação, (iii) densidade da madeira e (iv) iluminação da copa;
- 1.2.4. Verificar se existe relação entre a ocorrência de epífitas avasculares e vasculares;
- 1.2.5. Investigar se há um padrão espacial da distribuição de epífitas avasculares nas áreas de estudo.

1.3. Métodos

1.3.1. Área de estudo

Esta pesquisa foi conduzida no Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), no Núcleo Santa Virgínia (23° 17' a 23° 24' S e 45° 03' a 45° 11' O). O PESH é uma Unidade de Conservação (UC) criada em 1977, através do Decreto Estadual nº 10.251, de 30 de agosto de 1977 e posteriormente ampliada pelo Decreto Estadual n.º 13.313, de 06 de março de 1979.

Atualmente a maior UC da Mata Atlântica, ele abrange uma extensão total de 332 mil hectares e 25 municípios do estado de São Paulo. Seu gerenciamento é dividido em onze núcleos instalados e administrados pelo Estado, sendo o Núcleo Santa Virgínia resultante da desapropriação de duas fazendas (Ponte Alta e Santa Virgínia) em 1989.

Este núcleo é composto por aproximadamente 17.000 hectares distribuídos entre os municípios de São Luís do Paraitinga (70%), Cunha (20%) e Ubatuba (10%), em altitudes que variam de 740m a 1.600m acima do nível do mar (Joly et al., 2012). Ele apresenta relevo com fortes declividades (Tabarelli et al., 1994) e frequentes eventos de neblina (Ghazoul & Sheil, 2010) e, segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é temperado-quente, com verão quente e chuvoso (tipo Cwa). A temperatura média anual é de 17°C e a precipitação média anual atinge valores de 2.300mm, não sendo inferior a 60 mm mesmo na estação seca, entre julho e agosto (Salemi, 2009).

A cobertura vegetal é predominantemente composta por Floresta Ombrófila Densa Montana (Veloso et al., 1991) com abundância de epífitas, taquaras e samambaias (Ghazoul & Sheil, 2010). Em seu interior nota-se um mosaico de áreas de floresta madura, de floresta secundária em estágio tardio de sucessão e áreas de pastagem (Tabarelli et al., 1993), sendo que algumas dessas áreas passaram por episódio de queima e/ou de corte raso (Padgurschi et al., 2011).

1.3.2. Amostragem e coleta de dados

A coleta de dados ocorreu em cinco parcelas permanentes de um hectare (100m x 100m) cada, que foram estabelecidas pelo Projeto BIOTA/FAPESP Gradiente Funcional (proc. 03/12595-7) (Joly et al., 2012) em 2007 no PESH. As parcelas do Núcleo Santa Virgínia são

nomeadas: NSV-01 ($23^{\circ}32'66''\text{S}$, $45^{\circ}06'85''\text{O}$), NSV-02 ($23^{\circ}32'66''\text{S}$, $45^{\circ}06'98''\text{O}$), NSV-03 ($23^{\circ}32'83''\text{S}$, $45^{\circ}07'38''\text{O}$), NSV-04 ($23^{\circ}32'67''\text{S}$, $45^{\circ}07'55''\text{O}$) e NSV-05 ($23^{\circ}32'54''\text{S}$, $45^{\circ}09'38''\text{O}$) (Figura 1.1)¹.



Figura 1.1. Localização geográfica das cinco parcelas de estudo (NSV-01, NSV-02, NSV-03, NSV-04, NSV-05) no contexto do Parque Estadual da Serra do Mar (SP) e dos limites municipais (Cunha, Ubatuba e São Luís do Paraitinga).

As parcelas NSV-01, NSV-02 e NSV-03 são compostas por floresta madura e sem histórico de perturbação antrópica conhecido, e serão referidas como Madura 1 (M1), Madura 2 (M2) e Madura 3 (M3), respectivamente. A parcela NSV-04 é uma floresta em processo de regeneração avançada. De acordo com moradores da região, ela foi implantada em uma área onde houve remoção de taquaras e corte seletivo de madeira durante aproximadamente quinze anos, perdurando até quando houve incorporação do local ao PESM (Padgurschi et al., 2011). Devido a este histórico, ela será tratada como corte seletivo (CS). Já a parcela NSV-05 apresentou episódio de corte raso em meados de 1960 e foi abandonada logo após, encontrando-se atualmente em processo de sucessão secundária tardia e sendo referenciada como ST.

Na ocasião do estabelecimento das parcelas, todos os indivíduos (samambaias, palmeiras, árvores vivas e árvores mortas em pé) com diâmetro à altura do peito (DAP) $\geq 4,8$ cm foram georreferenciados e identificados, seguindo adaptações nos protocolos propostos pela Rede Amazônica de Inventários Florestais (RAINFOR) (Joly et al., 2012). Desde 2015 essas parcelas vêm sendo recenseadas anualmente pelo projeto ECOFOR (FAPESP/NERC proc.

¹ Os códigos são referentes àqueles adotados pela plataforma ForestPlots.net e correspondem, respectivamente, às parcelas K, L, M, N e T do projeto BIOTA/FAPESP Gradiente Funcional (proc. 03/12595-7) (Joly et al., 2012).

12/51872-5). Dada a importância das epífitas nessas florestas, além das informações normalmente levantadas em censos florestais, foi incluída a classificação das árvores quanto à cobertura por epífitas vasculares e iluminação de sua copa. Além disso, observam-se características do fuste (como inclinação e tipo de casca, por exemplo) e é feita a identificação botânica, a partir da qual infere-se a densidade da madeira. Nesta pesquisa foram usados dados do censo realizado pela equipe entre os anos de 2017 e 2018, e pela primeira vez foi feita a classificação dos indivíduos arbóreos vivos também quanto à cobertura por epífitas avasculares, conforme descrito na próxima seção. Os dados podem ser obtidos em sua totalidade através do acesso à plataforma ForestPlots.net (Lopez-Gonzales et al., 2009, 2011), e as variáveis do censo que foram selecionadas para este trabalho estão descritas abaixo:

1.3.2.1. Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)

Todos os indivíduos vivos com $DAP \geq 4,8\text{cm}$ localizados no interior das cinco parcelas foram classificados com base no Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). Esse índice foi implementado pela primeira vez durante o censo de 2017/2018 e foi criado para o presente estudo, adaptado de Tansley & Chipp (1926). Ele corresponde à porcentagem de cobertura da superfície do fuste e galhos por epífitas avasculares, estimada por observação visual. Ele não inclui os líquens e é composto por quatro classes distintas (Figura 1.2).

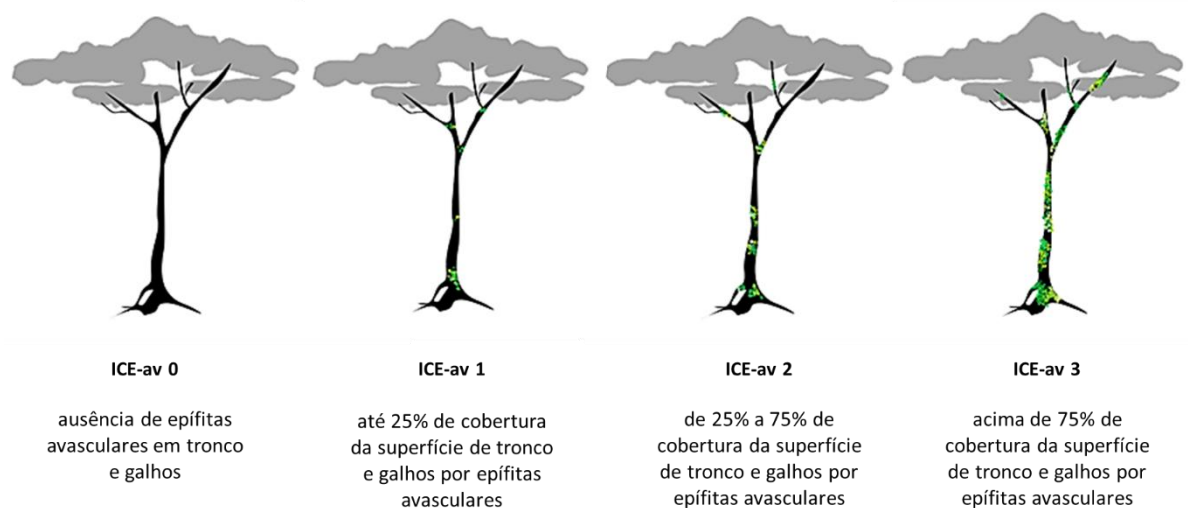


Figura 1.2. Representação esquemática das quatro classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), adaptado de Tansley & Chipp (1926). ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

Durante a classificação, ocorrência de epífitas avasculares em diferentes quadrantes do forófito (correspondentes às faces norte, sul, leste e oeste) também foi observada, assim como evidências de distribuição vertical da comunidade epifítica.

1.3.2.2. Diâmetro à altura do Peito (DAP)

Seguindo metodologia semelhante à de Alves et al. (2010), os indivíduos arbóreos enquadrados no censo foram agrupados em quatro classes de tamanho de acordo com o DAP, sendo elas: 4,8 a 10cm, 10 a 30cm, 30 a 50cm e acima de 50cm. Esta divisão em classes amplas foi adotada para possibilitar a comparação dos resultados com outros estudos de estrutura florestal na região Neotropical (Vieira et al., 2004; Pyle et al., 2008).

1.3.2.3. Inclinação do fuste

Os forófitos das parcelas também foram classificados de acordo com a inclinação de seu fuste. Para isso, foram consideradas somente forófitos retos (não inclinados) e aqueles com inclinação $\geq 10\%$.

1.3.2.4. Densidade da madeira

A densidade da madeira foi conhecida a partir da identificação botânica dos indivíduos e do banco de dados da RAINFOR (Lopez-Gonzalez et al., 2006). O valor adotado para cada forófito nas análises pode ser referente ao considerado para o gênero, para a família ou espécie, a depender do nível de classificação taxonômica alcançado. Em casos onde a identificação botânica foi ausente, a densidade do forófito foi assumida como a densidade média dos indivíduos da parcela.

O parâmetro densidade da madeira foi usado como um proxy da taxa de crescimento da árvore, uma vez que árvores com maior densidade de madeira tendem a apresentar menores taxas crescimento (Chao et al., 2008). Apesar desta relação, é importante ressaltar que em Florestas Tropicais, a densidade da madeira não está correlacionada ao tamanho da árvore (Phillips et al., 2019).

Foram avaliadas as médias das densidades da madeira dos forófitos classificados em cada ICE-av (excluindo palmeiras e samambaias) e também foram feitas análises considerando-se indivíduos das famílias mais abundantes das parcelas.

1.3.2.5. Iluminação da copa do forófito (IC)

A iluminação da copa foi avaliada através de um índice proposto por Dawkins & Field (1978) e adaptado por Clark & Clark (1992), que classifica os indivíduos de acordo com a quantidade de luz incidente sobre a copa e a direção desta incidência (lateral ou vertical). É um método bastante eficiente e rápido para se estimar o ambiente luminoso que está disponível para cada árvore, positivamente relacionado ao diâmetro dos forófitos (Alves et al., 2010). De acordo com o protocolo da RAINFOR, indivíduos no interior das parcelas permanentes são classificados em uma das oito classes que compõe o IC (Figura 1.3):

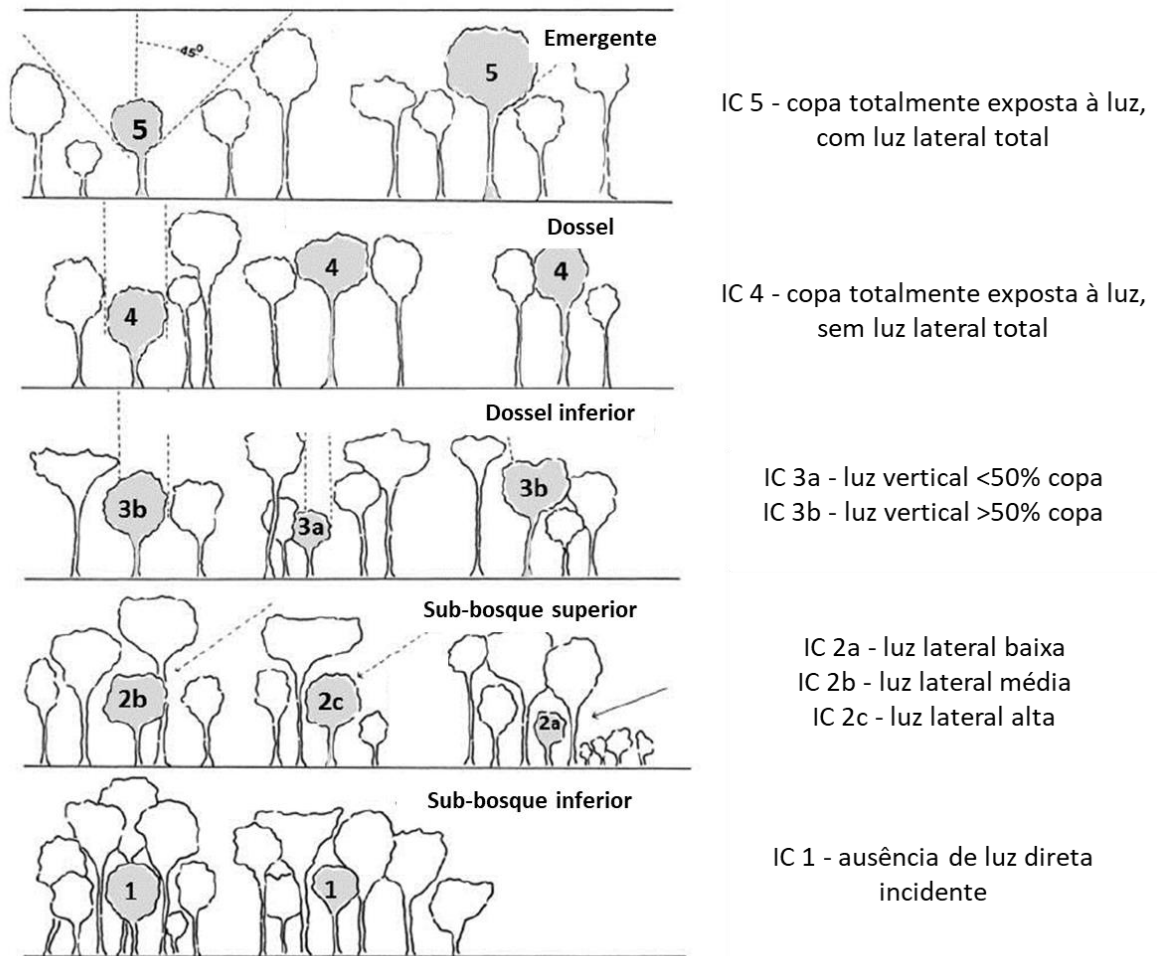


Figura 1.3. Representação esquemática das classes do Índice de Iluminação da Copa (Adaptada do Manual de Campo da RAINFOR para Índices de Lianas e Iluminação da Copa, revisado em 2018). IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2a: luz lateral baixa, IC 2b: luz lateral média, IC 2c: luz lateral alta, IC 3a: luz vertical em menos de 50% da copa, IC 3b: luz vertical em mais de 50% da copa, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total.

Para as análises, os indivíduos das classes IC 2a, IC 2b e IC 2c (referentes à luz lateral), foram agrupados na classe IC 2, e os indivíduos IC 3a e IC 3b (referentes à luz vertical), na classe IC 3. Desta forma, obteve-se 5 classes de IC a serem consideradas: IC 1, IC 2, IC 3, IC 4 e IC 5.

1.3.2.6. Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE)

A cobertura por epífitas vasculares foi estimada com base no Índice de Cobertura

por Epífitas Vasculares (ICE). Proposto por Kersten (2006), adaptado e utilizado por Bakker (2015), este índice categoriza forófitos de acordo com a abundância e a biomassa de epífitas vasculares. Inicialmente descrito utilizando-se uma sequência logarítmica de atribuição de notas (0, 1, 2, 5, 9 e 15), para facilitar a classificação visual em campo foi feito um ajuste, e ele é atualmente constituído por classes que variam de 0 a 5 (Figura 1.4).



Figura 1.4. Representação esquemática das classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), adaptado de Bakker (2015). ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas, ICE 2: muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 3: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas, ICE 4: epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 5: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes.

Para análises conjuntas de distribuição de epífitas vasculares e epífitas avasculares, foi feito um agrupamento entre as diferentes classes de ICE e um alinhamento

entre elas e o ICE-av, com base na semelhança entre suas coberturas. Assim, a classe ICE 1 incluiu indivíduos ICE 2, indivíduos das classes ICE 3 e ICE 4 passaram a constituir a classe ICE 2, e a classe ICE 5 passou a ser chamada de ICE 3 (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), agrupamento entre suas classes e alinhamento às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av).

ICE	ICE agrupado	ICE-av correspondente
ICE 0	ICE 0	ICE-av 0
ICE 1	ICE 1	ICE-av 1
ICE 2	ICE 1	ICE-av 1
ICE 3	ICE 2	ICE-av 2
ICE 4	ICE 2	ICE-av 2
ICE 5	ICE 3	ICE-av 3

1.3.3. Distribuição espacial dos forófitos das diferentes classes de cobertura por epífitas avasculares

Foram plotados mapas tridimensionais de superfície das parcelas. Em seguida, através do software ArcGIS 10.2.1 foram construídos os respectivos mapas topográficos vetorizados, sobre os quais foram plotados os forófitos pertencentes às diferentes classes de ICE-av.

Para cada parcela também foi feito o levantamento das altitudes máxima e mínima. Não existem informações suficientes para a produção de mapas ou levantamento de altitudes da parcela ST, pois sua instalação foi feita posteriormente e não apresenta dados topográficos detalhados do interior.

1.3.4. Análise estatística

Foi utilizado o programa R Studio 1.4.1103 (R Development Core Team 2020). Para as análises estatísticas dos dados categóricos, feitas separadamente entre a distribuição da variável resposta (ICE-av) e cada uma das variáveis preditoras (parcelas, perturbação antrópica, classes de diâmetro, inclinação, IC, e ICE), foi empregado o Teste exato de Fisher, seguido do fator de correção de Bonferroni para o p-valor (p). Para análise dos dados

contínuos de densidade da madeira foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis (não paramétrico) seguido de teste post-hoc de Dunn.

Para as análises estatísticas de distribuição espacial e autocorrelação foi empregado o Índice de Moran, através do conhecimento de dados da posição geográfica dos forófitos na parcela (coordenadas X e Y a partir de um vértice da parcela). Este índice se baseia na localização das árvores e em seu ICE-av, indicando se há distribuição dispersa ou agregada das comunidades de briófitas epífitas. O Índice de Moran varia entre valores de 1 e -1, sendo a autocorrelação positiva indicada por valores positivos, e valores negativos expressando autocorrelação espacial negativa. A ausência de autocorrelação ou resultados não significativos podem ser interpretados com valores próximos a zero. Valores maiores que 1 ou menores que -1 podem ser relacionados a distâncias onde são identificados poucos pares para a comparação estatística. A correlação foi calculada considerando-se uma vizinhança de 10m a partir do ponto central do polígono e 1.000 permutações.

Para determinar o peso relativo de cada uma das variáveis preditoras mencionadas acima sobre a variável resposta (ICE-av) em cada forófito, foram selecionadas seis variáveis preditoras (perturbação antrópica, classe de diâmetro, inclinação, densidade da madeira, IC e ICE). No ambiente R, foi usada a função “dredge” do pacote “MuMIn”, partindo de um modelo linear geral (GLM) que incluía todas estas variáveis, sendo calculada em seguida a importância relativa para cada variável para todos os modelos plausíveis com $\Delta AICc < 2$ (Burnham & Anderson, 2002), através da função “model average” contida no mesmo pacote.

Os resultados estatísticos detalhados encontram-se na seção “Anexos”.

1.4. Resultados

1.4.1. Ocorrência e abundância de epífitas avasculares

Do total de 10.795 indivíduos das parcelas, 8.149 se enquadraram nos critérios estabelecidos e foram classificados quanto à cobertura por epífitas avasculares (ICE-av).

Existe diferença entre a distribuição das classes de ICE-av nas parcelas ($p=0,001$). Os índices mais frequentes foram os referentes à pouca ou média cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 1 e ICE-av 2), correspondendo respectivamente a 45% ($n=3670$) e 34%

(n=2763) do total. Os indivíduos sem nenhuma epífita avascular corresponderam a somente 7,5% do total (ICE-av 0, n=610).

A parcela em sucessão tardia (ST) apresentou 51% dos forófitos contendo baixa cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 1, n=887). Na parcela onde houve corte seletivo (CS) foram 14% de indivíduos sem nenhuma epífita avascular (ICE-av 0, n=199) e 19% de indivíduos com alta cobertura por epífitas (ICE-av 3, n=283), sendo estas as maiores porcentagens de ambos os índices dentre as parcelas (Figura 1.5).

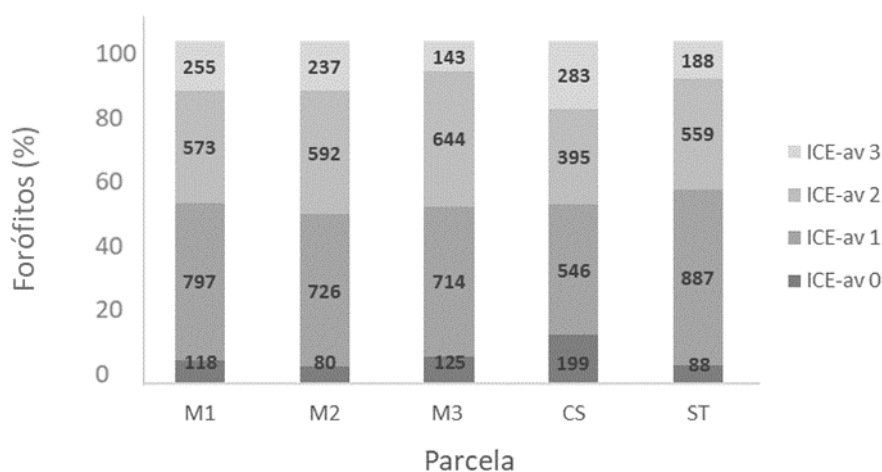


Figura 1.5. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) por parcela de estudo. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia.

O padrão de ocorrência de epífitas avasculares nos indivíduos foi semelhante independentemente da perturbação antrópica, sendo no entanto observadas diferenças significativas entre as áreas ($p=0,001$). Dentre as três áreas de floresta madura, somente os dados da parcela M1 foram considerados nestas análises.

No geral, foi observado maior número de forófitos com pouca e média cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 1, n=2230 e ICE-av 2, n=1527), sendo poucos os indivíduos sem epífitas (n=405). Entre as parcelas, a ST é que apresenta menos indivíduos sem epífitas (ICE-av 0, n=88) e também é a que contém mais forófitos com baixa cobertura (ICE-av 1, n=887).

Na área madura (M1) e na área onde houve corte seletivo (ST) os indivíduos sem

epífitas avasculares (ICE-av 0) corresponderam a respectivamente 6% e 5% do total de classificados, e os forófitos com maior cobertura (ICE-av 3) tiveram porcentagens de 14% e 10%, respectivamente. A parcela CS apresenta maior proporção de ICE-av 0 (14%) e de ICE-av 3 (20%) (Figura 1.6).

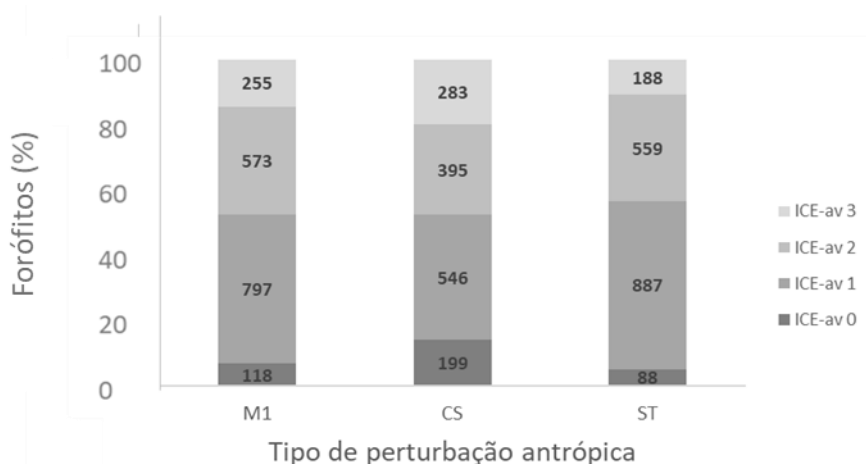


Figura 1.6. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada parcela. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia.

1.4.2. Distribuição de epífitas avasculares e diâmetro do forófito

Houve diferença na distribuição das epífitas avasculares em relação ao diâmetro da árvore suporte ($p=0,001$). Na classe de diâmetro de 4,8 a 10cm, 11% dos indivíduos não apresentaram epífitas (ICE-av 0, $n=451$), a maior porcentagem dentre todas as classes. Todos os indivíduos com diâmetro acima de 50cm ($n=117$) apresentaram ocorrência epífítica, sendo 54% classificados na maior classe de cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 3, $n=63$).

Os forófitos com diâmetro acima de 30cm foram aqueles que apresentaram menor proporção de classificados nos índices que representam ausência ou pouca ocorrência de epífitas avasculares (ICE-av 0 e ICE-av 1) e maior proporção de indivíduos com maior cobertura por epífitas (ICE-av 2 e ICE-av 3) (Figura 1.7).

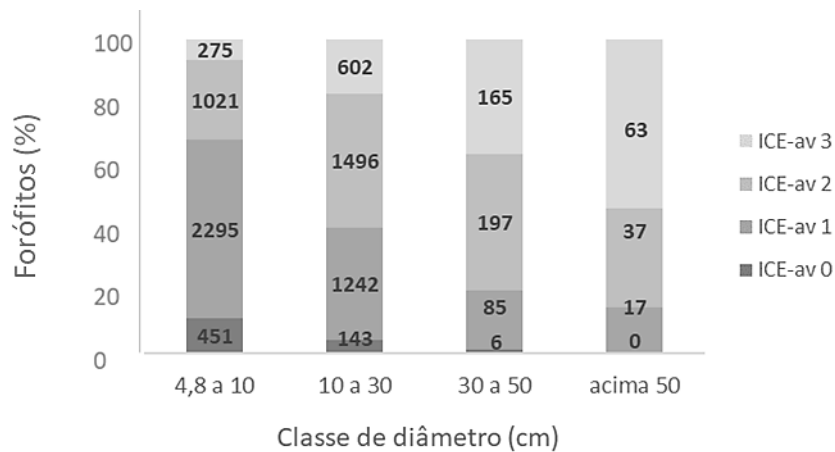


Figura 1.7. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada classe de diâmetro. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As classes de diâmetro nas quais os indivíduos foram divididos são 4,8 a 10cm, 10 a 30cm, 30 a 50cm e acima de 50cm.

1.4.3. Inclinação do fuste e ICE-av

Do total de forófitos no interior das parcelas, 7228 foram classificados como retos (73%) ou inclinados (27%). Independentemente da inclinação do fuste, quase 80% dos indivíduos apresentavam ICE-av 1 e ICE-av 2 ($n=3336$ e $n=2432$, respectivamente).

Foi observada uma alta porcentagem de indivíduos retos associados à baixa cobertura por epífitas avasculares, enquanto aqueles de fuste inclinado mostraram-se mais cobertos por epífitas. Deste modo, a inclinação foi identificada como um fator importante para a distribuição de epífitas avasculares ($p=0,001$), principalmente na comparação entre os índices ICE-av1 e ICE-av 3 (Figura 1.8).

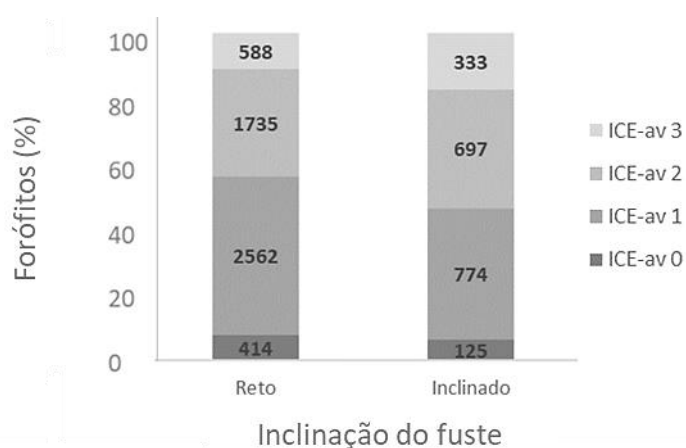


Figura 1.8. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) de acordo com a inclinação do fuste. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Os forófitos foram separados entre retos e aqueles com inclinação $\geq 10\%$.

1.4.4. Relação entre densidade da madeira do forófito e distribuição de epífitas avasculares

Foi observada uma relação negativa entre os valores de densidade média da madeira dos forófitos e a ocupação por epífitas avasculares. Os ICE-av 0 foram prioritariamente os indivíduos arbóreos com maior densidade da madeira ($0,69 \pm 0,14 \text{ g cm}^{-3}$) e essa relação inverte-se quanto maior a ocupação por epífitas avasculares, sendo que os indivíduos com maior ICE-av tinham densidade da madeira média de $0,64 \pm 0,13 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 1.9). Houve diferença significativa na densidade da madeira dos forófitos entre as classes de ICE-av ($p=4,7\text{e-}12$).

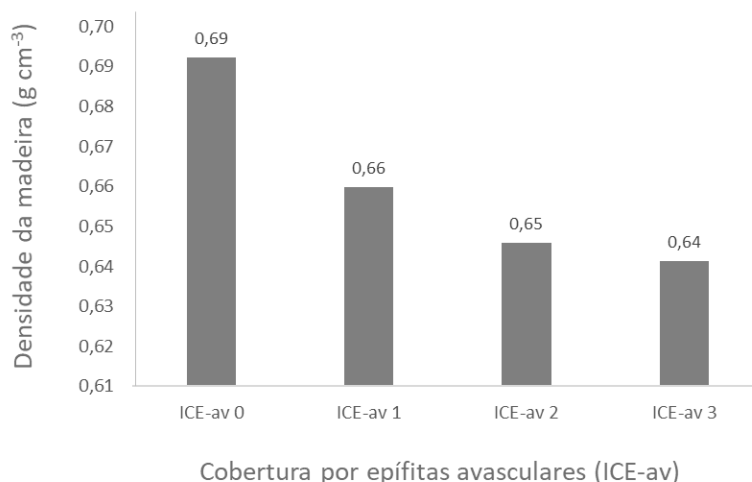


Figura 1.9. Média da densidade da madeira (g cm⁻³) dos forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

Como a ausência de epífitas avasculares pode decorrer, por exemplo, de um baixo tempo de exposição do fuste para colonização, de condições de pH do córtex ou de características da casca que não favoreçam a instalação e permanência da comunidade, testamos se a ocorrência de indivíduos da família Myrtaceae poderia ser responsável pelo padrão encontrado. Esta família foi selecionada por ser uma das mais abundantes nas Florestas Montanas da região, além de apresentar alta densidade da madeira (~0,765 g cm⁻³) e ter como característica marcante a casca descamante e de baixa estabilidade.

Foi observado que 36% dos indivíduos arbóreos onde não se constatou presença de epífitas avasculares (ICE-av 0) eram da família Myrtaceae, considerando-se um total de 37 famílias onde não foi registrada ocupação. Por outro lado, dos forófitos com grande abundância de epífitas avasculares (ICE-av 3) apenas 18% eram dessa família (Figura 1.10).

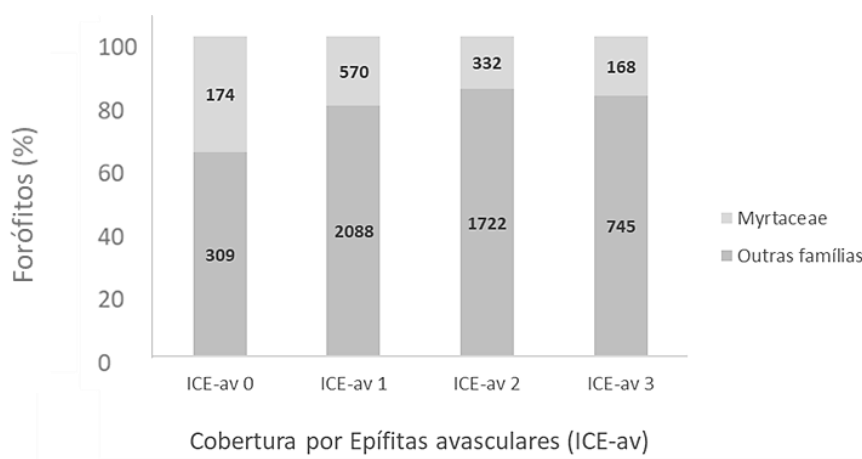


Figura 1.10. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes à família Myrtaceae e às demais famílias no interior das parcelas, classificados no Índice Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

1.4.5. Iluminação da copa, ocorrência e abundância de epífitas avasculares

A iluminação da copa do forófito foi um fator importante na ocorrência e abundância de epífitas avasculares ($p=0,001$). Nos indivíduos arbóreos que apresentam copa com menor iluminação (IC 1), observou-se ausência ou uma menor abundância de epífitas avasculares (ICE-av 0 e ICE-av 1 com 12% e 54%, respectivamente). Esta proporção de ocupação das menores classes de cobertura diminuiu progressivamente conforme há aumento da iluminação da copa, de modo que nos indivíduos com copa totalmente exposta à luz (IC 5), os indivíduos sem epífitas avasculares (ICE-av 0) correspondem a 3% do total.

A proporção dos indivíduos com maior cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 2 e ICE-av 3), por outro lado, aumenta conforme há também aumento de iluminação da copa. Os forófitos com alta cobertura epifítica (ICE-av 3) correspondem a 7% dos forófitos sem iluminação direta (IC 1), aumentando sua ocorrência quanto maior a iluminação da copa até corresponder a 26% dos forófitos com máxima iluminação da copa (IC 5). (Figura 1.11).

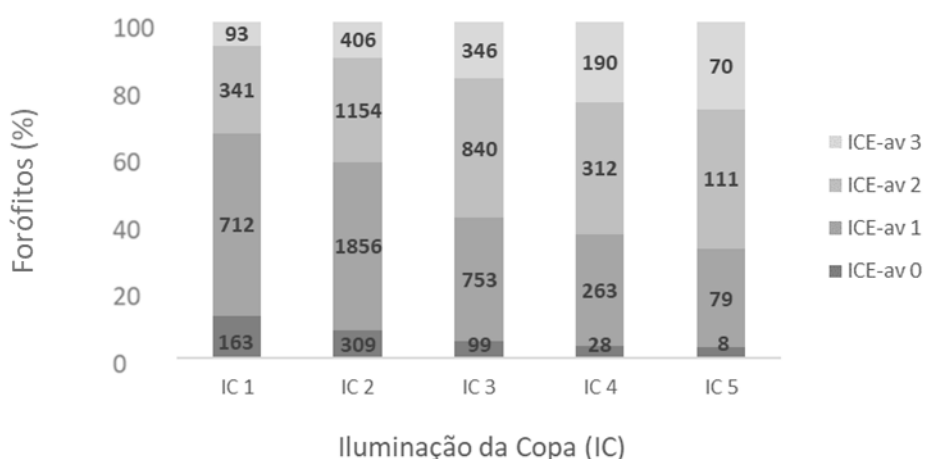


Figura 1.11. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às diferentes classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) em cada classe do Índice de Iluminação da Copa do forófito (IC). As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Quanto ao IC, temos IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2: luz lateral, IC 3: luz vertical, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total.

1.4.6. Relação entre ocorrência de epífitas avasculares (ICE-av) e epífitas vasculares (ICE)

Do total de forófitos no interior das parcelas, 8143 tinham informações sobre ICE-av e ICE, e de modo geral a ocorrência de epífitas avasculares foi significativa para a ocupação por epífitas vasculares ($p=0,001$).

O maior número de forófitos foi identificado com poucas epífitas vasculares e avasculares (ICE 1 e ICE-av 1, $n=2030$). Dentre os indivíduos que não apresentam epífitas avasculares (ICE-av 0), a porcentagem de indivíduos com nenhuma ou pouca ocorrência de epífitas vasculares (ICE 0 e ICE 1) é alta, correspondendo a 58% e 37%, respectivamente. Conforme aumenta a ocorrência e abundância de epífitas avasculares observa-se um aumento das epífitas vasculares também, sendo que somente em 8% dos fórofitos com maior ocupação por epífitas avasculares (ICE-av 3) não foi observada a presença de epífitas vasculares (ICE 0). (Figura 1.12).

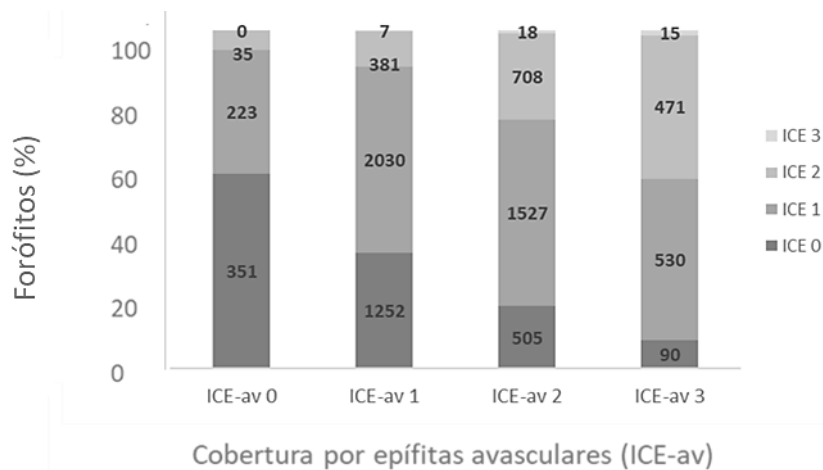
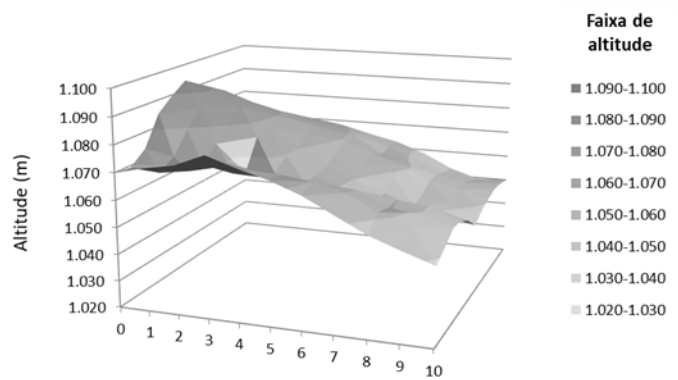
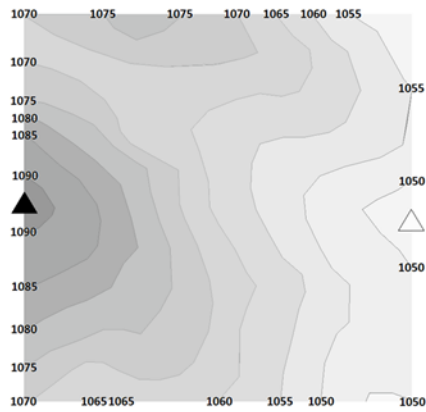


Figura 1.12. Porcentagem e número absoluto de forófitos pertencentes às classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE) em cada classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). Para o ICE, temos ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas/muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 2: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas/epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 3: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

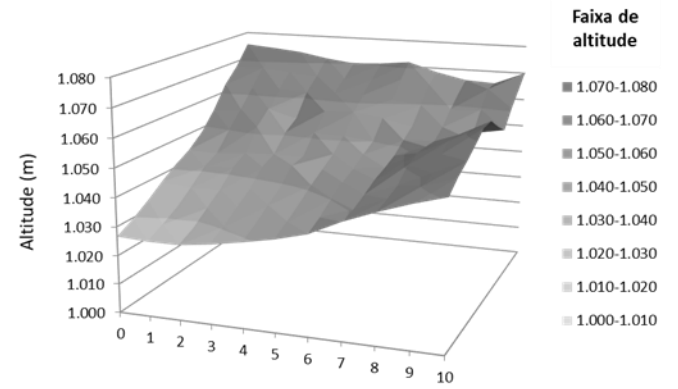
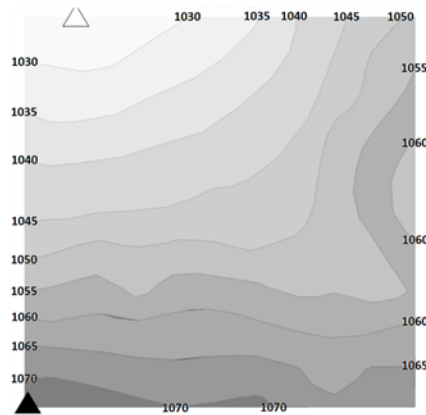
1.4.7. Influência do relevo na ocorrência de epífitas avasculares

A partir dos mapas tridimensionais e topográficos construídos para as áreas de estudo (Figura 1.13), foi possível observar que as parcelas apresentam diferenças em termos de relevo. A parcela M1 apresenta uma região de vale em seu interior, as parcelas M2 e M3 tem encostas com grande declividade e na parcela CS é possível identificar uma crista pronunciada, com diferenças altimétricas variando entre 40 e 46m entre as parcelas maduras e de 34m na parcela CS (Tabela 1.2).

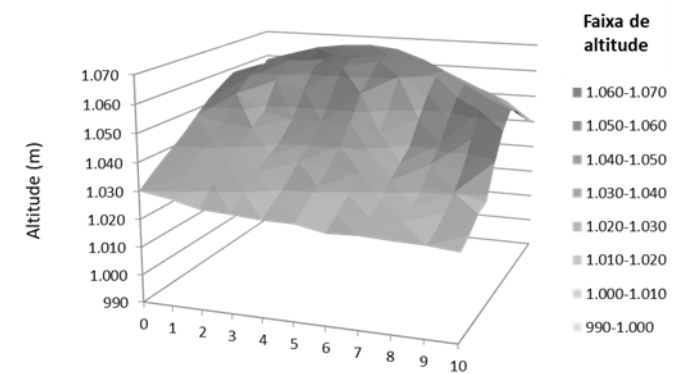
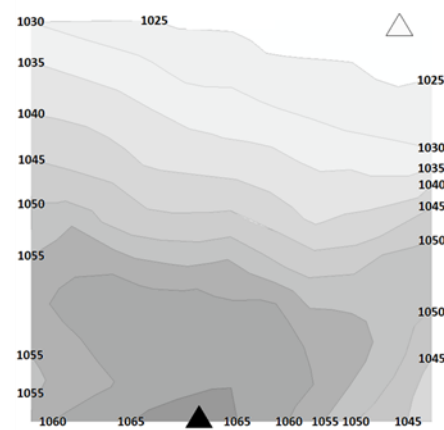
M1



M2



M3



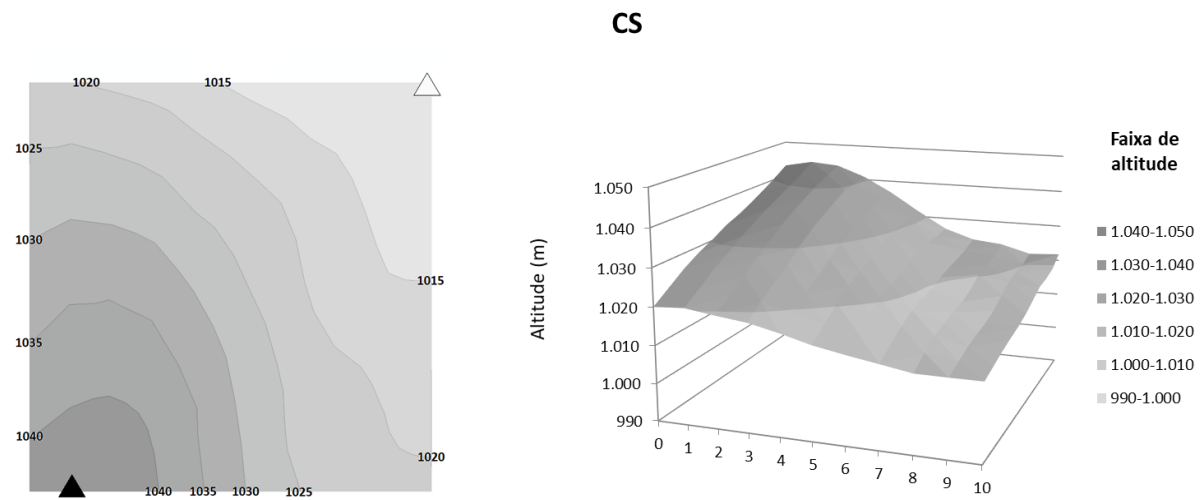


Figura 1.13. Mapas topográficos e tridimensionais das parcelas M1, M2, M3 e CS, onde M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3 e CS: Corte Seletivo. As curvas de nível em tons mais escuros correspondem às zonas de maior altitude (m), e o gradiente de diminuição de tons representa também a diminuição da altitude. Nos mapas topográficos, os números indicam a altitude das curvas de nível, o triângulo preto sinaliza o ponto mais alto da parcela e o triângulo branco indica o mais baixo.

Tabela 1.2. Altitudes máximas e mínimas (m) das parcelas de estudo localizadas no Parque Estadual da Serra do Mar. As áreas M1, M2 e M3 se referem às áreas de floresta madura e a área CS é referente ao local onde houve corte seletivo.

Área	Altitude máxima (m)	Altitude mínima (m)
M1	1094	1047
M2	1075	1026
M3	1067	1021
CS	1044	1010

Para todas as áreas, foi observado que os indivíduos arbóreos com pouca e média cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 1 e ICE-av 2) mostram-se distribuídos por toda a parcela. Entretanto, os indivíduos com ausência de epífitas avasculares (ICE-av 0) encontram-se em maior abundância nas áreas de maior altitude, enquanto que os com maior cobertura por epífitas avasculares (ICE-av 3) ocorrem principalmente em áreas mais baixas que correspondem a pequenos vales (Figura 1.14).

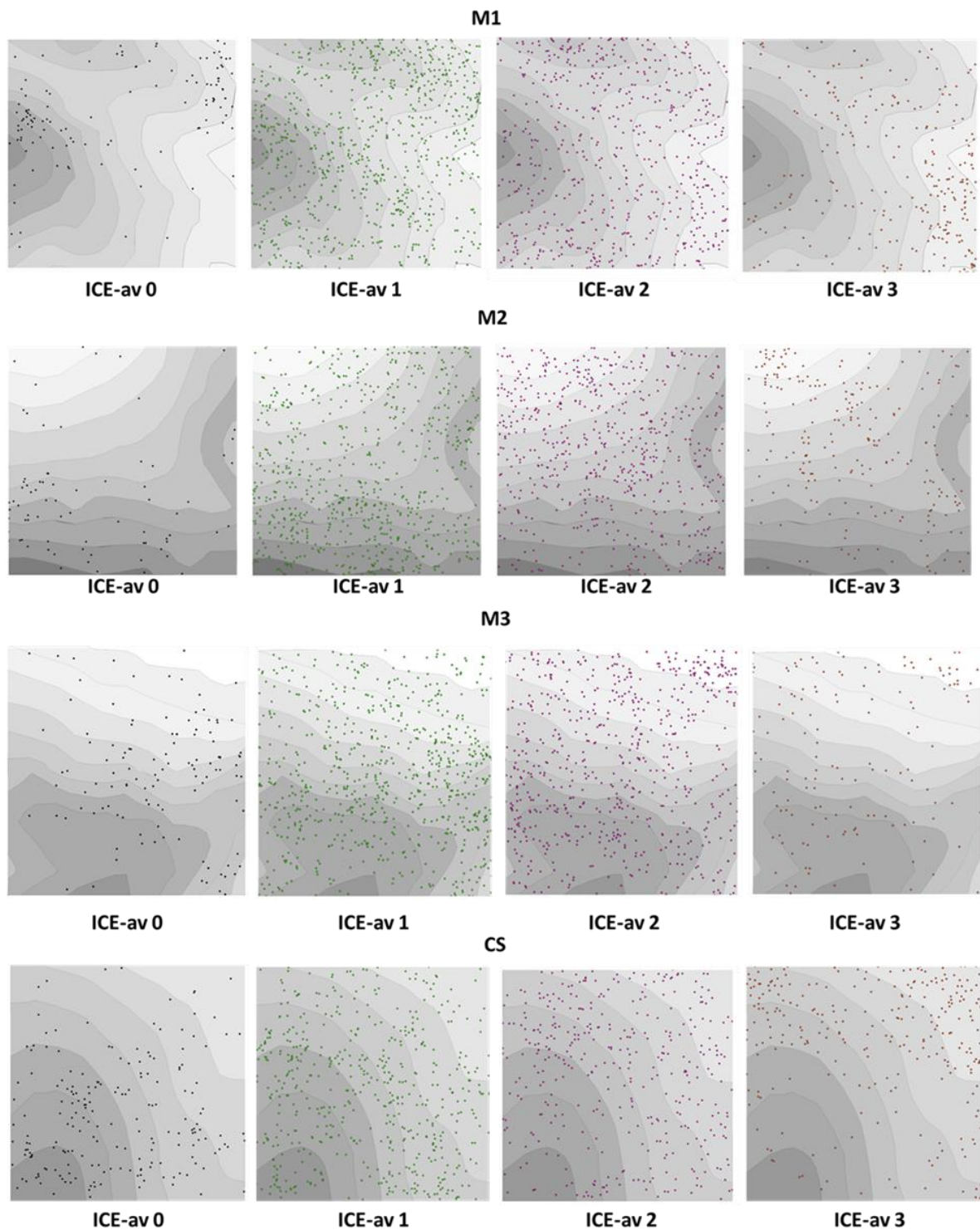


Figura 1.14. Distribuição espacial dos forófitos classificados em cada classe de ICE-av, plotados em topografia vetorizada das parcelas M1, M2, M3 e CS em ambiente ArcGIS 10.2.1. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As parcelas são M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3 e CS: Corte Seletivo.

As análises de correlação espacial evidenciaram relação positiva na distribuição das classes de ICE-av em distâncias próximas, mostrando que a cobertura dos forófitos vizinhos assemelha-se mais do que quando eles são comparados a outros forófitos dentro da parcela.

De modo geral as correlações encontradas foram fracas, indicando uma distribuição não agregada dos forófitos das diferentes classes de ICE-av, exceto em menores distâncias (6,5m) onde foram observados valores mais altos de correlação (Tabela 1.3).

Tabela 1.3. Índice de Moran por distância (m) para cada Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e parcela. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As parcelas são M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo e ST: Secundária Tardia. Os valores das correlações destacados representam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Parcela	ICE-av	Índice de Moran por distância (m)					
		0	6,5	15,5	25	35	45
M1	0	-0,133	0,117	0,053	0,013	-0,006	-0,013
	1	0,444	0,046	0,028	0,002	-0,004	-0,004
	2	0,065	0,027	0,02	0,002	-0,005	-0,004
	3	0,602	0,105	0,064	0,022	0,005	0,005
M2	0	0,201	0,049	0,033	0,013	0,007	-0,002
	1	0,421	0,08	0,057	0,033	0,012	-0,012
	2	0,386	0,047	0,038	0,021	0,011	-0,007
	3	0,089	0,069	0,024	-0,0004	0,003	-0,003
M3	0	0,957	0,037	0,027	0,008	0,003	-0,004
	1	0,407	0,045	0,031	0,009	0,002	-0,006
	2	0,205	0,055	0,035	0,013	-0,003	-0,005
	3	0,078	0,019	0,014	0,011	-0,0009	-0,001
CS	0	0,35	0,082	0,055	0,035	0,03	0,008
	1	0,137	0,058	0,035	0,01	0,003	-0,003
	2	0,131	0,016	0,017	0,002	0,001	-0,008
	3	0,348	0,141	0,099	0,059	0,035	0,005
ST	0	0,208	0,015	0,004	0,0005	0,004	0,004
	1	0,414	0,047	0,032	0,02	0,012	-0,006
	2	0,363	0,008	0,003	0,003	0,003	0,001
	3	0,566	0,058	0,036	0,031	0,014	-0,004

1.4.8. Fatores que influenciam na ocorrência de epífitas avasculares

A partir do GLM que incluiu as seis variáveis preditoras selecionadas, aquelas com maior peso para a ocorrência de epífitas avasculares foram ocorrência de perturbação antrópica (parcela onde houve corte seletivo, 0,1017) e densidade da madeira do forófito (-0,4325). Houve também relação forte entre a ocorrência de epífitas avasculares e vasculares (ICE)(0,3319) e apesar de significativo, o diâmetro mostrou-se uma variável de menor força que as demais (0,0128) (Tabela 1.4).

Tabela 1.4. Variáveis analisadas, pesos relativos correspondentes (Estimate S) e seus valores de significância para a variável resposta Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) na análise GLM. O suporte estatístico forte (intervalo não sobreposto a zero) é demonstrado a partir de asteriscos (*), e os números negativos são referentes a relações negativas.

Variável	Estimate S	Pr(> t)	Significância
Diâmetro	0,0128	0,0002	***
Corte Seletivo	0,1017	0,0178	*
Madura	0,0134	0,7052	
Densidade madeira	-0,4325	8,72E-07	***
ICE	0,3319	< 2E-16	***
IC	-0,0283	0,0927	.
Inclinação	0,0571	0,0734	.

1.5. Discussão

Nas parcelas de estudo foram classificados visualmente 8.149 forófitos quanto à cobertura por epífitas avasculares, dentre os quais quase 93% tiveram alguma ocorrência de indivíduos deste grupo. No geral, áreas maduras e com perturbação antrópica tiveram um padrão semelhante de ocorrência, que foi também positivamente relacionado a fatores como diâmetro, inclinação e iluminação da copa dos forófitos. Nos indivíduos arbóreos com mais epífitas avasculares também foi identificada maior ocorrência de epífitas vasculares. A densidade da madeira foi negativamente relacionada à ocorrência de epífitas avasculares e apesar de não existir uma forte correlação de distribuição espacial, os forófitos com maior cobertura por epífitas avasculares encontraram-se em maior abundância nos vales presentes

no interior das parcelas.

As características ecológicas das Florestas Montanas de Mata Atlântica têm um papel significativo na ocorrência e abundância de epífitas avasculares, uma vez que são áreas com condições de alta precipitação e umidade relativa ao longo de todo o ano, favorecendo tanto processos fisiológicos quanto a reprodução de epífitas avasculares (Santos, 2011). Em áreas Tropicais Montanas, inclusive, sabe-se que os filtros abióticos locais têm maior importância na distribuição de epífitas do que uma preferência que este grupo possa exibir por determinada espécie de forófito (Wolf, 1993; Richards, 1984).

O padrão de ocorrência de epífitas avasculares mostrou-se semelhante entre a área de floresta madura e aquelas com diferentes históricos de perturbação antrópica. Apesar disso, foram observadas diferenças na distribuição entre as parcelas, em decorrência de mudanças nas condições locais, de microhabitats e também na própria estrutura da floresta (Alvarenga & Porto, 2007; Clark, 2007), consequências que as perturbações podem ocasionar. O perfil luminoso dentro da área em sucessão tardia é mais similar ao encontrado na área de floresta madura do que em relação à parcela que sofreu corte seletivo (Fauset et al., 2017), explicando também o padrão parecido de ocorrência de cobertura por epífitas avasculares entre estas duas áreas.

Foi evidenciada uma relação positiva entre o diâmetro dos forófitos e a cobertura por epífitas avasculares, de acordo com o que era esperado (Frahm, 1990; Bates, 1992). O diâmetro da árvore suporte é considerado como um filtro importante para a ocorrência deste grupo (Batista & Dos Santos, 2016), uma vez que há maior área superficial passível de colonização em forófitos com maiores diâmetros, assim como alta diversidade de microhabitats potencialmente favoráveis ao estabelecimento e sobrevivência das briófitas epífitas (Mežaka et al., 2008).

A inclinação do forófito foi outro fator que favoreceu o estabelecimento de epífitas avasculares. Em fustes inclinados há diminuição da velocidade de escoamento da água da precipitação, que carrega nitrogênio e outros minerais dissolvidos tanto da atmosfera quanto pela lixiviação dos tecidos do organismo suporte, importantes para o desenvolvimento das epífitas avasculares (Bates, 1992). Esta característica também pode ser responsável por retenção de umidade em zonas específicas do fuste e galhos e facilitar o estabelecimento de esporos (Cornelissen & ter Steege, 1989; Mežaka et al., 2010).

A relação negativa identificada entre a densidade da madeira e a ocorrência das

epífitas avasculares foi diferente do esperado, pois partindo-se da associação entre maior densidade e menores taxas de crescimento, as árvores de maior idade seriam também as com madeira mais densa (Vieira et al., 2008), que estariam há maior tempo no local com sua superfície exposta e sendo uma área potencial para a chegada e estabelecimento de esporos destas epífitas. Ao perceber este padrão e investigar outras características presentes nos forófitos das famílias mais abundantes na comunidade arbórea das parcelas, foi observado que a família Myrtaceae é uma delas (Medeiros, 2009), possuindo alta densidade de madeira ($\sim 0,765 \text{ g cm}^{-3}$) e cujo córtex é descamante e pouco estável (Proença, 2020). Deste modo, apesar de uma possível colonização epifítica prévia destes forófitos, - associada à menor taxa de crescimento devido à maior densidade da madeira - a existência do córtex com baixa estabilidade da família à qual pertencem pode ter afetado a permanência da comunidade, refletindo em baixa cobertura por epífitas.

Além disso, deve-se considerar que a velocidade de colonização e recolonização de uma superfície arbórea pode ser extremamente baixa e superior a cinco anos para a observação das primeiras epífitas avasculares, mesmo diante de condições favoráveis presentes em Florestas Ombrófilas Densas Montanas e da abundância e diversidade desta comunidade nas áreas, que pode atuar como fonte de esporos (Nadkarni, 2000). Os estudos associados às dinâmicas da comunidade de epífitas após perturbações antrópicas e naturais ainda são escassos e em sua maioria conduzidos após retirada experimental de indivíduos epifíticos em áreas determinadas, como descrito em Cobb et al. (2001), no qual 8% da superfície exposta foi ocupada por epífitas após o intervalo de um ano, chegando a somente 27% depois de três anos.

Ao se observar que a cobertura por epífitas avasculares aumenta à medida em que há maior iluminação da copa, inicialmente deve-se considerar que a estrutura estratificada das Florestas Tropicais é responsável pela chegada de modo difuso da luz aos diferentes estratos e ao sub-bosque, e em menor intensidade em comparação à incidente sobre a copa (Wolf, 1993), proporcionando um gradiente vertical condições que de modo geral favorecem a ocorrência de epífitas avasculares. Somado a isto, em Florestas Montanas a formação e movimentação de nuvens, juntamente com os frequentes eventos de neblina (“precipitação oculta”) atuam como fonte de umidade e diminuem a radiação solar recebida durante o dia (Rosado et al. 2010), também contribuindo para a instalação e permanência de epífitas avasculares em locais que podem ser mais expostos à incidência solar direta, como a copa das

árvores. É importante lembrar que algumas espécies de briófitas podem ocorrer em locais de luz intensa e menor umidade e que existem preferências de nicho associadas à zonação vertical (Oliveira, 2009). Algumas características funcionais podem estar presentes em briófitas que se instalam em regiões mais expostas do dossel, como rápida captação e regulação hídrica, além de proteção à radiação solar através da presença de pigmentos escuros e da forma de vida em tapetes (Souza et al., 2020). Ao se observar que a cobertura por epífitas avasculares aumenta com a incidência de luz na copa do forófito, é provável que sua comunidade também mude, porém devido à metodologia adotada não foi possível verificar e seriam necessários estudos posteriores para esclarecimento.

O papel das epífitas avasculares como facilitadoras para o estabelecimento de grupos vegetais mais complexos foi evidenciado neste estudo, a partir da relação positiva entre a cobertura do forófito por epífitas avasculares e vasculares. A colonização prévia por epífitas avasculares proporciona o desenvolvimento de um substrato que auxilia na fixação destas e de outras formas de vida características de sucessão tardia (Uniyal, 1999; Chilanti & Bordin, 2016), além de promover acúmulo de nutrientes e retenção de água (Nadkarni, 2000).

Foi observado que o relevo das parcelas tem impactos na distribuição das epífitas avasculares, uma vez que variações na inclinação do terreno e em sua elevação são associadas à diferenças nas condições microclimáticas de temperatura, incidência de luz e umidade (Cardoso-Leite, 2000), assim como à mudanças na estrutura das Florestas Tropicais (Oliveira-Filho et al., 2001). Nas áreas de Floresta Montana onde o estudo foi realizado, a topografia apresenta inclinação $>30^\circ$ (Alves et al., 2010), determinando as faces mais expostas da vegetação (Medeiros, 2009). Os vales presentes no interior das parcelas recebem menos radiação luminosa e são mais úmidos comparativamente às áreas elevadas, exibindo condições que favorecem a ocorrência de epífitas avasculares. Nas áreas mais elevadas, os forófitos estão sujeitos à maior exposição de luz e ventos, havendo dessecação e menor cobertura por epífitas avasculares. Além da relação com a topografia, a correlação espacial encontrada somente a menores distâncias pode ser associada ao modo de dispersão das briófitas, que ocorre a partir de esporos carregados pelo vento, apresentando algumas limitações de alcance e amplitude (Frahm, 2008).

1.6. Considerações finais

Este trabalho contribuiu para a identificação de fatores determinantes para a ocorrência de epífitas avasculares em áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana. Por não terem contato com o solo e utilizarem a comunidade arbórea como suporte, a sobrevivência e abundância deste grupo também estão associadas a atributos dos forófitos, como o diâmetro, inclinação e iluminação da copa. A densidade da madeira dos forófitos foi negativamente relacionada à ocorrência das epífitas avasculares, mas houve relação positiva entre a presença delas e de epífitas vasculares, evidenciando seu papel como facilitadoras de processos de sucessão ecológica.

As condições ambientais da Floresta Ombrófila Densa Montana - especialmente a alta umidade e os eventos frequentes de neblina - favorecem a ocorrência e abundância de epífitas avasculares, principalmente em regiões de pequenos vales. As mudanças nas condições em áreas com perturbações antrópicas mostraram-se importantes para a presença e distribuição deste grupo também, conhecido como bioindicador por sua sensibilidade às alterações ambientais.

Através deste estudo foi possível ampliar o conhecimento sobre a comunidade epifítica avascular, fornecendo bases para a compreensão dos ecossistemas nos quais elas são abundantes e para políticas de conservação, especialmente diante de cenários de mudanças no clima e no uso da terra.

Capítulo II

Modelos alométricos para estimativa de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica

2.1. Introdução

Epífitas são plantas que não mantêm contato com o solo, instalando-se sobre indivíduos arbóreos que são utilizados como suporte, chamados de forófitos (Benzing, 1990). Desta maneira, retiram água da atmosfera a partir de eventos de precipitação, transprecipitação e neblina e acessam os nutrientes principalmente através de deposição seca ou úmida (Benzing, 1990; Diaz et al., 2007).

São abundantes no dossel de Florestas Tropicais, onde é possível encontrar uma característica estratificação vertical que proporciona variações microclimáticas em diversos fatores como luminosidade, temperatura, umidade e concentração de gás carbônico (Oliveira et al., 2009; Lowman & Rinker, 2004).

Devido ao seu rápido ciclo de vida e sensibilidade às condições ambientais, as epífitas são conhecidas como bioindicadoras (Frahm, 2003; Bates, 2009). O desaparecimento de espécies e alterações na composição da comunidade local após um distúrbio são algumas das consequências observadas. Ainda, modificações em padrões de distribuição vertical ao longo do fuste e galhos dos forófitos também já foram descritos na literatura (Cornelissen & ter Steege, 1989; Sporn et al., 2010).

As epífitas avasculares não apresentam vasos condutores de seiva ou raízes (Raven et al., 2014), compreendendo a comunidade de líquens e o grupo parafilético das briófitas. Este trabalho terá como foco este segundo grupo, que abriga três divisões monofiléticas - Anthocerotophyta (Renzaglia et al., 2009), Marchantiophyta (Crandall-Stotler et al., 2009) e Bryophyta (Goffinet et al., 2009) - e é constituído por plantas criptogâmicas terrestres, amplamente difundido em regiões tropicais e subtropicais (Lemos-Michel, 2001).

As epífitas avasculares são parte fundamental das cadeias alimentares (Glime, 2017a) e proporcionam a ocorrência de interações ecológicas nos ecossistemas, sendo habitat para diversas espécies de vertebrados, invertebrados e protozoários (Glime, 2017b). Além disso, elas aumentam a diversidade no dossel facilitando o início da sucessão ecológica, ao criarem condições adequadas para a instalação de outras espécies, especialmente do grupo das epífitas vasculares (Nadkarni, 1984).

Alguns atributos do forófito, como o diâmetro, a altura, inclinação do fuste e textura da casca são importantes para a distribuição, estabelecimento e permanência deste grupo (Oliveira, 2009; Frahm, 2003). A reprodução das briófitas é dependente da água, e seu

controle hídrico é vinculado às condições externas do ambiente (poiquilohidria) (Gradstein, 1996), de modo que as características físicas e químicas da atmosfera têm interferência direta sobre elas (Patiño et al., 2016). Em Florestas Tropicais Montanas, epífitas avasculares são uma das formas de vida mais abundantes (Smith, 1982), exibindo preferência e encontrando-se distribuídas em sítios com alta umidade (Gradstein et al., 2001) e menor luminosidade, uma vez que em geral apresentam alta saturação fotossintética mesmo considerando-se baixa intensidade de irradiação (Proctor & Smirnoff, 2000).

As epífitas avasculares contribuem significativamente para a produtividade primária das florestas (Nadkarni, 1986; Zotz & Winter, 1994; Chapin et al., 2002) e para a ciclagem de nutrientes, seja por envolvimento na fixação de nitrogênio (Porada et al., 2014) ou por fornecimento de abrigo a organismos fixadores como as cianobactérias (Taiz & Zeiger, 2013; Glime, 2017). Estudos recentes em Florestas Tropicais Montanas na Costa Rica identificaram que a entrada de nitrogênio no ecossistema via fixação biológica realizada por epífitas criptógamas (líquens e briófitas) foi em média de 6,1 kg N ha⁻¹ ano, sendo que as briófitas contribuíram com 78% deste valor. Além disso, nestas mesmas áreas, a biomassa total das criptógamas foi de aproximadamente 2.977 kg ha⁻¹ em floresta sem histórico de perturbação antrópica, sendo 53% do total composto por briófitas (Markham et al., 2021).

A biomassa, peso seco da matéria orgânica presente em um ecossistema em um determinado tempo (Mbaekwe & Mackenzie, 2008) é uma propriedade chave (Chapin et al., 2002) cujo incremento se dá pela diferença entre a produtividade primária líquida e a biomassa perdida por processos como respiração e mortalidade, majoritariamente, em um dado intervalo de tempo (Keeling & Phillips, 2007). Inventários de biomassa são uma maneira de se conhecer sobre diversos processos em áreas tropicais, incluindo estoques e ciclagem de carbono e nutrientes (Nadkarni, 2004).

Para a quantificação da biomassa arbórea, podem ser utilizados métodos destrutivos (diretos), que envolvem coleta de material, ou métodos não destrutivos (indiretos), nos quais se faz uso de modelos alométricos ajustados baseados em um pequeno número de indivíduos cortados e coletados (Vieira et al., 2008). Modelos recentes para as estimativas de biomassa de epífitas vasculares incluem a coleta de todo o material epifítico do forófito (Bakker, 2015), e em modelos para as epífitas avasculares também se faz uso de métodos destrutivos, porém em menor escala (Lai et al., 2020). Modelos alométricos devem preferencialmente ter variáveis independentes de fácil medição, e são importantes

ferramentas ao fornecerem dados robustos que podem ser extrapolados para maiores escalas (ecossistemas específicos ou diferentes locais) (Vieira et al., 2008) e diminuir os impactos causados nos ecossistemas diante de métodos destrutivos.

Frequentemente as estimativas de biomassa incluem apenas os maiores indivíduos do componente arbóreo ($DAP > 10\text{cm}$), excluindo indivíduos do sub-bosque e briófitas (Chapin et al., 2002). Estudos recentes em Florestas Tropicais como a Mata Atlântica estimaram que a biomassa viva acima do solo (Alves et al., 2010) pode chegar a $283,2\text{ Mg ha}^{-1}$ e outros elementos que compõem a comunidade, como lianas (Alves et al., 2012), bambus (Padgurschi et al., 2021) e epífitas vasculares (Bakker, 2015), podem contribuir com até $12,68\text{ Mg ha}^{-1}$, $12,1\text{ Mg ha}^{-1}$ e $2,32\text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Pouco se sabe, no entanto, sobre o papel das epífitas avasculares para o estoque de carbono e nutrientes nestas florestas, mesmo sendo este um componente tão presente nestes ecossistemas (Morellato & Haddad, 2000).

Quantificar a biomassa de epífitas avasculares e conhecer melhor sobre sua abundância e distribuição no interior de Florestas Tropicais também é uma maneira de ampliar os estudos sobre sua comunidade, assim como sobre os processos ecossistêmicos nos quais elas estão envolvidas. Além disso, é de extrema importância considerar que as epífitas avasculares são um grupo bastante sensível às condições ambientais, e que possivelmente seriam umas das primeiras afetadas diante de um cenário de mudanças no uso e cobertura da terra (Ray et al., 2006), somado à tendências de aumento na temperatura global (Foster, 2001).

2.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral ajustar um modelo alométrico para estimar a biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica em áreas sob diferentes perturbações antrópicas. Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

2.2.1. Avaliar a distribuição espacial de epífitas avasculares ao longo do forófito e entre suas faces;

2.2.2. Estimar a biomassa por área (g cm^{-2}) por classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares;

- 2.2.3. Quantificar o conteúdo de carbono e nitrogênio das epífitas avasculares;
- 2.2.4. Ajustar um modelo alométrico para quantificação indireta da biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana;
- 2.2.5. Estimar a biomassa e os estoques de carbono e nitrogênio de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana a partir do modelo alométrico e do Índice de Cobertura por epífitas avasculares (ICE-av).

2.3. Métodos

2.3.1. Área de estudo

Esta pesquisa foi conduzida no Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), no Núcleo Santa Virgínia (23° 17' a 23° 24' S e 45° 03' a 45° 11' O). O PESH é uma Unidade de Conservação (UC) criada em 1977, através do Decreto Estadual nº 10.251, de 30 de agosto de 1977 e posteriormente ampliada pelo Decreto Estadual n.º 13.313, de 06 de março de 1979.

Atualmente a maior UC da Mata Atlântica, ele abrange uma extensão de 332 mil hectares e 25 municípios do estado de São Paulo. Em virtude de sua extensão territorial, o gerenciamento do PESH é dividido em onze Núcleos instalados e administrados pelo Estado, sendo o Núcleo Santa Virgínia resultante da desapropriação de duas fazendas (Ponte Alta e Santa Virgínia) em 1989.

Este Núcleo é composto por aproximadamente 17.000 hectares distribuídos entre os municípios de São Luis do Paraitinga (70%), Cunha (20%) e Ubatuba (10%), em altitudes que variam de 740m a 1.600m acima do nível do mar (Joly et al., 2012). Ele apresenta relevo com fortes declividades (Tabarelli et al., 1994) e frequentes eventos de neblina (Ghazoul & Sheil, 2010) e, segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é temperado-quente, com verão quente e chuvoso (tipo Cwa). A temperatura média anual é de 17°C e a precipitação média anual atinge valores de 2.300mm, não sendo inferior a 60 mm mesmo na estação seca, entre julho e agosto (Salemi, 2009).

A cobertura vegetal é predominantemente composta por Floresta Ombrófila Densa Montana (Veloso et al., 1991) com abundância de epífitas, taquaras e samambaias (Ghazoul & Sheil, 2010). Em seu interior nota-se um mosaico de áreas de floresta madura, de floresta secundária em estágio tardio de sucessão e áreas de pastagem (Tabarelli et al., 1993),

sendo que algumas dessas áreas passaram por episódio de queima e/ou de corte raso (Padgurschi et al., 2011).

2.3.2. Amostragem e coleta de dados

A coleta de dados ocorreu em cinco parcelas permanentes de um hectare (100m x 100m) cada, que foram estabelecidas pelo Projeto BIOTA/FAPESP Gradiente Funcional (proc. 03/12595-7) (Joly et al., 2012) em 2007 no PESH. As parcelas do Núcleo Santa Virgínia são nomeadas: NSV-01 ($23^{\circ}32'66''\text{S}$, $45^{\circ}06'85''\text{O}$), NSV-02 ($23^{\circ}32'66''\text{S}$, $45^{\circ}06'98''\text{O}$), NSV-03 ($23^{\circ}32'83''\text{S}$, $45^{\circ}07'38''\text{O}$), NSV-04 ($23^{\circ}32'67''\text{S}$, $45^{\circ}07'55''\text{O}$) e NSV-05 ($23^{\circ}32'54''\text{S}$, $45^{\circ}09'38''\text{O}$) (Figura 2.1)².



Figura 2.1. Localização geográfica das cinco parcelas de estudo (NSV-01, NSV-02, NSV-03, NSV-04, NSV-05) no contexto do Parque Estadual da Serra do Mar (SP) e dos limites municipais (Cunha, Ubatuba e São Luis do Paraitinga).

As parcelas NSV-01, NSV-02 e NSV-03 são compostas por floresta madura e sem histórico de perturbação antrópica conhecido, e serão referidas como Madura 1 (M1), Madura 2 (M2) e Madura 3 (M3), respectivamente. A parcela NSV-04 é uma floresta em processo de regeneração avançada. De acordo com moradores da região, ela foi implantada em uma área onde houve remoção de taquaras e corte seletivo de madeira durante aproximadamente

² Os códigos são referentes àqueles adotados pela plataforma ForestPlots.net e correspondem, respectivamente, às parcelas K, L, M, N e T do projeto BIOTA/FAPESP Gradiente Funcional (proc. 03/12595-7) (Joly et al., 2012).

quinze anos, perdurando até quando houve incorporação do local ao PESH (Padgurschi et al., 2011). Devido a este histórico, ela será tratada como corte seletivo (CS). Já a parcela NSV-05 apresentou episódio de corte raso em meados de 1960 e foi abandonada logo após, encontrando-se atualmente em processo de sucessão secundária tardia e sendo referenciada como ST.

Na ocasião do estabelecimento das parcelas, todos os indivíduos (samambaias, palmeiras, árvores vivas e árvores mortas em pé) com diâmetro à altura do peito (DAP) $\geq 4,8$ cm foram georreferenciados e identificados, seguindo adaptações nos protocolos propostos pela Rede Amazônica de Inventários Florestais (RAINFOR) (Joly et al., 2012). Desde 2015 essas parcelas vêm sendo recenseadas anualmente pelo projeto ECOFOR (FAPESP/NERC proc. 12/51872-5). Dada a importância das epífitas nessas florestas, além das informações normalmente levantadas em censos florestais, foi incluída a classificação das árvores quanto à cobertura por epífitas vasculares e iluminação de sua copa. Além disso, observam-se características do fuste (como inclinação e tipo de casca, por exemplo) e é feita a identificação botânica, a partir da qual infere-se a densidade da madeira. Nesta pesquisa foram usados dados do censo realizado pela equipe entre os anos de 2017 e 2018, e pela primeira vez foi feita a classificação dos indivíduos arbóreos vivos também quanto à cobertura por epífitas avasculares, conforme descrito na próxima seção. Os dados podem ser obtidos em sua totalidade através do acesso à plataforma ForestPlots.net (Lopez-Gonzales et al., 2009, 2011).

2.3.3. Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)

Todos os indivíduos vivos com DAP $\geq 4,8$ cm localizados no interior das cinco parcelas foram classificados com base no Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av). Esse índice foi implementado pela primeira vez durante o censo de 2017/2018 e foi criado para o presente estudo, adaptado de Tansley & Chipp (1926). Ele corresponde à porcentagem de cobertura da superfície do fuste e galhos por epífitas avasculares, estimada por observação visual. Ele não inclui os líquens e é composto por quatro classes distintas (Figura 2.2).

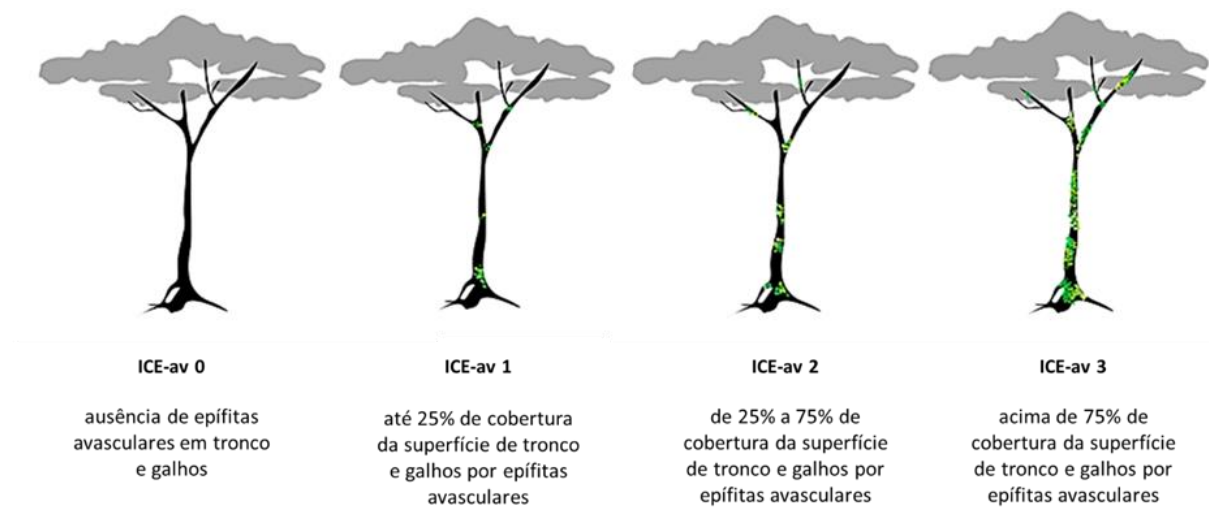


Figura 2.2. Representação esquemática das quatro classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), adaptado de Tansley & Chipp (1926). ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

Durante a classificação, ocorrência de epífitas avasculares em diferentes quadrantes do forófito (correspondentes às faces norte, sul, leste e oeste) também foi observada, assim como evidências de distribuição vertical da comunidade epifítica.

2.3.4. Coleta de material epifítico avascular ao longo do forófito para estimativa da biomassa

Para quantificar a biomassa de epífitas avasculares e sua distribuição espacial ao longo do forófito, vários procedimentos foram adotados, conforme descrição a seguir:

Dentre os indivíduos classificados em um dos quatro ICE-av, dez pertencentes a cada um deles foram sorteados para a coleta. Esta aleatorização foi feita entre indivíduos de todas as parcelas, independentemente da existência ou não de alguma perturbação antrópica.

Houve subdivisão dos forófitos em diferentes alturas do fuste e galhos, correspondendo a quatro zonas ecológicas distintas que representam um gradiente de condições da base do forófito até copa. A subdivisão adotada foi adaptada de Kersten e

Waechter (2011), para estudos quantitativos de epífitas. A zona 1 compreende desde a base do forófito até 1,30m de altura, a zona 2 corresponde ao intervalo entre as zonas 1 e 3, variando em extensão de acordo com a altura do fuste, a zona 3 refere-se ao trecho medido a partir da ramificação dos galhos até 1,30m em direção à base do forófito e a zona 4 inclui somente os galhos, da ramificação do tronco até a extremidade (Figura 2.3).

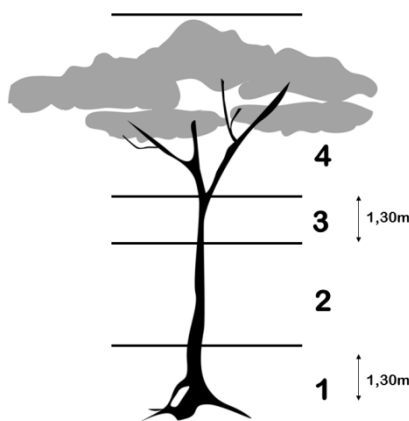


Figura 2.3. Divisão do forófito em zonas ecológicas. Zona 1: da inserção da raiz no solo até 1,30m, Zona 2: região intermediária do fuste, Zona 3: até 1,30m abaixo da ramificação dos galhos e Zona 4: do início da ramificação dos galhos até a extremidade dos mesmos.

Para cada uma das árvores visitadas, inicialmente determinou-se a orientação de cada um dos pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) utilizando-se uma bússola. Estes pontos cardeais foram identificados como as quatro faces do forófito, N-S-L-O.

Para a determinação do peso das epífitas avasculares por área (g cm^{-2}), foi empregado o método destrutivo e feita a coleta de amostras em todas as zonas ecológicas e faces, nos meses de junho e novembro. A área da amostra foi definida como uma área do tronco (plot) (Gradstein et al., 2003) com altura fixa de 20 cm e largura variável, sendo esta última ajustada no momento da coleta e de acordo com perímetro da seção amostrada. A largura do plot correspondeu à $\frac{1}{4}$ do perímetro, para que fosse possível retirar amostras das quatro faces na mesma altura (Kersten, 2011).

A altura inicial do ponto de coleta, dentro do intervalo de abrangência de cada uma das zonas ecológicas, foi previamente aleatorizada. Para acessar as zonas mais altas (3 e 4) de alguns forófitos, foi necessário o uso de escada e/ou técnicas de escalada (ter Steege e Cornelissen, 1988). A coleta das epífitas seguiu a metodologia proposta por Yano (1984), e a

retirada do material botânico do fuste e galhos foi feita com auxílio de uma espátula, sendo em seguida a amostra de cada uma das faces pesada com um dinamômetro para determinação do peso úmido. Houve separação e acondicionamento em sacos de papel identificados com o número do forófito correspondente, a zona ecológica e a face. Em seguida, foi medido o perímetro superior e inferior da seção amostrada.

Todo o material coletado foi colocado em estufas do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas - SP a 60°C, e lá mantido até obtenção de peso constante (Mardegan, 2013)

Após triagem do material seco, houve pesagem em balança semianalítica (precisão 0,001g) e acondicionamento adequado, totalizando um número final de aproximadamente 480 amostras de biomassa de epífitas avasculares.

2.3.5. Quantificação do conteúdo de carbono e nitrogênio de epífitas avasculares

Para a quantificação do conteúdo de carbono e nitrogênio das epífitas avasculares, do conjunto de amostras coletadas em cada um dos ICE-av, foi sorteada aleatoriamente uma amostra de cada uma das faces dentro de cada uma das zonas ecológicas, totalizando 48 amostras. Elas foram processadas até pó fino (150 μ m), em procedimentos realizados no Laboratório de Fisiologia Molecular de Plantas (LaFiMP/Unicamp). Posteriormente, foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e pesadas em balança analítica de precisão (Santorius-ME36S), separadas alíquotas de 0,020 a 0,040 g de cada uma delas, sendo então acondicionadas em cápsulas de estanho, que foram colocadas em analisador elementar (Carlo Erba/Delta Plus modelo 1110, Milão, Itália), que determina a concentração de nitrogênio e carbono totais através de combustão.

2.3.6. Estimativa da área da superfície do forófito

A área de superfície do forófito foi calculada para cada indivíduo com base no diâmetro e na altura dos indivíduos, considerando-se cada um deles com forma aproximada à da figura geométrica espacial denominada tronco de cone (Marinho, 2010).

Para a definição das medidas do tronco de cone, utilizamos os diâmetros aferidos em campo no momento da coleta das amostras de epífitas avasculares (descrita no item 3.4

acima). Como a altura de árvores em Florestas Tropicais é um parâmetro de difícil observação e medida em campo, vários autores tem sugerido a utilização de modelos alométricos desenvolvidos na região para estimar a altura a partir do diâmetro dos indivíduos arbóreos. Sendo assim, para o cálculo da altura total dos indivíduos arbóreos em áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica nos baseamos na equação alométrica descrita em Scaranello et al. (2012):

$$H \sim 27,188 * (1 - e^{(-0,091 * (DAP^{0,738}))})$$

onde H é a altura total (m) e DAP corresponde ao diâmetro à altura do peito (cm).

A altura de palmeiras e samambaias foi tomada em campo, uma vez que as mesmas apresentam menores alturas quando comparadas às árvores e, portanto, são mais fáceis de medir.

2.3.7. Quantificação da biomassa epifítica avascular por forófito

Para as estimativas da biomassa total do forófito, foi considerado o peso por área amostrada de cada uma das zonas ecológicas. Foi adotado o valor médio de biomassa de epífitas avasculares encontrado para cada um dos Índices de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), multiplicado pela área estimada de superfície do forófito.

2.3.8. Ajuste do modelo alométrico

A partir dos dados totais de biomassa estimada (kg) de epífitas avasculares para cada um dos 30 forófitos amostrados, foi ajustado um modelo alométrico para a quantificação indireta desta biomassa para Florestas Ombrófilas Densas Montanas.

Foi utilizado o programa R Studio 1.4.1103 (R Development Core Team 2020), e inicialmente foi investigada a distribuição dos dados de biomassa, bem como sua homoscedasticidade através dos testes de Shapiro-Wilk e Fligner-Killeen. Em seguida, foram analisadas as possíveis correlações entre as variáveis preditoras - ICE-av, diâmetro e altura - por meio da correlação de Pearson obtida através do pacote “psych” (Figura 2.4).

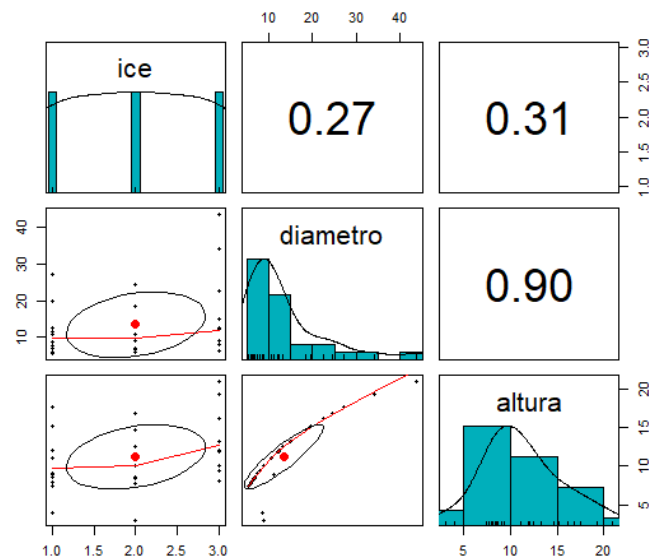


Figura 2.4. Correlações entre as variáveis preditoras selecionadas (ICE-av, diâmetro e altura) para o desenvolvimento do modelo alométrico para quantificação da biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.

Em virtude do modelo alométrico utilizado neste estudo para as estimativas da altura total do forófito fazer uso do diâmetro, na análise foi verificada forte correlação. Vale lembrar que a correlação entre estas variáveis é descrita na literatura, mas a relação pode variar uma vez que depende de condições ambientais como clima, topografia e tipo de solo (quantidade de argila) (Vieira et al., 2008).

Ao todo, foram testados nove modelos - entre lineares e não lineares - para a distribuição dos dados de biomassa (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Modelos selecionados para serem testados com os dados de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.

Modelos	Tipo	Fórmulas	Referências
Log equation	linear	$y=a+b*\log(x)$	Curtis (1967); Fang & Bailey (1998)
Hiperbolic	não linear	$y=a*x/(b+x)$	Fang & Bailey (1998); Tang (1994)
Power equation	não linear	$y=a*x^b$	Batista et al. (2001); Fang & Bailey (1998)
Exponential equation	não linear	$y=\exp(a+b/x+1)$	Fang & Bailey (1998); Huang & Titus (1992)
Chapman-Richards	não linear	$y=a*(1-\exp(-b*x))^c$	Batista et al. (2001); Huang & Titus (1992)
Weibull equation	não linear	$y=a*(1-\exp(-b*x^c))$	Batista et al. (2001); Bailey (1979)
Monomolecular equation	não linear	$y=a*(1-b*\exp(-c*x))$	Batista et al. (2001); Fang & Bailey (1998)
Gompertz equation	não linear	$y=a*\exp(-b*\exp(-c*x))$	Batista et al. (2001); Huang & Titus (1992)
Logistic equation	não linear	$y=a/(1+b*\exp(-c*x))$	Batista et al. (2001); Huang & Titus (1992)

Os modelos foram ajustados usando as funções “Nonlinear Least Squares” e “Fitting linear models”. Para acessar a performance de cada um deles e testar os efeitos das variáveis diâmetro e altura para a biomassa de epífitas avasculares, aplicamos o Critério de Informação de Akaike (ΔAIC) (Burnham & Anderson, 2002; Chave et al., 2005) disponível no pacote “bbmle”.

A fórmula de AIC utilizada como critério para esta seleção de modelos foi $AIC = -2 \log(L) + 2p$, onde L é a probabilidade de ajuste do modelo e p corresponde ao número de parâmetros do modelo. O melhor modelo dentre todos os testados é aquele que tem o menor valor de ΔAIC , sendo que a máxima tolerância é para valores iguais a Log 8 ou 2 (Burnham & Anderson, 2002).

Os modelos organizados para as variáveis altura e DAP (individualmente) estão descritos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Modelos alométricos e equações correspondentes, considerando-se as variáveis altura total e DAP do forófito (individualmente) como variáveis preditoras para a quantificação de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana.

Nome do modelo	Equação do modelo	
	Variável altura	Variável DAP
log equation	$\ln(\text{biomassa} \sim \log(\text{altura}))$	$\ln(\text{biomassa} \sim \log(\text{DAP}))$
hiperbolic	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \text{altura} / (b + \text{altura}))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \text{DAP} / (b + \text{DAP}))$
power equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \text{altura}^b)$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \text{DAP}^b)$
exponencial equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim \exp(a + b / \text{altura} + 1))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim \exp(a + b / \text{DAP} + 1))$
chapman-richards	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - \exp(-b * \text{altura}))^c)$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - \exp(-b * \text{DAP}))^c)$
weibull equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - \exp(-b * \text{altura}^c))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - \exp(-b * \text{DAP}^c))$
monomolecular equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - b * \exp(-c * \text{altura}))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * (1 - b * \exp(-c * \text{DAP}))$
gompertz equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \exp(-b * \exp(-c * \text{altura}))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a * \exp(-b * \exp(-c * \text{DAP}))$
logistic equation	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a / (1 + b * \exp(-c * \text{altura}))$	$\text{nls}(\text{biomassa} \sim a / (1 + b * \exp(-c * \text{DAP}))$

2.3.9. Estimativa da biomassa total de epífitas avasculares nas Florestas Montanas de Mata Atlântica

A estimativa da biomassa total de epífitas avasculares na área de estudo foi feita a partir da soma da biomassa de epífitas avasculares de cada forófito, estimada a partir do modelo ajustado nesse estudo. Esta biomassa estimada a partir da utilização do modelo foi comparada à soma da biomassa estimada a partir da área superficial do forófito.

2.3.10. Análises estatísticas

Para os dados contínuos da quantificação de carbono e nitrogênio foi utilizada a ANOVA de uma via (teste paramétrico), seguido do teste post-hoc de Tukey ou o Teste de Kruskal-Wallis (não paramétrico) seguido de teste post-hoc de Dunn.

Para avaliação da distribuição da biomassa de epífitas avasculares (variável resposta) entre faces e zonas ecológicas do forófito, foi usada a abordagem de seleção de modelos, a partir de um modelo linear geral (GLM) que incluía as variáveis face (N, S, L, O) e zona (1,2,3,4) como preditoras. No ambiente R foi testado o peso relativo das variáveis preditoras para a biomassa, usando-se a função “dredge” do pacote “MuMIn”, e através da função “model average” foi calculada a importância relativa de cada uma para os modelos plausíveis com $\Delta AIC < 2$ (Burnham & Anderson, 2002).

Foi utilizado o programa R Studio 1.4.1103 (R Development Core Team 2020).

2.4. Resultados

2.4.1. Biomassa de epífitas avasculares nas zonas ecológicas e faces

A biomassa das epífitas avasculares apresentou valores semelhantes ao longo de todo o forófito (Figura 2.5), não havendo diferenças na biomassa observada entre as zonas ecológicas ou faces (Tabela 2.3). O valor médio de biomassa de epífitas avasculares por área para os indivíduos classificados no índice ICE-av 1 foi de $0,0012 \pm 0,0017 \text{ g cm}^{-2}$, para o ICE-av 2 foi de $0,0019 \pm 0,0015 \text{ g cm}^{-2}$, e o ICE-av 3 mostrou os maiores valores associados, com $0,0027 \pm 0,0013 \text{ g cm}^{-2}$. Em média, a biomassa seca correspondeu a 19% da biomassa úmida das epífitas avasculares.

Os dados referentes à biomassa úmida e biomassa seca em todas as faces e zonas ecológicas encontram-se na seção “Anexos”.

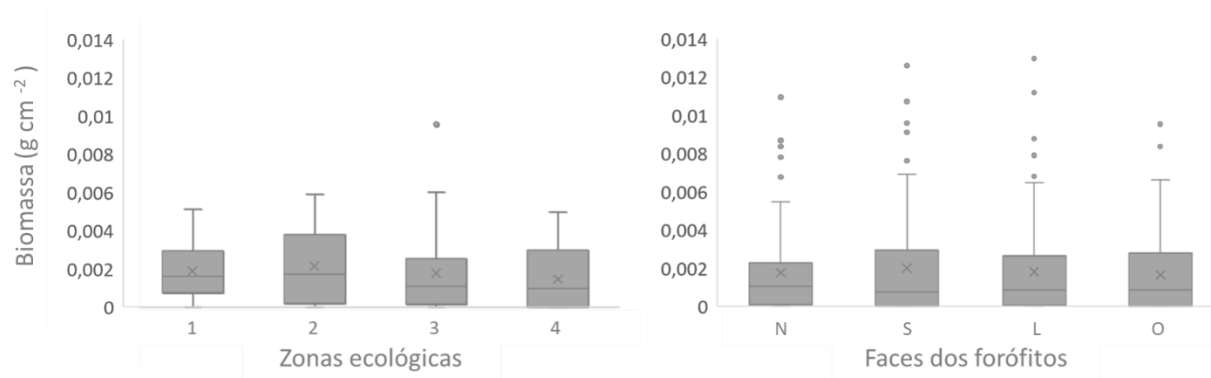


Figura 2.5. Biomassa de epífitas avasculares por área (g cm^{-2}) de acordo com as zonas ecológicas e faces do forófito. As zonas são Zona 1: da inserção da raiz no solo até 1,30m, Zona 2: região intermediária do fuste, Zona 3: até 1,30m abaixo da ramificação dos galhos e Zona 4: do início da ramificação dos galhos até a extremidade dos mesmos. As faces são N: norte, S: sul, L: leste e O: oeste.

Tabela 2.3. Variáveis preditoras utilizadas para a análise de distribuição de biomassa de epífitas avasculares, seus respectivos pesos relativos (Estimate S) e valores de significância.

Variável	Estimate (S)	Pr(> t)
Zona	-1,56E-01	0,08
Face	-5,30E-02	0,55

2.4.2. Conteúdo de carbono e nitrogênio de epífitas avasculares

A porcentagem média de carbono nas epífitas avasculares foi de $43,93 \pm 3,30\%$, e a porcentagem de nitrogênio correspondeu a $2,07 \pm 0,63\%$, levando a uma razão entre carbono e nitrogênio (C:N) de 21,22. Não houve diferença significativa da porcentagem de carbono entre as faces ($p=0,79$) ou zonas ($p=0,08$), e o mesmo ocorreu para o nitrogênio (para as faces, $p=0,25$ e para as zonas, $p=0,46$) (Figura 2.6).

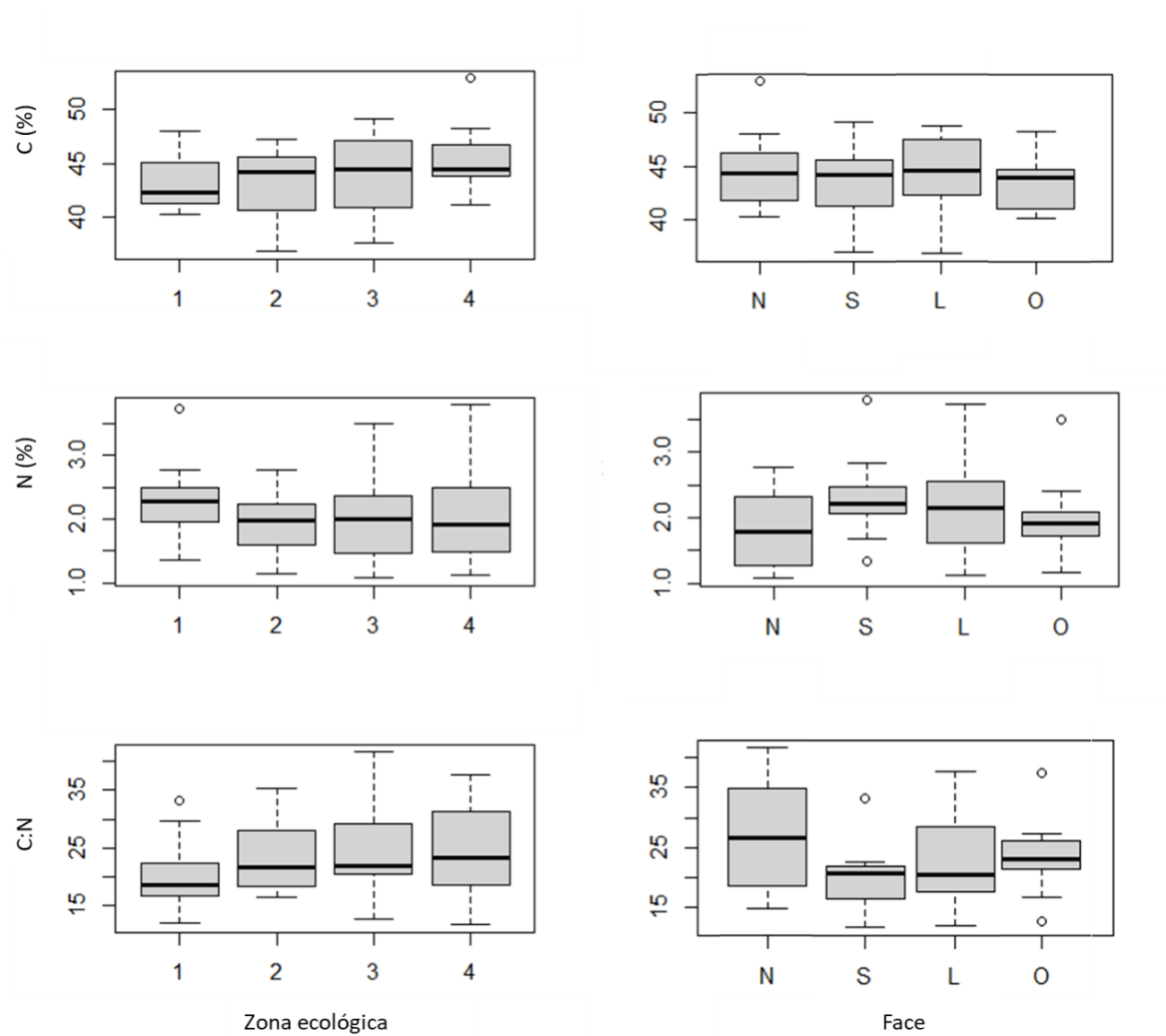


Figura 2.6. Dados de porcentagem de carbono (C), nitrogênio (N) e razão C:N de epífitas avasculares por zonas ecológicas (1,2,3 e 4) e faces do forófito (N,S,L e O).

2.4.3. Área de superfície do forófito e biomassa de epífitas avasculares

A área de superfície - estimada a partir dos valores de DAP e altura utilizando-se o tronco de cone como modelo teórico - variou entre 1,56 m² (para árvores com 5,83 cm de DAP) e 47,178 m² (para árvores com 43,58 cm de DAP). Observou-se uma forte relação entre a altura e a área estimada ($y=0,592e^{0,1939x}$, $r^2=0,9561$) (Figura 2.7).

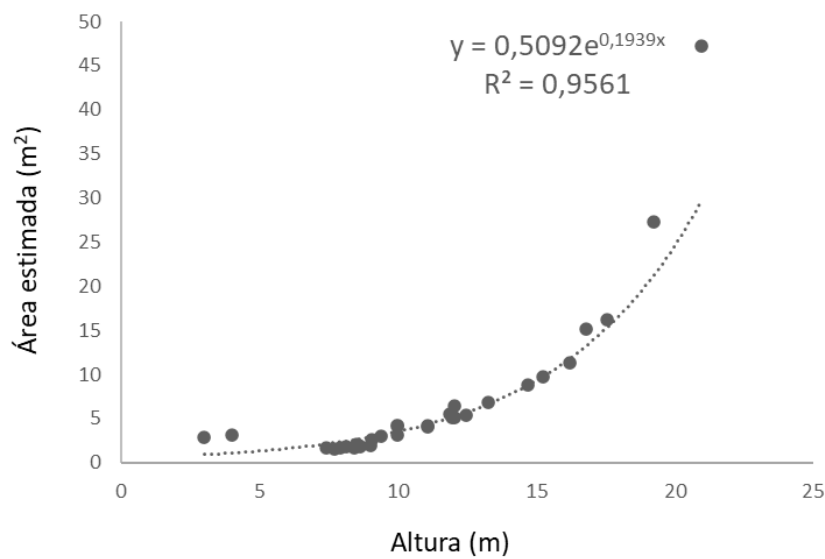


Figura 2.7. Relação entre a área estimada dos forófitos amostrados (m²) e sua altura (m).

Uma vez que não foi observada diferença significativa na biomassa por área de epífitas avasculares ao longo do tronco e galhos (zonas ecológicas e faces), utilizamos o valor médio da biomassa de cada classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) para o cálculo da biomassa total do forófito. Vale lembrar que o cálculo da biomassa total foi feito a partir da multiplicação da biomassa média do forófito pela área de superfície calculada para o mesmo. A tabela com os valores calculados encontra-se na seção “Anexos”.

2.4.4. Ajuste do modelo alométrico

A distribuição dos dados de biomassa estimada das epífitas avasculares não seguiu a distribuição normal (Shapiro-Wilk, $p=5,45e-08$), mas são dados homogêneos. Sua distribuição se aproxima de uma distribuição gama (Figura 2.8).

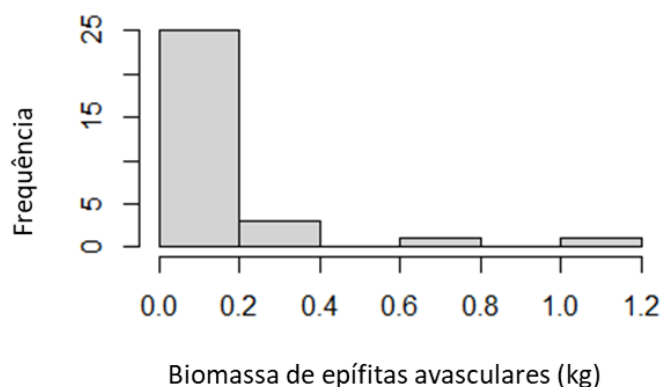


Figura 2.8. Distribuição da biomassa de epífitas avasculares (kg).

Após análise dos nove modelos, os quatro modelos mais simples (Log, Hiperbólico, Power e Exponencial) convergiram, ou seja, se ajustaram aos dados. Isto provavelmente ocorreu devido ao número de amostras ($n=30$), que é pequeno para um ajuste de modelos complexos com mais parâmetros (Chapman-richards, Weibull, Monomolecular, Gompertz e Logístico) e que são mais sensíveis ao número amostral. Dentre os modelos mais simples, os modelos Power e Exponencial tiveram um melhor ajuste (ΔAIC com valor inferior a 2). Em seguida, os modelos foram testados novamente considerando-se as variáveis altura e DAP separadamente. Dentre os modelos Power e Exponencial, o primeiro teve o menor valor de ΔAIC nos dois casos (Tabela 2.4) sendo por esta razão o modelo adotado para as análises posteriores.

Tabela 2.4. Modelos com melhor ajuste aos dados de biomassa por epífitas avasculares para a variável altura e para a variável DAP, e seus respectivos valores de ΔAIC .

Modelo	ΔAIC	
	Variável altura	Variável DAP
power	0.0	0.0
exponencial	1.9	2.6
log	21.8	11.9
hiperbólico	44.9	44.3

O modelo Power foi em seguida testado considerando-se diferentes combinações de variáveis preditoras, que tiveram como resultado diferentes valores de ΔAIC (Tabela 2.5).

Tabela 2.5. Modelos power testados com a combinação das variáveis predictoras (ICE-av, DAP e altura total do forófito) para as estimativas de biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana, e seus respectivos valores de ΔAIC .

Nome	Modelo	ΔAIC
Power	$nls(biomassa \sim a * DAP^b)$	8.6
Power.1	$nls(biomassa \sim a * (DAP + ICE-av)^b)$	5.9
Power.2	$nls(biomassa \sim a * (DAP + ICE-av + altura)^b)$	6.2
Power.3	$nls(biomassa \sim a * (DAP + altura)^b)$	8.2
Power.4	$nls(biomassa \sim a * (altura + ICE-av)^b)$	0.0
Power.4.1	$nls(biomassa \sim (a * (altura)^b + a * (ICE-av)^b))$	8.4
Power.4.2	$nls(\log(biomassa) \sim (a * (altura)^b + a * (ICE-av)^b))$	152.8
Power.5	$nls(biomassa \sim a * (altura)^b)$	8.4

Sendo assim, o modelo Power selecionado com o menor valor de AIC é o modelo Power.4 ($\Delta AIC=0$), cujos valores associados foram $a=1.194e-06$ e $b=4.269e+00$, sendo sua fórmula final:

$$biomassa \sim 1.194e-06 * (altura + ICE-av)^{4.269e+00}$$

Seu ajuste aos dados pode ser evidenciado na Figura 2.9:

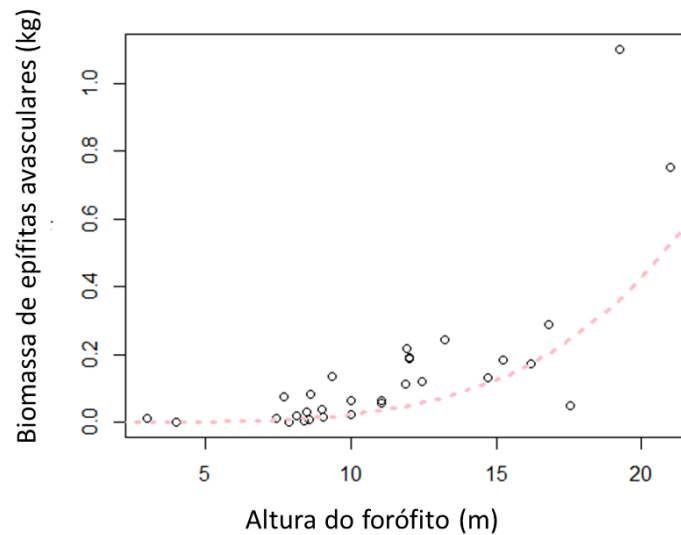


Figura 2.9. Ajuste da biomassa de epífitas avasculares (kg) em relação à altura total estimada do forófito (m), através do uso do modelo selecionado.

Considerando que a altura não é um dado de fácil obtenção em campo, especialmente em Florestas Tropicais, e também buscando não inserir no modelo possíveis fontes de erro provenientes da superestimativa ou subestimativa deste parâmetro, optamos

por também seguir com os testes dos modelos que não apresentavam a variável altura, os modelos Power (variável DAP) e Power.1 (variáveis DAP+ICE-av). O modelo Power.1 foi aquele que apresentou melhor ajuste ($\Delta AIC=0$, enquanto que o modelo Power apresentou $\Delta AIC=2,6$), sendo então selecionado também como mais uma opção para uso.

Os valores associados para o modelo Power.1 foram $a=0.0006856$ e $b=1.8762515$, sendo portanto sua fórmula geral representada como:

$$\text{biomassa} \sim 0.0006856 * (\text{DAP} + \text{ICE-av})^{1.8762515}$$

Seu ajuste aos dados pode ser evidenciado na Figura 2.10:

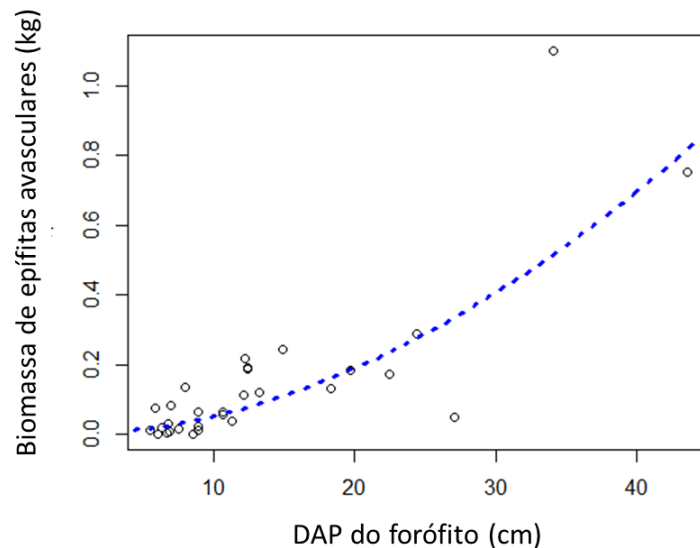


Figura 2.10. Ajuste da biomassa de epífitas avasculares (kg) em relação ao DAP do forófito (cm), através do uso do modelo selecionado.

2.4.5. Cálculo da biomassa total de epífitas avasculares por parcela

A partir da soma da biomassa de epífitas avasculares calculada para cada um dos indivíduos presentes nas parcelas, foi estimada a biomassa total (kg) para cada uma delas, Madura 1 (M1), Madura 2 (M2), Madura 3 (M3), Corte Seletivo (CS) e Secundária Tardia (ST). Para que pudessem ser feitas comparações posteriores, os valores de biomassa foram calculados a partir de três diferentes maneiras: I. área superficial do forófito, II. aplicando-se o modelo ajustado e selecionado com as variáveis preditoras altura do forófito e Índice de

Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e III. aplicando-se o modelo cujas variáveis foram diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av (Tabela 2.6). Os menores valores de biomassa de epífitas avasculares foram encontrados em áreas com perturbação antrópica anteriormente registrada (CS e ST). Para a parcela onde houve corte seletivo (CS), os valores variaram entre 179,83 kg ha⁻¹ e 229,29 kg ha⁻¹, enquanto que na área em sucessão tardia (ST) a variação foi entre 145,29 kg ha⁻¹ e 208,38 kg ha⁻¹ e nas áreas de floresta madura (M1, M2 e M3) nenhuma estimativa teve como resultado uma biomassa de epífitas avasculares menor do que 200 kg ha⁻¹.

Tabela 2.6. Biomassa estimada de epífitas avasculares estimada (kg ha⁻¹) para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.

Parcela	Biomassa estimada (kg ha ⁻¹)		
	Área superficial do forófito	Modelo Altura +ICE-av	Modelo DAP +ICE-av
M1	229,54	203,24	256,67
M2	208,96	200,63	241,63
M3	243,96	220,24	269,68
CS	183,30	179,83	229,29
ST	145,29	185,97	208,38

2.4.6. Contribuição das epífitas avasculares para os estoques de carbono e nitrogênio

Partindo-se dos valores de biomassa de epífitas avasculares para cada um dos forófitos, assim como daqueles referentes à quantificação de carbono e nitrogênio (43,93 ± 3,30% e 2,07 ± 0,63%, respectivamente), foi calculada a contribuição das epífitas para o estoque destes elementos nas parcelas (Tabelas 2.7 e 2.8). Seguindo os dados de biomassa estimada por parcela, aquelas onde houve perturbação antrópica no passado (CS e ST) tiveram menores valores tanto de carbono estimado quanto de nitrogênio.

Tabela 2.7. Estoque de carbono estimado (kg ha^{-1}) no compartimento das epífitas avasculares para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.

Parcela	Estoque de carbono estimado (kg ha^{-1})		
	Área superficial do forófito	Modelo Altura +ICE-av	Modelo DAP +ICE-av
M1	100,84	89,29	112,75
M2	91,79	88,14	106,15
M3	107,17	96,75	118,47
CS	80,53	79,00	100,73
ST	63,83	81,70	91,54

Tabela 2.8. Estoque de nitrogênio estimado (kg ha^{-1}) no compartimento das epífitas avasculares para cada parcela, a partir dos cálculos de área superficial do forófito, do modelo alométrico ajustado para as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), e do modelo alométrico ajustado para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e ICE-av. Para as áreas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia.

Parcela	Estoque de nitrogênio estimado (kg ha^{-1})		
	Área superficial do forófito	Modelo Altura +ICE-av	Modelo DAP +ICE-av
M1	4,75	4,21	5,31
M2	4,33	4,15	5,00
M3	5,05	4,56	5,58
CS	3,79	3,72	4,75
ST	3,01	3,85	4,31

2.5. Discussão

Sabe-se que as epífitas avasculares são um componente abundante e biodiverso do dossel de Florestas Tropicais (Nadkarni, 2004), e apesar do aumento do interesse por este grupo nas últimas décadas, os registros sobre ele ainda são escassos e representam menos de 0,5% quando se consideram todas as epífitas (Ramos et al., 2019). Os estudos são também menos frequentes com essa comunidade por razões como ausência de um padrão

metodológico consistente e heterogeneidade de ambientes que as epífitas avasculares ocupam em Florestas Tropicais, impondo desafios para a observação e coleta de material (Kersten & Waechter, 2011).

Apesar disso, o Índice de Cobertura por Epífitas avasculares formulado e implementado neste estudo mostrou-se um bom método para a classificação visual da cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, sendo uma abordagem qualitativa e quantitativa, uma vez que existiram diferentes valores médios de biomassa por área associados a cada classe do índice (ICE-av 1: $0,0012 \pm 0,0017 \text{ g cm}^{-2}$, ICE-av 2: $0,0019 \pm 0,0015 \text{ g cm}^{-2}$, ICE-av 3: $0,0027 \pm 0,0013 \text{ g cm}^{-2}$).

Sabe-se que a biomassa de epífitas avasculares é um parâmetro que indiretamente informa sobre a capacidade hídrica de Florestas Montanas (Pócs, 1980; Lai et al., 2020), e os dados deste trabalho evidenciaram que a retenção de água por este grupo de fato é alta, uma vez que a água corresponde a 80% de sua biomassa úmida. Estes valores foram encontrados com as coletas de material sendo feitas fora do pico da estação chuvosa nas áreas, o que mostra que o potencial de armazenamento de água das epífitas avasculares pode ser ainda maior do que o registrado. Em um gradiente altitudinal (de Terras Baixas a Florestas Montanas) no sul da Tailândia, Chantanaorrapint & Frahm (2011) encontraram que o armazenamento de água pelas briófitas epífitas variou entre 1,2 e 2,4 vezes o seu peso seco, e que nas áreas Montanas esse valor pode chegar a 1,500 litros por hectare.

Estudos mostram que há zonação vertical de espécies nas árvores suporte (Cornelissen & ter Steege, 1989; Sporn et al., 2010), uma vez que diferentes alturas do fuste e galhos (zonas ecológicas) podem abrigar floras diferenciadas associadas ao gradiente de condições ambientais encontradas (Johansson, 1974; Pócs, 1982). Em algumas áreas de Mata Atlântica, entretanto, um padrão claro de zonação não foi observado especialmente devido aos efeitos do histórico de perturbação (Alvarenga et al., 2010). No presente estudo também não foi identificada diferença relacionada à biomassa nas zonas ecológicas ou faces do forófito, fato que pode ter ocorrido devido às condições típicas de Florestas Ombrófilas Densas Montanas, como menor irradiação solar em seu interior e alta umidade, decorrentes da formação constante de nuvens, de frequentes eventos de neblina (Rosado, et al., 2010; Nadkarni, 1986) e da topografia das áreas, que também reforça estas características.

A porcentagem de carbono encontrada nas epífitas avasculares ($43,93 \pm 3,30\%$) foi semelhante aos valores da literatura para epífitas vasculares (44,43%), e as altas

porcentagens de nitrogênio encontradas neste estudo ($2,07 \pm 0,63\%$) evidenciam o papel que o grupo tem na aquisição e ciclagem de nutrientes (Coxson & Nadkarni, 1995). Em Florestas Montanas da Costa Rica, Clark et al. (2005) estimaram que estas epífitas são responsáveis pela retenção de 33 a 67% de todo o nitrogênio inorgânico atmosférico, o que corresponde a $6,8 \text{ kg N ha ano}^{-1}$.

Os valores de nitrogênio observados também reforçam a associação entre este grupo e organismos fixadores de nitrogênio como as cianobactérias, que nas epífitas encontram um habitat favorável para sua sobrevivência, convertendo o nitrogênio atmosférico em formas que podem ser utilizadas por outros seres vivos do sistema (Glime, 2017). A razão C:N encontrada foi baixa, tendo efeitos nas taxas de decomposição e na ciclagem de nutrientes do ecossistema, desempenhando importante papel em florestas que possuem solo com característica baixa fertilidade e alta acidez, como a Mata Atlântica (Martins et al., 2015).

Em estudos conduzidos também em áreas Tropicais Montanas da Costa Rica, Clark et al. (1998) encontraram que o valor estimado de nitrogênio acumulado por epífitas avasculares foi de $1,8 \text{ a } 3,0 \text{ g N m}^{-2}$, enquanto que Nadkarni et al. (2004) encontraram que em briófitas e líquens este valor é de $1,4 \pm 0,2\%$ em florestas primárias, e $1,4 \pm 0,34\%$ em florestas secundárias cuja perturbação antrópica ocorreu em meados de 1960 (assim como nas parcelas deste estudo). Também em Nadkarni et al. (2004), a biomassa encontrada em briófitas e líquens chegou a $4,058 \text{ kg ha}^{-1}$ em florestas primárias, apresentando valor bastante inferior em florestas secundárias, onde foram registrados 115 kg ha^{-1} . Estes valores menores de biomassa observados nas áreas onde houve algum tipo de perturbação antrópica se assemelham aos padrões encontrados neste estudo, onde independentemente do modelo adotado para a estimativa, a biomassa de epífitas avasculares foi maior em áreas de floresta madura, demonstrando que a comunidade de epífitas avasculares de fato é bastante sensível e demora para se reestabelecer após mudanças nas condições ambientais (Nadkarni, 2000).

O conhecimento sobre biomassa total e dos componentes das Florestas Tropicais é essencial para os estudos de estoques e fluxos de carbono destes ecossistemas, e a obtenção de informações precisas sobre este tema são cada vez mais necessárias devido à crescente importância que estas florestas tem recebido em debates internacionais, especialmente no que diz respeito à conservação e mitigação das mudanças do clima (Malhi & Grace, 2000). A quantificação indireta da biomassa pode ser feita a partir da construção e ajuste de modelos

alométricos, que além de evitar impactos associados à retirada de material do ambiente, também são passíveis de extrapolação para escalas espaciais maiores, trazendo informações robustas a partir de dados de fácil coleta em campo.

O principal modelo ajustado neste estudo inclui as variáveis altura e Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e constitui-se como uma ótima opção para áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana ou outras fitofisionomias onde os forófitos tenham a altura total observada com facilidade ou estimada indiretamente através de modelos, como os de Scaranello et al. (2012). Entretanto, como a altura nem sempre é uma informação de fácil acesso em campo e os modelos alométricos para estimar este parâmetro são menos frequentes, foi feito o ajuste também de um segundo modelo alométrico com as variáveis diâmetro e ICE-av, cuja utilização é indicada para situações nas quais o modelo principal deste estudo não pode ser aplicado devido às limitações acima mencionadas. Vale considerar que o uso do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares criado neste estudo confere certo refinamento ao modelo, uma vez que a relação qualitativa e quantitativa entre as classes que o compõe pôde ser evidenciada e é um diferencial em relação a outros estudos relacionados à quantificação de biomassa de epífitas avasculares (Nadkarni et al., 2004; Lai et al., 2020).

Foi feita uma comparação entre a biomassa estimada a partir do cálculo da área superficial do forófito, do uso do modelo com a altura e ICE-av como variáveis preditoras e do modelo com DAP e ICE-av como variáveis preditoras. De modo geral, os valores encontrados, de em média 208 kg ha⁻¹ em floresta madura, foram inferiores a outras pesquisas realizadas em áreas de Florestas Montanas ou com formação vegetal e condições ambientais semelhantes, como Hölscher et al. (2004), com 1,921 kg ha⁻¹, e Nadkarni et al. (2004), com 4,058 kg ha⁻¹, porém semelhantes aos descritos em Lai et. al. (2020), onde em áreas de Florestas Montanas em Taiwan a estimativa para as epífitas avasculares foi de 272 ± 104 kg ha⁻¹.

Este estudo, ao quantificar a biomassa de epífitas avasculares contribui para a compreensão da biomassa total das áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana, para as quais já houve estimativa de biomassa de outros componentes através de modelos alométricos específicos (para a biomassa viva acima do solo foi encontrado o valor de 283,2 Mg ha⁻¹ (Alves et al., 2010), 12, 1 Mg ha⁻¹ para os bambus (Padgurschi et al., 2021) e 3,8 Mg ha⁻¹ para as epífitas vasculares (Bakker et al., 2018)). Também é importante considerar que a aplicação

dos modelos deste estudo em outras fitofisionomias de Mata Atlântica pode tanto esclarecer sobre seu refinamento para as estimativas de biomassa quanto sobre a contribuição que o grupo das epífitas avasculares tem para a retenção de água e para os estoques de carbono e nitrogênio das áreas.

2.6. Considerações finais

Foi apresentado o primeiro modelo alométrico para a quantificação da biomassa de epífitas avasculares que inclui o Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), adaptado e implementado pela primeira vez também neste estudo. Ao combinar o ICE-av com outras variáveis que podem ser obtidas em campo (altura ou diâmetro do forófito), apresenta amplo potencial de aplicação e contribui para a ampliação do conhecimento sobre a biomassa viva acima do solo em Florestas Tropicais.

Quantificar a biomassa da comunidade epifítica avascular é uma maneira de compreender sobre os estoques e fluxos de carbono nestas florestas, assim como sobre o papel desta comunidade no funcionamento destes ecossistemas em termos de nutrientes (como o nitrogênio) e na retenção hídrica das áreas. Além disso, é também uma ferramenta para monitorar as alterações que poderão ocorrer nas epífitas avasculares e nas Florestas Tropicais diante de perturbações antrópicas e de um cenário de mudanças climáticas, visto que as epífitas são um grupo bastante sensível e conhecido como indicador de condições ambientais.

Referências

Acebey, C.; Gradstein, S.R.; Krömer, T. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows in Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v.18, p.1-16, 2003.

Affeld, K.; Sullivan, J.; Worner, S.P.; Didham, R. K. Can spatial variation in epiphyte diversity and community structure be predicted from sampling vascular epiphytes alone? *Journal of Biogeography*, v.35, p.2274-2288, 2008.

Alvarenga, L.D.P. & Pôrto, K.C. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation*, v.134, p.415-427, 2007.

Alvarenga, L.D.P.; Pôrto, K.C.; Oliveira, J.R.P.M. Habitat loss effects on spatial distribution of non-vascular epiphytes in a Brazilian Atlantic forest. *Biodivers Conserv*, v.19, p. 619-635, 2010.

Alves, L.F.; Vieira, S.; Scaranello, M., Camargo, P.B.; Santos, F.A.M.; Joly, C.A.; Martinelli, L.A. Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *Forest Ecol. Manag.*, v.260, p.679-691, 2010.

Alves, L.F.; Assis, M.A.; Melis, V.J.; Barros, A.L.S.; Vieira, S.A.; Martins, F.R.; Martinelli, F.R.; Joly, C.A. Variation in liana abundance and biomass along an elevational gradient in the tropical Atlantic Forest (Brazil). *Ecol Res.*, v.270, p.323–332, 2012.

Amorim, E.T. Estudo florístico e ecológico das briófitas da Serra Negra (Minas Gerais) e sua relação com outras áreas do sudeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, p.117, 2013.

Bakker, Y.V. Biomassa de epífitas vasculares em Floresta de Restinga na Mata Atlântica. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p.80, 2015.

Bakker, Y.V.; Padgurschi, M.C.G.; Joly C.A.; Vieira, S.A. Biomass and carbon stocks of non-arboreal components in a Neotropical Hotspot. In: 55th Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation (ATBC), Kuching, Malasia, 2018. Anais do 55th Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation, 2018.

Barkman, J.J. Phytosociology and Ecology of Criptogamic Epiphytes. Van Gorcum: Assen, 1958.

Bataghin, F.A.; Pires, J.S.R. & Barros, F. Epifitismo vascular em sítios de borda e interior em Floresta Estacional Semidecidual no Sudeste do Brasil. Hoehnea., v.39, n.2, p. 235-245, 2012.

Bates, J.W. Influence of chemical and physical factors on *Quercus* and *Fraxinus* epiphytes at Loch Sunart, western Scotland: a multivariate analysis. Journal of Ecology. v.80, p.163-179, 1992.

Bates, J.W. Mineral nutrition and substratum ecology. In: Goffinet B., Shaw A.J. (eds), Bryophyte Biology. New York: Cambridge University Press, p.299-356, 2009.

Batista, J.L.; Couto, H.T.Z.; Marquesini, M. Performance of height-diameter relationship models: analysis in three forest types. Scientia Forestalis., v.60, p.149-163, 2001.

Batista, W.V.S.M. & Dos Santos, N.D. Can regional and local filters explain epiphytic bryophyte distributions in the atlantic forest of southeastern Brazil? Acta Botanica Brasilica, v.30, n.3, p.462-472, 2016.

Bailey, R.L. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves: Discussion. Canadian Journal of Forest Research v.10, p.117-118, 1979.

Béllard, C.; Leclerc, C.; Leroy, B.; Bakkenes, M.; Veloz, S.; Thuiller, W.; Courchamp, F. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. Global Ecology and Biogeography. v.23, p.1376-1386, 2014.

Bennett, B.C. Patchiness, diversity and abundance relationships of vascular epiphytes. Selbyana, v.9, n. 1, p.70-75, 1986.

Benzing, D.H. Vascular epiphytes. Cambridge University Press, Cambridge. 354p., 1990.

Breier, T.B. Florística e ecologia de epífitos vasculares em uma Floresta Costeira do Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 1999.

Breier, T.B. O epifitismo vascular em florestas do sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p.146, 2005.

Briófitas in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128472>. Acesso em: 20 set. 2020.

Brown J.H. Why are there so many species in the tropics? *Journal of Biogeography*. v. 41, p.8-22, 2014.

Burnham, K.P. & Anderson, D. Model Selection and Multi-Model Inference. 2nd ed. Springer, 2002.

Cardelús, C.L. & Mack, M.C. The nutrient status of epiphytes and their host trees along an elevational gradient in Costa Rica. *Plant Ecology*, v.207, p.25-37, 2010.

Cardoso-Leite, E. A vegetação de uma Reserva Biológica Municipal: contribuição ao manejo e à conservação da Serra do Japi, Jundiaí, SP. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2000.

Chao, K-J.; Phillips, O.L.; Gloor, E.; Monteagudo, A.; Torres-Lezama, A.; Martínez, R.F. Growth and wood density predict tree mortality in Amazon forests. *Journal of Ecology*, v.96, p.281-292, 2008.

Chantanaorrapint, S. & Frahm, J.P. Biomass and selected ecological factors of epiphytic bryophyte along altitudinal gradients in Southern Thailand Songklanakarin J. Sci. Technol. v.33, n.6, p.625-632, 2011.

Chapin III, F.S.; Matson, P.A.; Vitousek, P.M. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer-Verlag New York, NY, 455p., 2002.

Chapin III, F.S.; Matson, P.A.; Vitousek, P. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer Science & Business Media, New York, NY, 529p., 2011.

Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.; Chambers, J.C.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, v.145, p.87-99, 2005.

Chilanti, S.B., & Bordin, J. Variação vertical de briófitas epífitas na Área de Proteção Ambiental Morro de Osório, Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, v.2, n.1, 2016.

Clark, D.A. & D.B. Clark. Lifes history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, v.62, p.315-344, 1992.

Clark, D.A.; Clark, D.B.; Sandoval, R.; Castro, M.V. Edaphic and human effects on landscape-scale distributions of tropical rain-forest palms. *Ecology*. v.76, p.2581-2594, 1995.

Clark, D.L.; Nadkarni, N.M.; Gholz, H.L. Growth, net production, litter decomposition, and net nitrogen accumulation by epiphytic bryophytes in a Tropical Montane Forest. *Biotropica*, v.30, p.12-23, 1998.

Clark, D.B. & Clark, D.A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecol. Manag.* v. 137, p.185–198, 2000.

Clark, K.L.; Nadkarni, N.M.; Gholz, H.L. Retention of inorganic nitrogen by epiphytic bryophytes in a Tropical Montane Forest. *Biotropica*, v.37, n.3, p.328-336, 2005.

Clark, D.A. Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward. *Biotropica* v.39, p.4-19, 2007.

Cobb, R.A.; Nadkarni, N.M.; Ramsey, G.A.; Svoboda, A.J. Recolonization of bigleaf maple branches by epiphytic bryophytes following experimental disturbance *Can. J. Bot.*, v.79, p.1-8, 2001.

Colombo, A. F.; Joly, C.A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Braz. J. Biol.*, 2010, v.70, n.3 (suppl.), p.697-708, 2010.

Cornelissen, J.H.C., & ter Steege, H. Distribution and ecology of epiphytic bryophytes and lichens in dry evergreen forest of Guyana. *Journal of Tropical Ecology*, v.5, n.2, p.131-150, 1989.

Costa, D.P. & Luiz-Ponzo, A.P. As briófitas do Brasil. In: Forzza R.C. et al. Catálogos de plantas e fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio, p.62-69, 2010.

Costa, D.P. & Peralta, D.F. Briófitas. In: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Disponível em: <<http://www.florado-brasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB128472>>.

Coxson, D. & Nadkarni, N.M. Epiphytes and nutrient cycling. In: Lowman M., Nadkarni N. (eds) *Forest canopies*. Academic Press, San Diego, Calif. p.95-543, 1995.

Crandall-Stotler, B.; Stotler, R.E. & Long, D.G. Morphology and classification of the Marchantiophyta. In: Goffinet, B. & Shaw, A.J. (eds), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, New York., p.1-54, 2009.

Curtis, R.O. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. *Forest Science*, v.13, p.365-375, 1967.

Dawkins, H.C. & Field, D.R.B. A Long-term surveillance system for British woodland vegetation, Department of Forestry, Oxford University, Oxford, 1978.

Dean W. *With broadax and firebrand: the destruction of the Brazilian Atlantic Forest*. Berkeley, CA, USA: University of California Press. São Paulo. 1997.

Díaz, I.A.; Sieving, K.E.; Peña-Foxon, M.E.; Larráin, J.; Armesto, J.J. Epiphyte diversity and biomass loads of canopy emergent trees in Chilean temperate rain forest: A neglected functional component. *Forest Ecology and Management*. v.259, p.1490-1501, 2010.

Díaz, M.F.; Bigelow, S.; Armesto, J.J. Alteration of the hydrologic cycle due to forest clearing and its consequences for rainforest succession. *Forest Ecology and Management*, v.44, n.1-3, p.32-40, 2007.

Fang, Z. & Bailey, R.L. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management* v.110, p.315-327, 1998.

Farinaci, J.S. As novas matas do Estado de São Paulo: Um estudo multiescalar sob a perspectiva da Teoria da Transição Florestal. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p.209, 2012.

Fauset, S.; Gloor, M.U.; Aïdar, M.P.M.; Freitas, H.C.; Fyllas, N.M.; Marabesi, M.A.; Rochelle, A.L.C.; Shenkin, A.; Vieira, S.A.; Joly C.A. Tropical forest light regimes in a human-modified landscape. *Ecosphere* v.8, n.11, 2017.

Field, C.B.; Behrenfeld, M.J.; Randerson, J.T.; Falkowski, P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*. v.281, p.237-240, 1998.

Foster, P. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, v.55, n.1-2, p.73-106, 2001.

Frahm, J.P. Manual of Tropical Bryology. *Tropical Bryology*, Northampton, n. 23, p. 1-195. 2003.

Frahm, J.P. The ecology of epiphytic bryophytes on Mt. Kinabalu. Sabah (Malaysia) *Nova Hedwigia*, v.51, p.121-132, 1990.

Frahm, J.P. & Gradstein, S.R. An altitudinal zonation of tropical rain forests using bryophytes. *Journal of Biogeography*, v.18, p.669-678, 1991.

Frahm, J.P. Diversity, dispersal and biogeography of bryophytes (mosses). *Biodiversity and conservation*, v.17, n.2, p.277-284, 2008.

Ghazoul, J. & Sheil, D. *Tropical rain forest: ecology, diversity, and conservation*. Oxford University Press, New York., 2010.

Glime, J.M. Economic and ethnic uses of bryophytes. In: *Flora of North America* Editorial Committee. (Eds.). *Flora of North America and North of Mexico*. Oxford, Oxford University Press. p.14-41, 2007.

Glime, J.M. Nutrient Relations: Nitrogen. Cap. 8. In Glime, J.M. *Bryophyte Ecology*, v.1. *Physiological Ecology*, Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017.

Glime, J.M. The Fauna: A Place to Call Home. Cap 1. In Glime J.M. *Bryophyte Ecology*, v.2 *Bryological Interaction*, Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017a.

Glime, J.M. Protozoa Diversity. Capt 2. In Glime J.M. *Bryophyte Ecology*, v.2 *Bryological Interaction*, Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017b.

Goffinet, B.; Buck, W.R. & Shaw, A.J. Morphology and classification of the Bryophyta. In: Goffinet, B. & Shaw, A.J. (eds.), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, New York., p. 55-138, 2009.

Gonçalves, A.Z.; Mercier, H.; Mazzafera, P.; Romero, G.Q. Spider-fed bromeliads: seasonal and interspecific variation in plant performance. *Annals of Botany* v.107, p.1047-1055, 2011.

Gradstein, S.R.; Nadkarni, N.M.; Krömer, T.; Holz, I.; Nöske, N. A Protocol for rapid and representative sampling of vascular and non-vascular epiphyte diversity of tropical rain forests. *Selbyana*. v.24, n.1, p.105-111, 2003.

Gradstein, S.R.; Churchill, S.P.; Salazar-Allen, N. *Guide to the Bryophytes of Tropical America*. *Memoirs of The New York Botanical Garden*, New York, n.86, p.1-577, 2001.

Gradstein, S.R.; Hietz, P.; Luecking, R.; Luecking, A.; Sipman, H.J.M.; Vester, H.F.M.; Wolf, J.H.D.; Gardette, E. How to sample the epiphytic diversity of tropical rain forests. *Ecotropica*. v.2, p.59-72, 1996.

Hölscher, D.; Köhler, L.; Van Dijk, A.; Brujnzeel, L.A. The importance of epiphytes total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology*, v.292, p.308-322, 2004.

Holz, I.; Gradstein, S.R.; Heinrichs, J. & Kappelle, M. Bryophyte diversity, microhabitat differentiation, and distribution of life forms in Costa Rican upper montane Quercus forest. *The Bryologist*, v.105, n.3, p.334-348, 2002.

Huang, S. & Titus, S.J. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, v.22, p.1297–1304, 1992.

Johansson, D. R. Ecology of vascular epiphytes in West African rain forest. *Acta Phytogeographica Suecica*, v.59, p.1-136, 1974.

Joly, C.A.; Assis, M.A.; Bernacci, L.C.; Tamashiro, J.Y.; Campos, M.C.R.; Gomes, J.A.M. A.; Lacerda, M.S.; Santos, F.A.M.; Pedroni, F.; Pereira, L.S.; Padgurschi, M.C.G., Prata, E.M.B.; Ramos, E.; Torres, R.B.; Rochelle, A.; Martins, F.R.; Alves, L.F.; Vieira, S.A.; Martinelli, L.A.; Camargo, P.B.; Aïdar, M.P.M.; Eisenlohr, P.V.; Simões, E.; Villani, J.P. & Belinello, R. Florística e fitossociologia em parcelas permanentes da Mata Atlântica do sudeste do Brasil ao longo de um gradiente altitudinal. *Biota Neotropica*, v.12, n.1, p.123-145, 2012.

Joly, C. A.; Metzger, J. P. & Tabarelli, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, v.204, n.3, p.459-473, 2014.

Joly, C.A.; Padgurschi, M.C.G.; Pires, A.P.F.; Agostinho, A.A.; Marques, A.C.; Amaral, A.G.; Cervone, C.O.F.O.; Adams, C.; Baccaro, F.B.; Sparovek, G.; Overbeck, G.E.; Espindola, G.M.; Vieira, I.C.G.; Metzger, J.P.; Sabino, J.; Farinaci, J.S.; Queiroz, L.P.; Gomes, L.C.; da Cunha, M.M.C.; Piedade, M.T.F.; Bustamante, M.M.C.; May, P.; Fearnside, P.; Prado, R.B.; Loyola, R.D. Capítulo 1: Apresentando o Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. In Joly, C.A.; Scarano, F.R.; Seixas, C.S.; Metzger, J.P.; Ometto, J.P.;

Bustamante, M.M.C.; Padgurschi, M.C.G.; Pires, A.P.F.; Castro, P.F.D.; Gadda, T.; Toledo, P. (eds.). 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Editora Cubo, São Carlos p.351, 2019.

Keeling, H.C. & Phillips, O.L. The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecol. Biogeogr.* v.16, p.618-631, 2007.

Kersten, R.A. & Waechter, J.L. Métodos quantitativos no estudo de comunidades epifíticas In Felfili-Fagg, J.M.; Eisenlohr, P.V.; Melo, M.M.R.F; Andrade, L.A.; Meira Neto, J.A.A. *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso*. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.231-254, 2011.

Kersten, R.A. Epifitismo vascular na Bacia do Alto Iguaçu, Paraná. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal - Conservação da Natureza) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, p.231, 2006.

Köppen, W. *Climatologia*. Fondo de Cultura Econômica, México, 1948.

Lai, G-Y.; Liu, H-C.; Kuo, A.J.; Huang, C-y. Epiphytic bryophyte biomass estimation on tree trunks and upscaling in tropical montane cloud forests. *PeerJ*, 2020.

Laurance, W. Conserving the hottest of the hotspots. *Biological Conservation*, v.142, n.6, 2009.

Leme, E.M.C. *Bromélias na natureza*. Marigo Comunicações Visuais Ltda., Rio de Janeiro. p.183, 1993.

Lemos-Michel, E. *Hepáticas epifíticas sobre o pinheiro-brasileiro no Rio Grande do Sul*. Editora da Universidade-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 192p., 2001.

Lopez-Gonzalez, G.; Baker, T.R.; Lewis, S.L.; Peacock, J. & Phillips, O.L. *Functional Trait Database*. RAINFOR [http://www.geog.leeds.ac.uk/ projects/rainfor/](http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/), 2006.

Lopez-Gonzalez, G.; Lewis, S.L.; Burkitt, M.; Baker T.R. & Phillips, O.L. *ForestPlots.net Database*. www.forestplots.net., 2009.

Lopez-Gonzalez, G.; Lewis, S.L.; Burkitt, M. & Phillips, O.L. ForestPlots.net: a web application and research tool to manage and analyse tropical forest plot data. *Journal of Vegetation Science*, v.22, p.610-613, 2011.

Lowman, M.D. & Rinker, H.B. *Forest canopies*. Oxford: Elsevier Academic Press, 2004.

Madison, M. Vascular epiphytes: their systematic occurrence and salient features. *Selbyana*, v.2, p.1-13, 1977.

Malhi, Y. & Grace, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*. v.15, p. 332-337, 2000.

Mardegan, S.F. *Variação na dinâmica do nitrogênio e nos atributos foliares em fisionomias de restinga da região Sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada)- Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, p.179, 2013.

Mardegan, S.F.; Nardoto, G.B.; Higuchi, N.; Moreira, M.Z. & Martinelli, L.A. Nitrogen availability patterns in white-sand vegetations of Central Brazilian Amazon. *Trees*, v.23, p.479-488, 2009.

Marinho, L.S.V. *Modelo alométrico para estimativa da biomassa e estoque de carbono na Mata Atlântica: método não destrutivo com base em técnicas de escalada*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói -RJ, p.52, 2010.

Markham, J.; Otárola, M.F. Bryophyte and lichen biomass and nitrogen fixation in a high elevation cloud forest in Cerro de La Muerte, Costa Rica. *Oecologia*. v.195, p.489-497, 2021.

Martins, S.C.; Neto, E.S.; Piccolo, M.C.; Almeida, D.Q.A.; Camargo, P.B.; Carmo, J.B.C; Porder, S.; Lins, S.R.M.; Martinelli, L.A. Soil texture and chemical characteristics along an elevation range in the coastal Atlantic Forest of Southeast Brazil. *Geoderma Regional*. v.5, p.106-116, 2015.

Mbaekwe, E.I. & Mackenzie, J.A. The use of a best-fit allometric model to estimate aboveground biomass accumulation and distribution in an age series of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations at Gambari Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. v.49, n.2, p.259-270, 2008.

Medeiros, M.C.M.P. Caracterização fitofisionômica e estrutural de áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Estadual da Serra do Mar. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo-SP, p.85. 2009.

Mežaka, A.; Brūmelis, G.; Piterāns, A. The distribution of epiphytic bryophyte and lichen species in relation to phorophyte characters in Latvian natural old-growth broad leaved forests. Folia Cryptogamica Estonica, v. 44, p.89-99, 2008.

Mežaka A.; Brūmelis G.; Piterāns A. Epiphytic bryophyte and lichen communities in relation to tree and forest stand variables in *Populus tremula* forests of south-east Latvia. Acta Biol. Univ. Daugavp., Suppl. 2, p.1-8, 2010.

Morellato, L.P. & Haddad, C.F.B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. Biotropica. v.32, p.786-792, 2000.

Myers, N. Tropical forests and their species. In Biodiversity, Wilson, E.O.; Peters, F.M. (eds.), National Academy Press, Washington, DC. p.119-122, 1988.

Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. & Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, v.403, p. 853-858, 2000.

Nadkarni, N.M. Epiphyte biomass and nutrient capital of a Neotropical Elfin Forest. Biotropica, v.16, n.4, p. 249-256, 1984.

Nadkarni, N.M. The nutritional effects of epiphytes on host trees with special reference to alteration of precipitation chemistry. Selbyana, v.9, p.44-51, 1986.

Nadkarni, N.M. Colonization of stripped branch surfaces by epiphytes in a Lower Montane Cloud Forest, Monteverde, Costa Rica. Biotropica, v.32, n.2, p. 358-363, 2000.

Nadkarni, N.M.; Schaefer, D.; Matelson, T.J.; & Solano, R. Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary Montane Cloud Forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, v. 198, n.1-3, p.223-236, 2004.

Oliveira, S.M; ter Steege, H.; Cornelissen, J.H.; Gradstein, S.R. Niche assembly of epiphytic bryophyte communities in the Guianas: a regional approach. *Journal of Biogeography* v.36, p. 2076-2084, 2009.

Oliveira-Filho, A.T.; Curi, N.; Vilela, E.A. & Carvalho, D.A. Variation on tree community composition and structure with changes in soil properties within a fragment of semideciduous forest in South-Eastern Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, v.58, p.139-158, 2001.

Padgurschi, M.C.G.; Pereira, L.S.; Tamashiro, J.Y. & Joly, C.A. Composição e similaridade florística entre duas áreas de Floresta Atlântica Montana, São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, v.11, n.2, p.139-152, 2011.

Padgurschi, M.C.G.; Reis, T.S.; Alves, L.F.; Vieira, S.A.; Joly, C.A. Outcomes of a native bamboo on biomass and carbon stocks of a neotropical biodiversity hotspot. *Acta Oecologica, International Journal of Ecology*, v. 111, 2021.

Pan, Y.; Birdsey, R.A.; Fang, J.; Houghton, R.; Kauppi P.E.; Kurz, W.A; Phillips, O.L.; Shvidenko, A.; Lewis, S.L.; Canadell, J.G.; Ciais, P.; Jackson, R.B.; Pacala, S.W.; McGuire, A.D.; Piao, S.; Rautiainen, A.; Sitch, S.; Hayes, D. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. v.333, p.988- 993, 2011.

Pan, Y.; Birdsey, R.A.; Phillips, O.L.; Jackson, R.B. The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 44, n. 1, p.593-622, 2013.

Patiño, J.; Mateo, R.G.; Zanatta, F.; Marquet, A.; Aranda, S.C.; Borges, P.A.; Dirkse, G.; Gabriel, R.; Gonzalez-Mancebo, J.M.; Guisan, A.; Muñoz, J.; Sim-Sim, M.; Vanderpoorten, A. Climate threat on the Macaronesian endemic bryophyte flora. *Nature Scientific Reports*, v.6, p.1-12, 2016.

Petean, M. As epífitas vasculares em uma área de Floresta Ombrófila Densa em Antonina, PR. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal - Conservação da Natureza) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, p.84, 2009.

Phillips, O.L.; Sullivan, J.P.M.; Baker, T.R.; Mendoza, A.M.; Vargas, P.N.; Vásquez, R. Species Matter: Wood density influences Tropical Forest biomass at multiple scales. *Surveys in Geophysics*, v.40, p.913-935, 2019.

Pócs T. The epiphytic biomass and its effect on the water balance of two rain forest types in the Uluguru Mountains (Tanzania, East Africa). *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* v.26, p.143-167, 1980.

Pócs T. Tropical Forest Bryophytes. In: Smith A.J.E. (ed.) *Bryophyte Ecology*. London/New York, Chapman and Hall. p.59-103., 1982.

Porada, P.; Weber, B.; Elbert, W.; Pöschl, U.; Kleidon, A.; Estimating impacts of lichens and bryophytes on global biogeochemical cycles. *Global Biogeochemical Cycles*. v.28, n.2, p.71-85, 2014.

Proctor, M.C.F. & Smirnoff, N. Rapid recovery of photosystems on rewetting desiccation tolerant mosses: chlorophyll fluorescence and inhibitor experiments. *Journal of Experimental Botany*. v.51, n.351, p. 1695-1704, 2000.

Proença, C.E.B.; Amorim, B.S.; Antonicelli, M.C.; Bünger, M.; Burton, G.P.; Caldas, D.K.D.; Costa, I.R.; Faria, J.E.Q.; Fernandes, T.; Gaem, P.H.; Giaretta, A.; Lima, D.F.; Lourenço, A.R.L.; Lucas, E.J.; Mazine, F.F.; Meireles, L.D.; Oliveira, M.I.U.; Pizzardo, R.C.; Rosa, P.O.; Santana, K.C.; Santos, L.L.D.; Santos, M.F.; Souza, M.C.; Souza, M.A.D.; Stadnik, A.; Staggemeier, V.G.; Tuler, A.C.; Valdemarin, K.S.; Vasconcelos, T.N.C.; Vieira, F.C.S.; Sobral, M. 2020. Myrtaceae in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB171>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

Pyle, E.H.; Santoni, G.W.; Nascimento, H.E.M.; Huttyra, L.R.; Vieira, S.; Curran, D.J.; van Haren, J.; Saleska, S.R.; Chow, V.Y.; Camargo, P.B.; Laurance, W.F.; Wofsy, S.C. Dynamics of carbon, biomass, and structure in two Amazonian forests. *J. Geophys. Res.* v.113, 2008.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Version 1.4.1103.

Ramos, F.N.; Mortara, S.R.; Monalisa-Francisco, N.; Elias, J.P.C.; Neto, L.M.; Freitas, L. Kersten, R.; Amorim, A.M.; Matos, F.B.; Nunes-Freitas, A.F. et al. ATLANTIC EPIPHYTES: a data set of vascular and non-vascular epiphyte plants and lichens from the Atlantic Forest. *Ecology*, v. 100, n.2, 2019.

Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S. F. *Biologia vegetal*. Guanabara Koogan, 8ª ed. Rio de Janeiro, RJ. 856p., 2014.

Ray, D.K.; Nair, U.S.; Lawton, R.O.; Welch, R.M.; Pielke, R.A. Sr. Impact of land use on Costa Rican tropical montane cloud forests: sensitivity of orographic cloud formation to deforestation in the plains. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* v. 111, n.D2, 2006.

Renzaglia, K.S.; Villareal, J.C. & Duff, R.J. New insights into morphology, anatomy, and systematic of hornworts. In: Goffinet, B. & Shaw, A.J. (eds.), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, New York., p.138-171, 2009.

Rezende, C.L.; Scarano, F.R.; Assad, E.D.; Joly, C.A., Metzger, J.P.; Strassburg, B.B.N.; Mittermeier, R.A. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2018.

Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v.142, n.6, p.1141-1153, 2009.

Richards, P.W. The ecology of tropical forest bryophytes. In R. M. Schuster (ed), *New Manual of Bryology*, v.2. The Hattori Botanical Laboratory, Nichinan. p.1233-1270, 1984.

Rizzini, C.T. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. Âmbito Cultural Edições. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ. Brasil, 1997.

Rosado, B.H.P.; Oliveira, R.S.; Aidar, M.P.M. Is leaf water repellency related to vapor pressure deficit and crown exposure in tropical forests? *Acta Oecologica*, 2010.

Salazar, L.V.C. Diversity of epiphytic bryophytes of the Colombian Amazon. Tese (Doutorado em Ciências-Biologia) - Universidade Nacional da Colombia. Bogotá, Colômbia, p.148, 2016.

Salemi, L.F. Balanço de água e de nitrogênio em uma microbacia coberta por pastagem no litoral norte do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, p.93, 2009.

Santos, N.M. Distribuição espacial de briófitas na Floresta Atlântica, sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p.149, 2011.

Scaranello, M.A.S.; Alves, L.F.; Vieira, S.A.; Camargo, P.B.; Joly, C.A.; Martinelli, L.A. Height-diameter relationships of tropical Atlantic moist forest trees in southeastern Brazil. *Sci. Agric.* v.69, n.1, p.26-37, 2012.

Smith, A.J.E. Epiphytes and epiliths. In: Smith A.J.E. (ed.). *Bryophyte Ecology*. Dordrecht: Springer, p.191-227, 1982.

Song, L.; Wen-Yao, L.; Nadkarni, N.M. Response of non-vascular epiphytes to simulated climate change in a montane moist evergreen broad-leaved forest in southwest China. *Biological Conservation*, v.152, p.127-135, 2012.

Souza, J.P.S.; Silva, M.P.P & Pôrto, K.C. Spatial distribution of functional traits of bryophytes along environmental gradients in an Atlantic Forest remnant in north-eastern Brazil. *Plant Ecology & Diversity*, v.13, n.1, p.93-104, 2020.

Sporn, S.G.; Bos, M.M.; Kessler, M.; Gradstein, S.R. Vertical distribution of epiphytic bryophytes in an Indonesian rainforest. *Biodiversity and Conservation*, v.19, p.745-760, 2010.

Tabarelli, M.; Villani, J.P. & Mantovani, W. Aspectos da sucessão secundária em trecho da Floresta Atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Rev. IF. v.5, n.1, p.99-112, 1993.

Tabarelli, M.; Villani, J.P. & Mantovani, W. Estudo comparativo da vegetação de dois trechos de floresta secundária no Núcleo Santa Virgínia/SP. Rev. IF. v.6, n.1, p.1-11, 1994.

Tabarelli, M.; Pinto, L.P.; Silva, J.M.C.; Hirota, M.M.; Bedê, L.C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade Brasileira. Megadiversidade, v.1, n.1, p.132-138, 2005.

Taiz, L. & Zeiger, E. Fisiologia Vegetal. 5ª ed: Artmed, 918p., Porto Alegre, 2013.

Tang, S. Self-adjusted height-diameter curves and one entry volume model. Forest Research v.7, p.512-518, 1994.

Tansley, A. G. & Chipp, T. F. Aims and methods in the study of vegetation. The British Empire Vegetation Committee, London. 423p., 1926.

ter Steege, H.T. & Cornelissen, J.H.C. Collecting and studying bryophytes in the canopy of standing rain forest trees. In Glime, J. M. (ed.). Methods in bryology. Mainz, Proc. Bryol. Meth. (Workshop), p.285-290. 1988.

Turetsky, M. The role of bryophytes in carbon and nitrogen cycling. The Bryologist v.106, p.395-409, 2003.

Uniyal, P.L. Role of bryophytes in conservation of ecosystems and biodiversity. Botanica, v.49, p.101-115, 1999.

Veloso, H.P.; Rangel-Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal. IBGE, Rio de Janeiro, 1991.

Vieira, S.A.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Silva, R.; Hutyrá, L.; Chambers, J.Q.; Brown, I.F.; Higuchi, N.; Santos, J.; Wofsy, S.C.; Trumbore, S.E.; Martinelli, L.A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. Oecologia v.140, p. 468-479, 2004.

Vieira, S.A.; Alves, L.F.; Aïdar, M.P.M.; Araújo, L.S.; Baker, T.; Batista, J.L.F.; Campos, M.C.R.; Camargo, P.B.; Chave, J.; Delitti, W.B.; Higuchi, N.; Honório, E.; Joly, C.A.; Keller, M.; Martinelli, L.A.; De Mattos, E.A.; Metzker, T.; Phillips, O.; Santos, F.A.M.; Shimabukuro, M.T.; Silveira, M. & Trumbore, S.E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotrop.* v.8, n.2, p.21-29, 2008.

Vieira, S.A.; Alves, L.F.; Duarte-Neto, P.J.; Martins, S.C.; Veiga, L.G.; Scaranello, M.A.; Picollo, M.C.; Camargo, P.B.; do Carmo, J.B.; Sousa Neto, E.; Santos, F.A.M.; Joly, C.A. & Martinelli, L.A. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Eco. Evol.*, v.1, n.3, p.421-434, 2011.

Wolf, J.H.D. Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, p.928-960, 1993.

Yano, O. Briófitas. In Fidalgo, O.; Bononi, V.L.R. (Coord.). *Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico*. São Paulo: Instituto de Botânica, p.27-30. (Manual, n.4), 1984.

Zotz, G.Z. & Winter, K. Annual carbon balance and nitrogen use efficiency in tropical C3 and CAM epiphytes. *New Phytologist*, v.126, p.481-492, 1994.

Zotz, G. & Bader, M.Y. Epiphytic plants in a changing world-global: change effects on vascular and non-vascular epiphytes. In Lüttge, U.; Beyschlag, W.; Büdel, B.; Francis, D. (eds.) *Progress in Botany*. Berlin: Springer v.70, p.147-170, 2009.

Apêndices

1. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) entre as cinco parcelas de estudo

Tabela 1. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as parcelas do estudo, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as parcelas, temos M1: Madura 1, M2: Madura 2, M3: Madura 3, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).

Parcelas de estudo	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)					
	ICE-av0:ICE-av1	ICE-av0:ICE-av2	ICE-av0:ICE-av3	ICE-av1:ICE-av2	ICE-av1:ICE-av3	ICE-av2:ICE-av3
M1:M2	1,000E+00	4,268E-01	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00
M1:M3	1,000E+00	1,000E+00	8,551E-03	2,053E-01	3,365E-03	2,084E-07
M1:CS	8,079E-11	6,624E-10	2,564E-01	1,000E+00	1,698E-04	7,066E-04
M1:ST	4,660E-01	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	8,780E-03	8,148E-01
M2:M3	1,652E-01	1,000E+00	5,737E-06	1,000E+00	1,888E-03	4,709E-05
M2:CS	2,795E-16	7,564E-19	2,071E-04	1,000E+00	6,768E-04	7,171E-06
M2:ST	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	5,368E-02	4,985E-03	1,000E+00
M3:CS	4,697E-07	1,000E-11	1,000E+00	6,336E-01	9,696E-15	2,234E-21
M3:ST	8,048E-03	1,000E+00	2,679E-02	1,896E-04	1,000E+00	5,909E-02
CS:ST	1,479E-20	5,132E-15	6,213E-01	1,000E+00	5,955E-15	2,151E-09

2. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) entre os tipos de perturbação antrópica das parcelas

Tabela 2. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as parcelas de estudo - considerando seus respectivos tipos de perturbação antrópica - utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Para as áreas, temos M1: Madura 1, CS: Corte Seletivo, ST: Secundária Tardia. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).

Perturbação antrópica	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)					
	ICE-av0:ICE-av1	ICE-av0:ICE-av2	ICE-av0:ICE-av3	ICE-av1:ICE-av2	ICE-av1:ICE-av3	ICE-av2:ICE-av3
M1:CS	2,424E-11	1,987E-10	7,691E-02	1,000E+00	5,093E-05	2,120E-04
M1:ST	1,398E-01	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	2,634E-03	2,444E-01
CS:ST	4,436E-21	1,540E-15	1,864E-01	1,000E+00	1,787E-15	6,453E-10

3. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes de diâmetro do forófito

Tabela 3. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes de diâmetro do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. As classes de diâmetro nas quais os indivíduos foram divididos são 4,8 a 10cm, 10 a 30cm, 30 a 50cm e acima de 50cm. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).

Classe de diâmetro	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)					
	ICE-av0:ICE-av1	ICE-av0:ICE-av2	ICE-av0:ICE-av3	ICE-av1:ICE-av2	ICE-av1:ICE-av3	ICE-av2:ICE-av3
4.8a10cm:10a30cm	2,840E-06	3,229E-54	9,231E-64	3,830E-77	1,790E-70	4,478E-05
4.8a10cm:30a50cm	3,164E-01	1,915E-20	4,439E-49	2,969E-36	2,422E-81	1,802E-17
4.8a10cm:acima50cm	1,000E+00	1,247E-04	6,118E-24	6,872E-07	1,106E-41	3,337E-16
10a30cm:30a50cm	1,000E+00	8,970E-02	1,097E-06	2,795E-05	4,335E-22	1,541E-08
10a30cm:acima50cm	1,000E+00	1,000E+00	1,310E-04	1,000E+00	6,059E-15	2,048E-10
30a50cm:acima50cm	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	8,133E-02

4. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e a inclinação do fuste do forófito

Tabela 4. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e a inclinação do fuste do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Os forófitos foram separados entre retos e aqueles com inclinação $\geq 10\%$. As diferenças significativas estão destacadas ($p < 0,05$).

Inclinação do forófito	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)					
	ICE-av0:ICE-av1	ICE-av0:ICE-av2	ICE-av0:ICE-av3	ICE-av1:ICE-av2	ICE-av1:ICE-av3	ICE-av2:ICE-av3
Reta: Inclínada	1	0,06357	1,500E-06	1,712E-05	6,991E-14	0,0001954

5. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Iluminação da Copa (IC)

Tabela 5. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Iluminação da Copa (IC) do forófito, utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares. Quanto ao IC, temos IC 1: ausência de luz direta incidente, IC 2: luz lateral, IC 3: luz vertical, IC 4: copa totalmente exposta à luz, sem incidência de luz lateral total e IC 5: copa totalmente exposta à luz, com luz lateral total. As diferenças significativas estão destacadas (p<0,05).

Índice de Iluminação da Copa (IC)	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av)					
	ICEav0:ICEav1	ICEav0:ICEav2	ICEav0:ICEav3	ICEav1:ICEav2	ICEav1:ICEav3	ICEav2:ICEav3
IC1:IC2	0,200147	3,924E-05	1,538E-06	3,325E-02	1,057E-03	1,000E+00
IC1:IC3	0,003241	1,007E-21	9,201E-26	2,548E-23	5,785E-24	1,174E-01
IC1:IC4	0,014202	6,172E-16	2,298E-29	6,712E-16	3,172E-32	3,078E-06
IC1:IC5	1,000E+00	6,592E-08	4,921E-16	1,060E-09	1,550E-19	9,246E-04
IC2:IC3	1,000E+00	3,325E-10	1,002E-11	5,889E-19	2,917E-16	1,000E+00
IC2:IC4	1,000E+00	2,927E-07	3,956E-16	1,274E-10	1,886E-24	3,569E-05
IC2:IC5	1,000E+00	2,554E-03	9,932E-08	3,863E-06	4,967E-13	3,301E-02
IC3:IC4	1,000E+00	1,000E+00	2,646E-01	1,000E+00	6,248E-03	3,545E-02
IC3:IC5	1,000E+00	1,000E+00	8,761E-01	1,000E+00	1,675E-02	7,062E-01
IC4:IC5	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00

6. Resultados estatísticos para a distribuição de classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e as classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE)

Tabela 6. Resultados (p-valor) da comparação par a par entre as classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av) e índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE), utilizando-se o Teste exato de Fisher e o fator de correção de Bonferroni. Para o ICE, temos ICE 0: ausência de epífitas vasculares, ICE 1: epífitas vasculares muito pequenas e esparsas/muitas epífitas vasculares pequenas e esparsas, ou muitas epífitas muito pequenas, ICE 2: epífitas vasculares médias e esparsas, ou muitas epífitas pequenas/epífitas vasculares grandes e esparsas, ou muitas epífitas médias, ICE 3: epífitas vasculares muito grandes e esparsas, ou muitas epífitas grandes. As classes de ICE-av são ICE-av 0: ausência de epífitas avasculares em tronco e galhos, ICE-av 1: até 25% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 2: de 25% a 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares, ICE-av 3: acima de 75% de cobertura da superfície de tronco e galhos por epífitas avasculares.

Classes do Índice de Cobertura por Epífitas Vasculares (ICE)	Classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares					
	ICE-av0:ICE-av1	ICE-av0:ICE-av2	ICE-av0:ICE-av3	ICE-av1:ICE-av2	ICE-av1:ICE-av3	ICE-av2:ICE-av3
ICE0:ICE1	6,085E-23	1,504E-55	1,547E-63	1,844E-22	1,322E-31	1,189E-06
ICE0:ICE2	1,077E-09	5,457E-71	1,327E-125	8,802E-80	3,826E-144	1,360E-26
ICE0:ICE3	1,000E+00	3,911E-03	4,315E-09	4,017E-04	2,917E-11	2,353E-03
ICE1:ICE2	1,000E+00	8,537E-09	2,711E-23	5,047E-36	1,200E-75	3,045E-15
ICE1:ICE3	1,000E+00	1,000E+00	2,899E-01	1,481E-01	8,617E-05	5,571E-01
ICE2:ICE3	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00

7. Dados dos forófitos selecionados para a coleta de epífitas avasculares

Tabela 7. Dados dos forófitos selecionados para a coleta de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana. Para cada um dos 30 indivíduos, temos a espécie, o DAP (cm), a altura (m), a classe do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares, a biomassa úmida e biomassa seca por zona ecológica e face do forófito (g cm^{-2}) e a biomassa total por zona (g cm^{-2}).

Indivíduo	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	ICE-av	Zona	Biomassa úmida por face (g cm^{-2})				Biomassa seca por face (g cm^{-2})				Biomassa por zona (g cm^{-2})
						N	S	L	O	N	S	L	O	
1	<i>Licania hoehnei</i>	19,7	15,2	1	1	0,01786	0,00179	0,00393	0,03036	0,00448	0,00020	0,00105	0,00541	0,002786
					2	0,00429	-	-	-	0,00016	-	-	-	0,000040
					3	0,00357	-	-	0,00214	0,00046	-	-	0,00055	0,000252
					4	0,01393	0,01286	0,01821	0,01464	0,00369	0,00399	0,00582	0,00383	0,004333
2	<i>Marlierea obscura</i>	10,7	11,1	1	1	0,00938	0,01625	0,02188	0,00875	0,00126	0,00157	0,00389	0,00052	0,001809
					2	0,01500	0,03214	0,01071	0,01214	0,00217	0,00593	0,00125	0,00167	0,002755
					3	0,00500	-	0,00786	0,00643	0,00044	-	0,00002	0,00011	0,000141
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	<i>Alsophila setosa</i>	8,6	4,0	1	1	0,01667	0,01750	0,02833	0,01250	0,00001	-	0,00001	-	0,000004
					2	0,01250	-	0,00583	0,00000	0,00003	-	0,00003	-	0,000015
					3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Licania hoehnei</i>	12,4	12,0	1	1	0,00400	0,05250	0,01700	0,03350	0,00077	0,00909	0,00387	0,00661	0,005083
					2	-	0,02375	0,00438	0,04375	-	0,00761	0,00083	0,00620	0,003659
					3	0,00786	0,03286	0,00429	0,00643	0,00093	0,00534	0,00119	0,00099	0,002113
					4	0,01375	-	-	0,01125	0,00233	-	-	0,00159	0,000978
5	<i>Guarea macrophylla</i>	6,0	7,9	1	1	0,00375	0,00625	0,00125	0,00375	0,00006	0,00026	0,00008	0,00014	0,000134
					2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					3	0,00375	0,00000	0,00250	0,00125	0,00008	-	0,00006	0,00004	0,000044
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Calyptanthus lucida</i>	6,9	8,6	1	1	0,00250	-	0,00500	-	0,00049	-	0,00063	-	0,001113
					2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Euterpe edulis</i>	11,3	9,0	1	1	0,01500	-	0,00813	0,00625	0,00363	-	0,00184	0,00024	0,001425
					2	0,01813	0,00313	0,01500	0,00750	0,00676	0,00169	0,00678	0,00171	0,004231
					3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Chionanthus filiformis</i>	5,5	7,4	1	1	0,00750	-	-	0,00375	0,00046	-	-	0,00025	0,000178
					2	0,00625	0,00250	0,00125	0,00250	0,00094	0,00026	0,00176	0,00121	0,001044
					3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	<i>Guatteria australis</i>	7,5	9,0	1	1	0,00600	-	0,00500	0,00200	0,00222	-	0,00041	0,00041	0,000760
					2	0,00200	0,00400	0,00500	0,00200	0,00113	0,00177	0,00048	0,00100	0,001095
					3	0,00125	0,00250	0,00375	0,00125	0,00016	0,00058	0,00029	0,00033	0,000338
					4	-	0,00125	-	-	-	0,00030	-	-	0,000075
10	<i>Inga marginata</i>	27,1	17,6	1	1	0,00500	0,00300	-	0,01150	0,00007	0,00008	-	0,00004	0,000046
					2	0,00625	-	0,00450	0,02750	0,00035	-	0,00002	0,00017	0,000133
					3	0,00650	0,00700	0,00250	0,03500	0,00034	0,00104	0,00002	0,00226	0,000913
					4	0,00286	0,00536	0,00107	0,01250	0,00008	0,00034	0,00014	0,00001	0,000142
11	<i>Inga lanceifolia</i>	6,7	8,4	2	1	-	0,00250	-	0,00125	-	0,00001	-	0,00001	0,000006
					2	-	0,01625	-	-	-	0,00001	-	-	0,000003
					3	0,00500	0,01125	0,01250	0,00375	0,00026	0,00094	0,00155	0,00020	0,000738
					4	-	0,00125	-	-	-	0,00001	-	-	0,000003
12	<i>Alsophila setosa</i>	8,9	3,0	2	1	0,00667	0,01000	0,01417	0,02583	0,00010	0,00179	0,00009	0,00036	0,000585
					2	0,00417	0,01667	0,01250	0,02417	0,00029	0,00038	0,00075	0,00033	0,000440
					3	0,00167	-	0,00333	-	0,00003	-	0,00004	-	0,000019
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>Ocotea catharinensis</i>	13,3	12,5	2	1	0,01125	0,02188	0,00375	0,00938	0,00300	0,00536	0,00116	0,00327	0,003195
					2	0,01250	-	-	-	0,00866	-	-	-	0,002166
					3	0,00062	0,00938	0,00688	0,00813	0,00065	0,00393	0,00266	0,00484	0,003020
					4	-	-	0,00125	-	-	-	0,00176	-	0,000441

Indivíduo	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	ICE-av	Zona	Biomassa úmida por face (g cm ⁻²)				Biomassa seca por face (g cm ⁻²)				Biomassa por zona (g cm ⁻²)
						N	S	L	O	N	S	L	O	
14	<i>Cupania oblongifolia</i>	6,8	8,5	2	1	0,02125	0,03250	0,00625	0,03000	0,00435	0,00636	0,00110	0,00374	0,003888
					2	0,01125	0,00250	0,00750	0,01625	0,00173	0,00014	0,00088	0,00243	0,001291
					3	-	-	0,00125	0,00875	-	-	0,00036	0,00188	0,000559
					4	0,00750	0,00375	0,00125	0,00250	0,00076	0,00018	0,00053	0,00019	0,000413
15	<i>Mollinedia argyrogyna</i>	18,3	14,7	2	1	0,01700	0,01267	0,01133	0,02033	0,00169	0,00037	0,00039	0,00208	0,001133
					2	0,01893	0,01571	0,02286	0,01429	0,00223	0,00059	0,00371	0,00016	0,001671
					3	0,02857	0,03429	0,02643	0,03643	0,00175	0,00243	0,00121	0,00247	0,001966
					4	0,02714	0,02786	0,03214	-	0,00029	0,00076	0,00356	-	0,001150
16	<i>Psychotria longipes</i>	7,0	8,6	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2	0,07500	-	0,06875	0,02125	0,00835	-	0,00875	0,00283	0,004981
					3	0,06125	-	0,04375	0,02250	0,01093	-	0,00450	0,00260	0,004506
					4	0,01750	-	0,02750	-	0,00379	-	0,01116	-	0,003738
17	<i>Mollinedia glabra</i>	8,9	10,0	2	1	0,00188	0,00563	0,00313	0,00062	0,00170	0,00167	0,00067	0,00007	0,001027
					2	-	0,00313	0,00062	0,00062	-	0,00200	0,00127	0,00079	0,001016
					3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	<i>Mollinedia engleriana</i>	24,4	16,8	2	1	0,00350	0,01250	0,02250	0,01000	0,00062	0,00359	0,00315	0,00269	0,002511
					2	0,00625	0,00029	0,00938	0,00969	0,00201	0,00029	0,00563	0,00303	0,002741
					3	0,00406	-	-	-	0,00185	-	-	-	0,000462
					4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	<i>Piper cernuum</i>	5,8	7,7	2	1	0,01250	0,01375	0,03125	0,01000	0,00185	0,00170	0,00494	0,00086	0,002338
					2	0,02000	0,03875	0,01250	0,02250	0,00363	0,00673	0,00198	0,00391	0,004059
					3	0,02500	0,04833	0,05000	0,04167	0,00887	0,00782	0,01295	0,00833	0,009492
					4	0,02500	0,03750	0,02750	0,02000	0,00223	0,00408	0,00350	0,00190	0,002925
20	<i>Symplocos estrellensis</i>	10,7	11,1	2	1	0,00550	0,00850	0,00500	0,00350	0,00049	0,00269	0,00127	0,00044	0,001220
					2	0,00200	-	-	-	0,00065	-	-	-	0,000161
					3	0,01357	0,00429	0,01143	0,00500	0,00345	0,00108	0,00258	0,00074	0,001961
					4	0,00786	0,01000	0,00714	0,00714	0,00200	0,00233	0,00141	0,00196	0,001925
21	<i>Chrysophyllum viride</i>	43,6	21,0	3	1	0,01554	0,01284	0,01014	0,02500	0,00075	0,00199	0,00101	0,00274	0,001622
					2	0,00054	0,00054	0,00108	0,00054	-	-	0,00008	0,00001	0,000020
					3	0,00467	0,01333	0,00217	0,00317	0,00195	0,00318	0,00063	0,00075	0,001628
					4	-	0,02667	0,01167	0,01833	-	0,00549	0,00343	0,00358	0,003125
22	<i>Ocotea dispersa</i>	34,1	19,2	3	1	0,01959	0,02095	0,02365	297297297	0,00361	0,00567	0,00646	0,00110	0,004211
					2	0,00946	0,04730	0,00324	0,03649	0,00064	0,01259	0,00075	0,00951	0,005873
					3	0,02775	-	0,01250	0,02000	0,00498	-	0,00264	0,00484	0,003116
					4	0,00500	0,02250	0,01500	0,04500	0,00131	0,00600	0,00149	0,00307	0,002965
23	<i>Pouteria caimito</i>	12,4	12,0	3	1	0,00615	0,02692	0,01731	0,01000	0,00191	0,00584	0,00437	0,00317	0,003822
					2	0,00750	0,03000	0,01500	0,01750	0,00192	0,00956	0,00607	0,00415	0,005420
					3	0,00500	0,02100	0,00900	0,01650	0,00113	0,00308	0,00069	0,00335	0,002059
					4	0,01250	0,01550	0,00650	0,01050	0,00221	0,00679	0,00062	0,00280	0,003103
24	<i>Rapanea hermoensis</i>	14,9	13,2	3	1	0,03214	0,01964	0,03214	0,02857	0,00501	0,00162	0,00470	0,00298	0,003575
					2	0,03750	0,01750	0,03750	0,01750	0,00778	0,00112	0,00788	0,00350	0,005067
					3	0,02875	0,00938	-	0,01563	0,00689	0,00238	-	0,00464	0,003477
					4	0,02250	0,02125	0,02063	0,01125	0,00347	0,00167	0,00094	0,00196	0,002008
25	<i>Eugenia subavenia</i>	8,9	10,0	3	1	0,01875	0,02250	0,02250	0,03250	0,00140	0,00222	0,00134	0,00141	0,001592
					2	0,03917	0,01667	0,01333	0,03500	0,00177	0,00084	0,00136	0,00153	0,001373
					3	0,00688	0,00438	0,00375	0,00813	0,00159	0,00266	0,00127	0,00369	0,002303
					4	0,00688	0,00062	0,00188	0,01375	0,00068	0,00078	0,00091	0,00122	0,000898
26	<i>Guarea macrophylla</i>	22,5	16,2	3	1	0,02500	0,02143	0,02500	-	0,00373	0,00060	0,00199	-	0,001580
					2	0,01607	0,02500	0,01000	0,01000	0,00291	0,00167	0,00073	0,00139	0,001672
					3	0,00893	0,01250	0,00429	0,01357	0,00116	0,00196	0,00055	0,00103	0,001173
					4	0,00929	0,00464	0,01714	0,00250	0,00211	0,00051	0,00384	0,00042	0,001721
27	<i>Miconia atlantica</i>	8,0	9,4	3	1	0,01833	0,02417	0,02667	0,02083	0,00220	0,00658	0,00479	0,00303	0,004152
					2	0,01917	0,02500	0,02750	0,01917	0,00503	0,00378	0,00621	0,00355	0,004640
					3	0,01167	0,01417	0,01917	0,01083	0,00263	0,00419	0,00617	0,00427	0,004313
					4	0,00667	0,01083	0,00500	0,01500	0,00298	0,00623	0,00346	0,00625	0,004729
28	<i>Psychotria vellosiana</i>	6,3	8,1	3	1	0,00375	0,00625	0,00500	0,00625	0,00190	0,00089	0,00089	0,00018	0,000963
					2	0,00625	0,00875	0,00500	0,00500	0,00138	0,00298	0,00144	0,00159	0,001844
					3	0,00125	0,00125	0,00125	0,00250	0,00026	0,00036	0,00004	0,00056	0,000306
					4	0,00167	0,00500	0,00167	0,00500	0,00133	0,00072	0,00043	0,00173	0,001054
29	<i>Sloanea monosperma</i>	12,3	11,9	3	1	0,03000	0,01250	0,01500	0,01650	0,00409	0,00176	0,00228	0,00226	0,002595
					2	0,03111	0,03222	0,02611	0,00722	0,00359	0,00586	0,00459	0,00058	0,003656
					3	0,02300	0,06000	0,03300	0,02800	0,00340	0,01070	0,00584	0,00391	0,005963
					4	0,02875	0,03750	0,02625	0,01250	0,00546	0,00689	0,00569	0,00176	0,004950
30	<i>Cryptocarya saligna</i>	12,1	11,9	3	1	0,00545	0,01273	0,00864	0,00455	0,00119	0,00421	0,00196	0,00194	0,002324
					2	0,00393	0,00714	0,00571	0,01071	0,00070	0,00226	0,00183	0,00411	0,002225
					3	0,00964	0,00643	0,00464	0,00679	0,00109	0,00151	0,00066	0,00156	0,001206
					4	0,00125	0,00625	0,00625	0,01250	0,00050	0,00124	0,00110	0,00649	0,002331

8. Área (m²) e biomassa total (kg) estimadas para os forófitos amostrados

Tabela 8. Parâmetros registrados e calculados para os forófitos amostrados. Para cada um, temos diâmetro do forófito (DAP) (cm), altura (m), Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av), área estimada (m²) e biomassa total de epífitas avasculares estimada (kg).

Indivíduo	DAP (cm)	Altura (m)	ICE-av	Área estimada (m ²)	Biomassa total estimada (kg)
1	19,70	15,23	1	9,8024	0,1816
2	10,70	11,07	1	4,0364	0,0633
3	8,56	4,00	1	3,1219	0,0003
4	12,41	12,02	1	6,4251	0,1901
5	6,05	7,90	1	1,7110	0,0008
6	6,91	8,57	1	1,9531	0,0054
7	11,30	9,00	1	1,9691	0,0371
8	5,47	7,43	1	1,7443	0,0107
9	7,54	9,04	1	2,6501	0,0150
10	27,09	17,56	1	16,2609	0,0502
11	6,68	8,40	2	1,6257	0,0030
12	8,91	3,00	2	2,8173	0,0098
13	13,27	12,47	2	5,4017	0,1191
14	6,81	8,50	2	2,0475	0,0315
15	18,30	14,70	2	8,7885	0,1301
16	6,97	8,62	2	1,8600	0,0820
17	8,94	10,00	2	4,1136	0,0210
18	24,45	16,81	2	15,1779	0,2890
19	5,83	7,72	2	1,5636	0,0735
20	10,70	11,07	2	4,2184	0,0555
21	43,58	20,97	3	47,1781	0,7542
22	34,06	19,24	3	27,2648	1,1018
23	12,41	12,02	3	5,1774	0,1864
24	14,90	13,25	3	6,8565	0,2421
25	8,94	10,00	3	3,1463	0,0629
26	22,50	16,20	3	11,2665	0,1731
27	8,02	9,38	3	2,9955	0,1335
28	6,33	8,13	3	1,7971	0,0187
29	12,25	11,94	3	5,0752	0,2178
30	12,13	11,87	3	5,4823	0,1108

9. Porcentagem de carbono (C) e nitrogênio (N), e razão C:N por amostra selecionada de epífita avascular

Tabela 9: Porcentagem de carbono (%C), nitrogênio (%N) e razão C:N para cada uma das amostras de epífitas avasculares sorteadas para análise destes componentes, pertencentes a diferentes zonas ecológicas, faces e classes do Índice de Cobertura por Epífitas avasculares (ICE-av).

Amostra	ICE-av	Zona	Face	%N	%C	C:N
1	1	1	N	2,22	42,05	18,96
2	1	1	S	1,97	40,91	20,78
3	1	1	L	1,36	45,09	33,12
4	1	1	O	2,10	46,55	22,12
5	1	2	N	1,95	43,56	22,29
6	1	2	S	2,23	47,12	21,15
7	1	2	L	2,78	47,25	16,99
8	1	2	O	1,65	44,85	27,23
9	1	3	N	1,47	46,02	31,25
10	1	3	S	2,18	45,38	20,81
11	1	3	L	2,40	48,72	20,34
12	1	3	O	3,49	44,36	12,70
13	1	4	N	1,28	43,96	34,30
14	1	4	S	2,83	45,77	16,18
15	1	4	L	1,70	47,64	28,09
16	1	4	O	1,91	44,15	23,11
17	2	1	N	1,62	48,05	29,74
18	2	1	S	2,40	41,70	17,39
19	2	1	L	3,73	45,04	12,07
20	2	1	O	1,93	43,62	22,57
21	2	2	N	2,53	46,41	18,37
22	2	2	S	1,34	44,30	33,16
23	2	2	L	1,54	44,20	28,78
24	2	2	O	1,90	44,58	23,41
25	2	3	N	1,07	44,65	41,61
26	2	3	S	2,17	49,07	22,62
27	2	3	L	2,35	48,17	20,46
28	2	3	O	1,17	43,88	37,53
29	2	4	N	2,24	52,88	23,57
30	2	4	S	3,79	44,00	11,61
31	2	4	L	1,13	42,62	37,58
32	2	4	O	1,93	48,25	24,96
33	3	1	N	2,76	40,76	14,76
34	3	1	S	2,56	42,66	16,64
35	3	1	L	2,32	41,99	18,07
36	3	1	O	2,41	40,29	16,75
37	3	2	N	1,14	40,24	35,40
38	3	2	S	2,26	37,06	16,38
39	3	2	L	1,99	36,83	18,47
40	3	2	O	2,06	41,02	20,47
41	3	3	N	2,39	41,51	17,33
42	3	3	S	1,67	37,65	22,52
43	3	3	L	1,81	38,46	21,21
44	3	3	O	1,48	40,23	27,27
45	3	4	N	1,27	45,56	35,92
46	3	4	S	2,16	44,86	20,74
47	3	4	L	2,73	43,73	15,99
48	3	4	O	1,78	41,19	23,10

Anexos

1. Declaração de Bioética e Biossegurança



COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE BIOLOGIA
Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6109, 13.083-970, Campinas, SP, Brasil
Fone (19) 3521-6378. email: cpgib@unicamp.br



DECLARAÇÃO

Em observância ao **§ 5º do Artigo 1º da Informação CCPG-UNICAMP/001/15**, referente a Bioética e Biossegurança, declaro que o conteúdo da minha Dissertação de Mestrado, intitulada **“Distribuição e biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica”**, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biologia da Unicamp, não versa sobre pesquisa envolvendo seres humanos, animais ou temas afetos a Biossegurança.

A handwritten signature in black ink, reading "Gabriela B. Berro".

Assinatura: _____

Nome do(a) aluno(a): Gabriela Brasci Berro

A handwritten signature in black ink, reading "Simone Aparecida Vieira".

Assinatura: _____

Nome do(a) orientador(a): Profª Drª Simone Aparecida Vieira

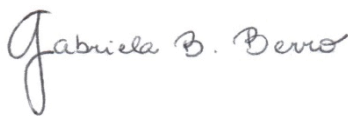
Data: 09 de setembro de 2021.

2. Declaração de direitos autorais

Declaração

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha co-autoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas ou anais de congressos sujeitos a arbitragem, que constam da minha Dissertação/Tese de Mestrado/Doutorado, intitulada **“Distribuição e biomassa de epífitas avasculares em Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Atlântica”** não infringem os dispositivos da Lei n.º 9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Campinas, 24 de outubro de 2021.



Assinatura: _____

Nome do(a) autor(a): Gabriela Brasci Berro

RG n.º 47.807.777-4 SSP-SP



Assinatura: _____

Nome do(a) orientador(a): Profª Drª Simone Aparecida Vieira

RG nº 16.339.964-5 SSP-SP