

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**  
**E FLORESTAIS**

**TESE**

**Árvores Urbanas: Padrões Espaciais de Cobertura Arbórea, Serviços  
Ecossistêmicos e Integridade do Fuste**

**Glacyanne Christine Vieira dos Santos Ataíde**

**2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
E FLORESTAIS**

**ÁRVORES URBANAS: PADRÕES ESPACIAIS DE COBERTURA  
ARBÓREA, SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E INTEGRIDADE DO  
FUSTE**

**GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS ATAIDE**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais

Seropédica, RJ  
Março de 2024

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

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A862? Ataíde, Glaycianne Christine Vieira dos Santos, 1992-  
Árvores Urbanas: Padrões Espaciais de Cobertura  
Arbórea, Serviços Ecossistêmicos e Integridade do Fuste  
/ Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde. -  
Seropédica, 2024.  
150 f.: il.

Orientador: João Vicente de Figueiredo Latorraca.  
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais, 2024.

1. Equidade ambiental. 2. Modelo I-Tree Eco. 3.  
Árvores urbanas históricas. I. Latorraca, João Vicente  
de Figueiredo, 1962-, orient. II Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS ATAIDE**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

TESE APROVADA EM 20/03/2024.

*(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:14)*  
BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONCA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)  
Matricula: ###456#4

*(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:12)*  
JOAO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptPF (12.28.01.00.00.00.30)  
Matricula: ###169#3

*(Assinado digitalmente em 25/03/2024 16:21)*  
SERGIO BRAZOLIN  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ###.###.598-##

*(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:20)*  
ANA LÍCIA PATRIOTA FELICIANO MARANGON  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ###.###.094-##

*(Assinado digitalmente em 05/04/2024 19:41)*  
JEANNE ALMEIDA DA TRINDADE  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ###.###.697-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1285**, ano: **2024**, tipo: **DECLARAÇÃO**, data de emissão: **25/03/2024** e o código de verificação: **2dab5fe0c1**

Aos meus pais, Selene e Gleison.  
As minhas irmãs, Glaycilene, Danielle e Gabrielle.  
Ao meu sobrinho, Arthur.  
Ao meu amor, Danilo.  
A minha filha, Maria Antônia.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi fácil. Muitos foram os obstáculos que surgiram pelo caminho (a pandemia da COVID-19, sem dúvidas, foi o maior deles), e o apoio que obtive ao longo destes últimos anos foi essencial para que eu pudesse superá-los.

Agradeço a Deus pela proteção e por guiar meus passos; apesar de não ser uma pessoa muito religiosa, minha fé me manteve firme nos momentos de dúvida e autoquestionamentos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por ter sido meu lar desde a graduação, proporcionando-me o necessário para alcançar meus objetivos enquanto estudante.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF), pela oportunidade de ampliar e sedimentar meus conhecimentos, além de possibilitar trocas de experiência com os colegas das diferentes áreas de concentração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pela concessão da bolsa de doutorado e sua ampliação devido aos impactos da pandemia da COVID-19.

A todos os membros da minha família, pelo carinho, apoio, paciência e conselhos ao longo de toda minha trajetória acadêmica. Ao meu esposo, Danilo, pelo companheirismo, cuidado e amor no dia a dia; obrigada por me fazer enxergar as coisas sob uma perspectiva mais leve; você faz parte desta conquista! À minha filha Maria Antônia, a melhor surpresa da minha vida; você me fez sentir um amor que nunca experimentei antes, e isso certamente foi um grande combustível para chegar até aqui. Amo muito todos vocês!

Às melhores amigas que a UFRRJ poderia me dar, Camila e Thais: 14 anos de amizade é muita história! É lindo ver como nossa amizade amadureceu nestes últimos anos e segue cada vez mais firme e forte! Obrigada pelas palavras de incentivo e apoio. Contem sempre comigo! Amo vocês!

Aos amigos de jornada acadêmica: Aécio, Fábio, Mari, Jonnys, Poli, Vic, Wayka, Zé e Thay, obrigada pelos momentos de descontração e pelo incentivo diário.

Ao Núcleo de Pesquisa em Qualidade de Árvore e Madeira (NPQAM) pelas oportunidades e experiências que me tornaram a profissional que sou hoje. Agradeço a todos os membros da equipe - professores, alunos e funcionários. Sentirei saudades e espero reencontrá-los em breve!

À toda equipe envolvida na coleta de dados que gerou esta tese: muito obrigada! O esforço de cada um foi fundamental para que eu pudesse concluir esta etapa da minha formação.

Ao professor Latorraca, pela confiança e disponibilidade em me orientar desde o mestrado. A qualidade da minha formação é reflexo também de sua atuação como orientador. Agradeço principalmente a paciência e o carinho que sempre demonstrou por Maria Antônia; saber que ela é bem-vinda no NPQAM, quando necessário, tornou possível a condução e finalização do presente estudo.

Aos membros da banca examinadora: Dr. Bruno Mendonça, Dr. Sérgio Brazolin, Dra. Jeanne Trindade e Dra. Ana Lícia Feliciano, agradeço pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Ao eterno orientador e amigo Valdir Diola (*in memoriam*), hoje eu gostaria de lhe dizer: eu consegui! Sempre serei grata pelos conselhos e por ter visto em mim potencial para ir além. Esteja em paz e com Deus.

A todos os funcionários do Instituto de Florestas, em especial aos da Serraria do NPQAM, por todo o auxílio na realização deste trabalho; vocês merecem todo o reconhecimento!

A todos os supracitados e aos que, por acaso, esqueci de mencionar, meus sinceros e eternos agradecimentos!

## RESUMO

ATAIDE, Glaycianne Christine Vieira dos Santos. **Árvores Urbanas: Padrões Espaciais de Cobertura Arbórea, Serviços Ecossistêmicos e Integridade do Fuste**. 2024. 150p Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Os três capítulos desta tese abordam diferentes aspectos da arborização urbana e seus impactos nos contextos ambiental, social e de gestão urbana. O primeiro capítulo analisa a distribuição espacial da floresta urbana no estado do Rio de Janeiro, evidenciando desigualdades na cobertura vegetal e suas relações com a densidade demográfica. Destaca a importância de compreender essas relações para orientar estratégias de planejamento urbano e promover equidade ambiental. O segundo capítulo concentra-se na avaliação dos serviços ecossistêmicos proporcionados pela arborização em dois bairros de Cuiabá, Brasil. Demonstra os benefícios da vegetação urbana na regulação do carbono e no balanço hídrico, fornecendo subsídios para a gestão urbana e a priorização de espécies vegetais. Por fim, o terceiro capítulo trata da identificação e avaliação de áreas potencialmente lesionadas em árvores urbanas históricas, utilizando técnicas de tomografia acústica e resistografia. Destaca a importância da manutenção criteriosa dessas árvores, considerando seu valor cultural e os riscos associados ao manejo inadequado. Em conjunto, os estudos ressaltam a relevância da arborização urbana para promover cidades mais sustentáveis, resilientes e com melhor qualidade de vida, destacando a necessidade de políticas e práticas de gestão ambiental e urbana que considerem esses aspectos de forma integrada.

**Palavras-chave:** Equidade ambiental, Modelo I-Tree Eco, Árvores urbanas históricas.



## ABSTRACT

ATAIDE, Glaycianne Christine Vieira dos Santos. **Urban Trees: Spatial Patterns of Tree Cover, Ecosystem Services, and Trunk Integrity**. 2024. 150p Thesis (Doctorate in Environmental and Forestry Sciences). Institute of Forests, Department of Forest Products, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

The thesis consists of three chapters that focus on various aspects of urban afforestation and its impacts on the environment, society, and urban management. The first chapter examines the distribution of urban forests in Rio de Janeiro and the relationship between vegetation cover and population density. The analysis underscores the importance of understanding these relationships to promote environmental equity and guide urban planning strategies. The second chapter evaluates the ecosystem services provided by afforestation in two neighborhoods in Cuiabá, Brazil. The research demonstrates how urban vegetation helps regulate carbon and water balance, and provides recommendations for urban management and plant species prioritization. The third chapter identifies and evaluates potentially damaged historic urban trees using acoustic tomography and resistography techniques. The study highlights the importance of proper maintenance of these trees, given their cultural importance and the risks associated with inadequate management. Together, these studies illustrate the relevance of urban afforestation in building more sustainable and resilient cities with a higher quality of life. They emphasize the need for integrated environmental and urban management policies and practices that take these aspects into account.

**Keywords:** Environmental equity, I-Tree Eco Model, Historic urban trees.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Sensibilidade espectral do satélite Sentinel-2/MSI para a resolução de 10 metros. ....	11
<b>Tabela 2</b> – Qualidade da classificação segundo o índice Kappa.....	12
<b>Tabela 3</b> – Matriz de confusão da classificação de cobertura do solo do estado do Rio de Janeiro, Brasil. ....	14
<b>Tabela 4</b> – Variáveis dendrométricas e serviços ecossistêmicos por forma de vida para todos os indivíduos avaliados. ....	39
<b>Tabela 5</b> – Resumo das componentes principais com suas respectivas proporções de variância total explicada. ....	40
<b>Tabela 6</b> – Cargas das variáveis analisadas, em função das formas de vida dos indivíduos, para cada componente principal. ....	41
<b>Tabela 7</b> – Serviços ecossistêmicos por indivíduo para as formas de vida mais representativas na área de estudo.....	41
<b>Tabela 8</b> – Modelos lineares e não-lineares selecionados para avaliar a relação de causalidade entre as variáveis de interesse. ....	53
<b>Tabela 9</b> – Estatística descritiva da velocidade de propagação de ondas acústicas e amplitude Resistográfica de árvores urbanas históricas de <i>Eucalyptus robusta</i> Sm. (continua).....	56
<b>Tabela 10</b> – Equações geradas para cada modelo avaliado e seus respectivos valores de p e RQEM (Raiz Quadrada do Erro Médio).....	59

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Divisão territorial do estado do Rio de Janeiro – Brasil. Coordenadas geográficas – SIRGAS 2000. Fonte: Fundação CEPERJ (2019). ..... 10
- Figura 2** – Distribuição espacial da floresta urbana (%) para cada município do estado do Rio de Janeiro (A) e para as regiões de governo do estado do Rio de Janeiro (B). Datum – SIRGAS 2000. .... 16
- Figura 3** – Distribuição espacial do índice de floresta urbana (m<sup>2</sup>/habitante) para cada município do estado do Rio de Janeiro (A) e para as regiões de governo do estado do Rio de Janeiro (B). Datum – SIRGAS 2000. .... 17
- Figura 4** – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) univariados: mapas de agrupamento do percentual de floresta urbana (PFU), do índice de floresta urbana (IFU) e da densidade demográfica (A, C e E, respectivamente); e respectivos gráficos de dispersão de Moran (B, D e F). .... 19
- Figura 5** – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) bivariados: mapas de agrupamento do percentual de floresta urbana (PFU) com a densidade demográfica (A), e do índice de floresta urbana (IFU) com a densidade demográfica (C); e respectivos gráficos de dispersão de Moran (B e D). .... 20
- Figura 6** – Áreas de estudo: bairros Centro Norte (vermelho) e Centro Sul (amarelo), localizados no município de Cuiabá / Mato Grosso / Brasil. Datum – WGS84. .... 32
- Figura 7** – Diagrama climático da área de estudo. Dados meteorológicos obtidos na estação automática de Cuiabá – A901 (15° 33' 33,46" S; 56° 3' 46,2" O), entre os anos de 2007 a 2022. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia. .... 33
- Figura 8** – Composição e estrutura vegetal das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. .... 35
- Figura 9** – Área de copa, valor de importância (somatório da área de copa e da população, em porcentagem) e escoamento superficial evitado das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. .... 36
- Figura 10** – Serviços ecossistêmicos relacionados ao sequestro de carbono das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. O sequestro bruto de carbono refere-se à quantidade de carbono retirado da atmosfera durante a fotossíntese e sua conversão em biomassa, sem considerar as perdas subsequentes (decomposição de folhas caídas, por exemplo). .... 38
- Figura 11** – Análise biplot das variáveis avaliadas em função das formas de vida dos indivíduos, evidenciando as componentes principais que retêm a maior porcentagem da variância total (98,97%). Em que: DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; Ht = altura total; Hp = altura até a base da copa; DC N-S = diâmetro da copa na direção norte-sul; DC L-O = diâmetro da copa na direção leste-oeste; CA = carbono armazenado; SBC =

sequestro bruto de carbono; ESE = escoamento superficial evitado. Legenda: (●) árvore; (●) arbusto; (●) árvore / arbusto; (●) palmeira. .... 40

**Figura 12** – Exemplo de tomograma de velocidade de ondas acústicas (A) e quantificação das diferentes classes de velocidades (B e C). As classes com cores verde e azul representam áreas com velocidades altas, enquanto que as de coloração rosa, vermelha e laranja representam menores velocidades. .... 53

**Figura 13** – Distribuição das características dendrométricas das árvores urbanas históricas de *Eucalyptus robusta* Sm. A caixa central representa a densidade dos dados e destaca a mediana (linha central) e os quartis (limites superior e inferior). As projeções laterais representam a variação dos dados; todas as variáveis estudadas apresentaram uma distribuição assimétrica dos dados. Pontos pretos indicam outliers que, neste estudo, representam grandes árvores. Em que: Ht = altura total (m) (A); Hp = altura até a primeira ramificação (m) (B); Dc = diâmetro de copa (m) (C); DAP = diâmetro a 1,30m acima do solo (cm) (D). .... 55

**Figura 14** – Exemplo de avaliação realizada em uma das árvores de *Eucalyptus robusta* Sm. (árvore 37). As linhas tracejadas vermelhas indicam os locais onde foram realizadas as análises de tomografia acústica e resistência à perfuração (A). Tomogramas e seus perfis de resistência à perfuração nas alturas de 50, 130 e 184 cm, respectivamente. As linhas tracejadas pretas indicam a posição de perfuração da broca (B, C e D). Principais problemas observados visualmente no sistema radicular, tronco e copa da árvore (E). 58

**Figura 15** – Correlação de Spearman (5% de significância) entre as variáveis dendrométricas, velocidade média de propagação de ondas acústicas (VMed) e amplitude média de resistência à perfuração (AmpMed). O tamanho dos círculos são proporcionais à correlação entre as variáveis. As correlações significativas ( $p < 0,05$ ) estão assinaladas na imagem. Onde: Ht = altura total; Hp = altura até a primeira ramificação; DAP = diâmetro a altura do peito – 1,30 m acima do solo; Dc = diâmetro da copa. .... 59

**Figura 16** – Gráficos de validação dos modelos selecionados para avaliação dos efeitos de causalidade entre as variáveis Velocidade Média de Propagação de Ondas e DAP (Diâmetro a 1,30 m acima do solo). Ajuste dos modelos (A, D, G e J); distribuição dos resíduos (B, E, H e K); validação dos valores estimados em função dos observados (C, F, I e L). .... 60

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1: PADRÃO ESPACIAL DA COBERTURA ARBÓREA URBANA E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE DEMOGRÁFICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL .....	5
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	6
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
2.1 Área de Estudo .....	10
2.2 Obtenção e Análise dos Dados .....	11
2.3 Análise Estatística .....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
4 CONCLUSÕES.....	22
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23
CAPÍTULO 2: SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DAS ÁRVORES NO PLANEJAMENTO URBANO: UMA ABORDAGEM COM O MODELO I-TREE ECO .....	27
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	28
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	32
2.1 Área de Estudo .....	32
2.2 Coleta e Obtenção dos Dados.....	33
2.3 Análise de Dados.....	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
3.1 Composição e Estrutura da Vegetação Urbana.....	35
3.2 Estimativa dos Serviços Ecossistêmicos .....	37
3.3 Influência da Forma de Vida nos Serviços Ecossistêmicos.....	39
4 CONCLUSÕES.....	43
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
CAPÍTULO 3: ÁRVORES URBANAS HISTÓRICAS: AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE INTERNA DO FUSTE <sup>1</sup> .....	48
RESUMO .....	49
ABSTRACT .....	49
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	52
2.1 Análise de Dados.....	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
4 CONCLUSÕES.....	61
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
CONCLUSÕES GERAIS .....	65
APÊNDICES .....	70

## INTRODUÇÃO GERAL

As árvores urbanas desempenham um papel fundamental na promoção da qualidade de vida e na sustentabilidade ambiental das cidades, oferecendo uma variedade de serviços ecossistêmicos que se refletem em benefícios estéticos (WANG et al., 2019), sociais (DE VRIES et al., 2003; WOLF et al., 2020), ecológicos (LOCOSSELLI et al., 2019; RUSHAYATI; SHAMILA; PRASETYO, 2018; WANG et al., 2021; ZHANG et al., 2015) e econômicos (DONOVAN; BUTRY, 2009; MCPHERSON; MUCHNICK, 2005).

Em geral, os serviços ecossistêmicos referem-se aos benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003), embora existam outras propostas conceituais aceitas na literatura científica (FERRAZ et al., 2019). De acordo com o Millennium Ecosystem Assessment (2003), os serviços ecossistêmicos são classificados em quatro categorias: serviços de provisão ou abastecimento; serviços de regulação; serviços de suporte e serviços culturais. São considerados serviços de provisão ou abastecimento os produtos obtidos a partir dos ecossistemas, tais como alimento, fibras, combustível, recursos genéticos, medicamentos naturais, produtos farmacêuticos, recursos ornamentais, e oferta de água. Os serviços de regulação correspondem aos benefícios obtidos com a regulação dos processos ecossistêmicos, como a manutenção da qualidade do ar, regulação climática e hídrica, controle de erosão, purificação da água e tratamento de resíduos, regulação de doenças humanas, controle biológico, polinização e proteção contra tempestades. Os serviços culturais referem-se aos benefícios imateriais provenientes dos ecossistemas, que enriquecem a espiritualidade, promovem o desenvolvimento cognitivo, proporcionam recreação e oferecem experiências estéticas. Incluem a diversidade cultural, valores espirituais e religiosos, valor educacional, relações sociais, senso de pertencimento, valor do patrimônio cultural e oportunidades de ecoturismo. Por fim, os serviços de suporte são aqueles necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos. Diferem dos demais serviços porque seus impactos nas pessoas são indiretos ou ocorrem ao longo de um período prolongado, e incluem a produção de oxigênio atmosférico, formação e retenção do solo, ciclagem de nutrientes, ciclagem de água e fornecimento de habitat. Nesta tese, exploramos os serviços de regulação ecossistêmica e, no terceiro capítulo, os serviços culturais, especificamente quanto ao valor de patrimônio cultural atribuído às árvores urbanas históricas.

Ao longo deste trabalho, exploramos três aspectos relacionados às árvores urbanas, cada um abordando diferentes dimensões de sua importância e gestão. No primeiro capítulo, concentramo-nos no padrão espacial da cobertura arbórea urbana e sua relação com a densidade demográfica no estado do Rio de Janeiro. A distribuição equitativa da cobertura arbórea é um desafio na gestão urbana, especialmente diante do esperado aumento significativo da população nas próximas décadas (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022). O uso de ferramentas que consideram critérios biofísicos e socioeconômicos na identificação de áreas prioritárias para a gestão da arborização urbana, representa uma abordagem estratégica para a otimização de recursos e implementação de estratégias que considerem as necessidades específicas de cada região (LOCKE et al., 2010; NYELELE; KROLL, 2021). Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi avaliar a distribuição espacial da floresta urbana e sua relação com a densidade demográfica nos municípios do estado do Rio de Janeiro.

No segundo capítulo, exploramos os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas árvores no planejamento urbano, utilizando o modelo I-Tree Eco. Neste capítulo focamos no papel das árvores urbanas na gestão dos recursos hídricos (KUEHLER; HATHAWAY; TIRPAK, 2016) e na mitigação das mudanças climáticas, atuando como um sumidouro de carbono atmosférico, fixando-o durante a fotossíntese e armazenando-o como biomassa (NOWAK et al., 2013). A avaliação desses serviços fornece informações úteis para a elaboração de estratégias de manejo

eficientes e maximização dos benefícios ecossistêmicos. Os objetivos deste capítulo foram avaliar a composição da vegetação urbana e estimar os serviços ecossistêmicos de regulação proporcionados pela arborização dos bairros Centro Norte e Centro Sul de Cuiabá, Brasil.

No terceiro capítulo, abordamos a avaliação da integridade interna do fuste de árvores urbanas históricas. Além de todos os benefícios usualmente proporcionados pelas árvores, aquelas com valor histórico atuam também na memória afetiva das comunidades (ARIFFIN; AZIZ; YUNUS, 2019). Contudo, em cenários climáticos extremos e com manejo inadequado, as árvores, sujeitas a constante estresse mecânico, podem representar riscos. Nesse contexto, a aplicação de métodos de avaliação não-destrutivos no diagnóstico de possíveis falhas nas árvores auxilia na minimização desses riscos, orientando ações corretivas para promover a segurança pública (ALLISON; WANG, 2015). Portanto, os objetivos deste capítulo foram identificar e estimar a extensão de áreas internas potencialmente lesionadas no tronco de árvores urbanas históricas e analisar a influência das características dendrométricas e da amplitude resistográfica média na velocidade de propagação média das ondas acústicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, R. B.; WANG, X. **Nondestructive Testing in the Urban Forest**. In: ROSS, R. J. (Ed.). *Nondestructive evaluation of wood*. 2. ed. Madison: Forest Service, 2015. p. 77–86.
- ARIFFIN, N. F. M.; AZIZ, N. A. A.; YUNUS, M. Y. M. The Significance of Heritage Trees Conservation for Urban Development in Taiping Lake Garden, Malaysia. **International Journal of Sustainable Tropical Design Research & Practice**, v. 12, n. 2, p. 39–47, 2019.
- DE VRIES, S. et al. Natural Environments—Healthy Environments? An Exploratory Analysis of the Relationship between Greenspace and Health. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 35, n. 10, p. 1717–1731, 2003.
- DONOVAN, G. H.; BUTRY, D. T. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 6, p. 662–668, 2009.
- FERRAZ, R. P. D. et al. **Serviços ecossistêmicos: uma abordagem conceitual**. In: FERRAZ, R. P. D. et al. (Ed.). *Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos*. Brasília, DF: EMBRAPA, 2019. p. 19–36.
- KUEHLER, E.; HATHAWAY, J.; TIRPAK, A. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. **Ecohydrology**, v. 10, n. 3, p. e1813, 2016.
- LOCKE, D. H. et al. Prioritizing Preferable Locations for Increasing Urban Tree Canopy in New York City. **Cities and the Environment**, v. 3, n. 1, p. Article 2, 2010.
- LOCOSSELLI, G. M. et al. The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. **Science of the Total Environment**, v. 666, p. 652–661, 2019.
- MCPHERSON, E. G.; MUCHNICK, J. Effects of Shade on Pavement Performance. **Journal of Arboriculture**, v. 31, n. 6, p. 303–310, 2005.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Their Services**. In: MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (Ed.). *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: IslandPress, 2003. p. 49–70.
- NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 229–236, 2013.
- NYELELE, C.; KROLL, C. N. A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 214, p. 104172, 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**, 2022.
- RUSHAYATI, S. B.; SHAMILA, A. D.; PRASETYO, L. B. The Role of Vegetation in Controlling Air Temperature Resulting from Urban Heat Island. **Indonesian Journal of Spatial and Regional Analysis**, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2018.
- WANG, R. et al. Characteristics of urban green spaces in relation to aesthetic preference and stress recovery. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 41, p. 6–13, 2019.



WANG, X. et al. Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. **Science of the Total Environment**, v. 770, p. 145211, 2021.

WOLF, K. L. et al. Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 12, p. 4371, 2020.

ZHANG, B. et al. Effect of urban green space changes on the role of rainwater runoff reduction in Beijing, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 140, p. 8–16, 2015.

**CAPÍTULO 1: PADRÃO ESPACIAL DA FLORESTA URBANA E SUA  
RELAÇÃO COM A DENSIDADE DEMOGRÁFICA NO ESTADO DO RIO  
DE JANEIRO, BRASIL**

## RESUMO

Em meio ao crescimento populacional urbano e às mudanças climáticas agravadas pelas atividades humanas, assegurar uma distribuição equitativa dos benefícios ecossistêmicos da arborização urbana representa um desafio para os gestores urbanos. A identificação de áreas prioritárias para a implantação e gestão da vegetação nas cidades é fundamental para potencializar esses benefícios e fomentar a equidade ambiental. Este estudo avalia a distribuição espacial da floresta urbana e sua relação com a densidade demográfica nos municípios do estado do Rio de Janeiro (RJ). Utilizando imagens de satélite Sentinel-2/MSI, foram classificadas cinco categorias de uso e cobertura do solo: floresta, pastagens, corpos d'água, infraestrutura urbana e solo exposto. A classificação foi realizada por meio do algoritmo Random Forest, usando amostras de treinamento e validação. A precisão da classificação foi avaliada pelos índices de exatidão global e Kappa. Em seguida, as classes foram extraídas para a área urbana de cada município. A partir destes dados, foram calculados indicadores de cobertura vegetal urbana (Percentual de Floresta Urbana e Índice de Floresta Urbana). Como indicador populacional, foram utilizados os dados de densidade demográfica (número de habitantes/km<sup>2</sup>) disponibilizados no Censo Demográfico de 2022. As relações espaciais entre a densidade demográfica e as variáveis de floresta urbana foram analisadas utilizando a estatística de Moran I. No total, o estado do RJ apresentou uma cobertura vegetal de 16,19%, com um índice médio de 29,58 m<sup>2</sup>/habitante. No entanto, a distribuição dessa cobertura nos municípios ocorre de maneira desigual, evidenciando disparidades nos benefícios proporcionados pela vegetação urbana. Observou-se uma correlação espacial negativa entre as variáveis de floresta urbana e densidade demográfica, indicando que municípios com baixa cobertura vegetal estão circundados por áreas com maiores densidades populacionais. A compreensão dessas relações pode auxiliar na adoção e direcionamento de estratégias de planejamento urbano, visando uma distribuição mais equitativa e eficiente da vegetação em áreas urbanas. Além disso, permite destacar áreas prioritárias para intervenções, contribuindo para o estabelecimento de políticas urbanas visando promover cidades mais sustentáveis e resilientes.

**Palavras-chave:** Arborização urbana, Distribuição espacial da floresta urbana, Equidade ambiental.

## ABSTRACT

With urban population growth and climate change being aggravated by human activities, ensuring an equal distribution of the ecosystem benefits of urban afforestation is a challenge for urban managers. To enhance these benefits and promote environmental equity, it is essential to identify priority areas for the implementation and management of vegetation in cities. This study evaluates the spatial distribution of the urban forest and its relationship with demographic density in municipalities in the state of Rio de Janeiro (RJ). Using Sentinel-2/MSI satellite images, five categories of land use and cover were classified: forest, pastures, water bodies, urban infrastructure, and exposed soil. The Random Forest algorithm was used to perform the classification, using training and validation samples. The accuracy of the classification was assessed by global accuracy and Kappa indices. The classes were then extracted for the urban area of each municipality, and indicators of urban vegetation cover were calculated, including the Percentage of Urban Forest and Urban Forest Index. Population data, specifically demographic density data (number of inhabitants/km<sup>2</sup>), made available in the 2022 Demographic Census, were used as a population indicator. The spatial relationships between demographic density and urban forest variables were analyzed using the Moran I statistic. The state of RJ has a vegetation cover of 16.19%, with an average rate of 29.58 m<sup>2</sup>/inhabitant.

However, the distribution of this coverage across municipalities is uneven, highlighting disparities in the benefits provided by urban vegetation. A negative spatial correlation was observed between the urban forest variables and demographic density, indicating that municipalities with low vegetation cover are surrounded by areas with higher population densities. Understanding these relationships can help adopt and direct urban planning strategies, aiming for a more equitable and efficient distribution of vegetation in urban areas. Furthermore, it allows for the identification of priority areas for interventions, contributing to the establishment of urban policies aimed at promoting more sustainable and resilient cities.

**Keywords:** Urban afforestation, Spatial distribution of urban forests, Environmental equity.

# 1 INTRODUÇÃO

A importância da cobertura arbórea em ambientes urbanos é amplamente reconhecida na literatura científica, contribuindo significativamente para o bem-estar da população e para a sustentabilidade do meio ambiente. As árvores urbanas desempenham diversos papéis essenciais, incluindo a melhoria da qualidade do ar (RODRÍGUEZ-SANTAMARÍA; ZAFRA-MEJÍA; RONDÓN-QUINTANA, 2022), regulação térmica (TESHNEHDEL et al., 2020), promoção do bem-estar e qualidade de vida (WOLF et al., 2020), preservação da biodiversidade (STROHBACH; LERMAN; WARREN, 2013), controle da erosão e drenagem da água das chuvas (XIE et al., 2020), além de contribuírem para a estética urbana (PRICE, 2003) e a valorização imobiliária (SANDER; POLASKY; HAIGHT, 2010). Diante da projeção de um aumento significativo da população urbana nas próximas três décadas (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022), garantir que esses benefícios sejam distribuídos de maneira equitativa representa um desafio na gestão urbana.

As cidades são caracterizadas por paisagens heterogêneas, dinâmicas e com relações socioecológicas complexas, que impulsionam mudanças ambientais em múltiplas escalas (GRIMM et al., 2008). As atividades humanas, principalmente por meio das emissões de gases do efeito de estufa, afetam os extremos meteorológicos e climáticos em todas as regiões do mundo, ocasionando impactos adversos com perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas. Nas cidades, tais impactos concentram-se entre a população econômica e socialmente vulneráveis, que historicamente menos contribuíram para as atuais alterações climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2023). Até 2070, prevê-se uma expansão urbana global, mais pronunciada em países de baixa renda (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022). Um dos problemas associados a esse fenômeno é a perda de biodiversidade, resultante da fragmentação de habitats naturais durante o processo de urbanização (VAN VLIET, 2019). Além disso, a impermeabilização de extensas áreas do solo reduz a infiltração de água, aumentando o risco de enchentes (LAVY; JULIAN; JAWARNEH, 2016). A formação de ilhas de calor urbano, causada pela remoção de vegetação e aumento de superfícies impermeáveis, contribui para temperaturas mais elevadas em áreas urbanizadas (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008). A poluição do ar e da água também é agravada pela concentração de atividades industriais e veículos nas zonas urbanas, impactando negativamente a qualidade ambiental (LU et al., 2021; MCGRANE, 2016). Ainda, a expansão urbana frequentemente gera desigualdades socioambientais, afetando de forma desproporcional as comunidades mais pobres e resultando, por exemplo, em falta de acesso a espaços verdes (PEDLOWSKI et al., 2002).

Identificar áreas prioritárias para a gestão da arborização urbana é a base para aumentar os serviços ecossistêmicos e proporcionar equidade ambiental. O emprego de ferramentas que ajudam nessa identificação, considerando critérios biofísicos e socioeconômicos, representa uma abordagem estratégica fundamental para a otimização de recursos e implementação de estratégias que considerem as necessidades específicas de cada região (LOCKE et al., 2010; NYELELE; KROLL, 2021). Fatores como o ambiente construído e parâmetros sociodemográficos moldam a paisagem urbana e, portanto, influenciam a distribuição da vegetação (PHAM et al., 2013). Nesse contexto, compreender a relação entre a densidade populacional, índice importante para o planejamento urbano, e a cobertura vegetal urbana fornece informações relevantes sobre a acessibilidade das comunidades densamente povoadas a espaços verdes, além de orientar ações de manejo que promovam cidades mais sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas.

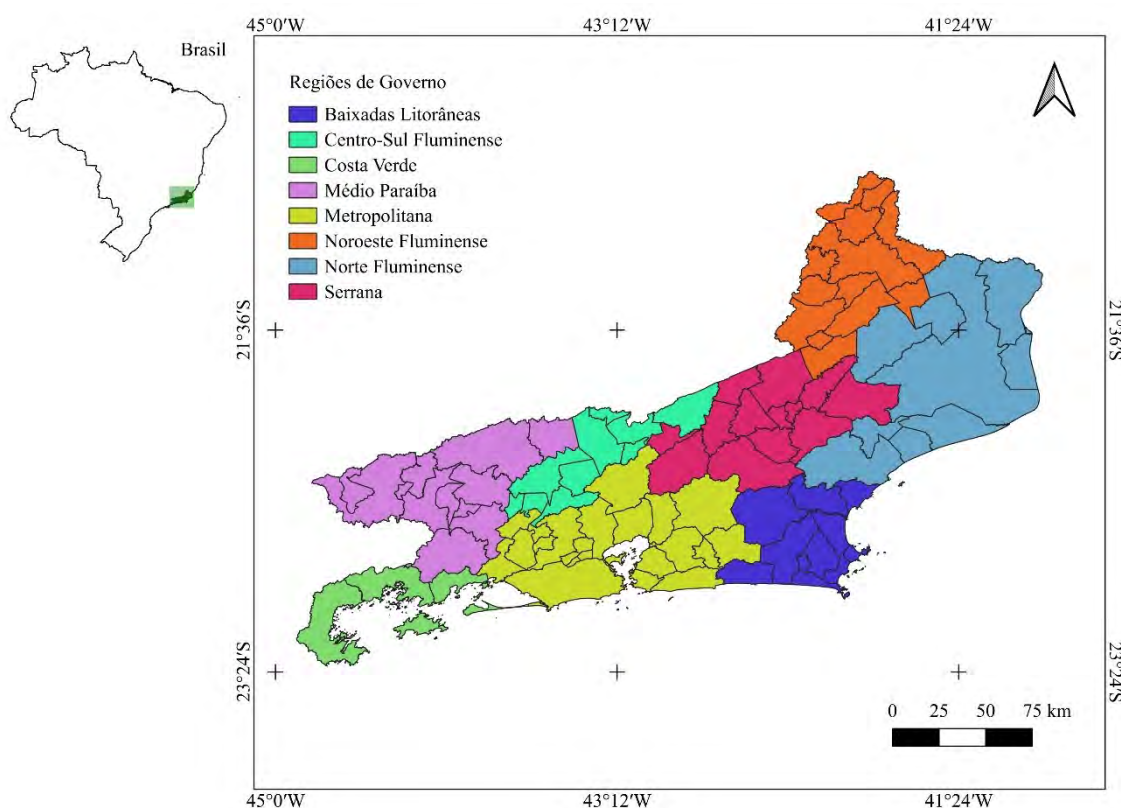
Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a distribuição espacial da floresta urbana e sua relação com a densidade demográfica nos municípios do estado do Rio de Janeiro,

contribuindo para uma compreensão mais aprofundada e estratégica do planejamento urbano na região.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no estado do Rio de Janeiro (RJ), localizado na região sudeste do Brasil. Composto por 92 municípios, este estado abrange áreas territorial e urbanizada de 43.750,425 km<sup>2</sup> e 2.824,91 km<sup>2</sup>, respectivamente. Apesar de apresentar uma das menores unidades territoriais do país (ocupando o 24º lugar entre os estados brasileiros), é o quinto maior estado em área urbana. Com uma população de 16.055.174 habitantes, é considerado o terceiro estado mais populoso do país e o segundo em densidade demográfica (366,97 habitantes/km<sup>2</sup>) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022a). Seu território está dividido em oito Regiões de Governo: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde (Figura 1) (FUNDAÇÃO CEPERJ, 2019).



**Figura 1** – Divisão territorial do estado do Rio de Janeiro – Brasil. Coordenadas geográficas – SIRGAS 2000. Fonte: Fundação CEPERJ (2019).

Quanto ao clima, o estado do Rio de Janeiro apresenta porções tropicais (51,5%) e subtropicais (48,5%), com predominância das classificações ‘Aw’ (44,1%), ‘Cwa’ (17,9%) e ‘Cfa’ (14,3%), segundo Köppen (ALVARES et al., 2014). O clima ‘Aw’, caracterizado por invernos secos, estende-se por todo o litoral norte e noroeste do estado, em altitudes inferiores a 250-300 metros. O clima ‘Cwa’, caracterizado por invernos secos e verões quentes, encontra-se em algumas áreas de planalto da Região Serrana e do Alto Itabapoana e nas Serras dos Órgãos e da Mantiqueira. O clima oceânico ‘Cfa’, sem estação seca e com verões quentes, está presente em uma faixa estreita na Serra do Mar (ALVARES et al., 2014; LUMBRERAS et al., 2003).

Seu território, integralmente inserido no Bioma Mata Atlântica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019a), apresenta alta diversidade de paisagens naturais, habitats e espécies de plantas, e é considerado um importante centro de endemismo vegetal (COELHO et al., 2017).

## 2.2 Obtenção e Análise dos Dados

A cobertura territorial do estado do RJ foi classificada utilizando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Foram importadas as cenas do ano de 2022 das imagens do satélite Sentinel-2/MSI para todo o estado do RJ. Equipado com sensores multiespectrais, este satélite captura imagens em várias bandas do espectro eletromagnético, oferecendo resoluções espaciais que variam de 10 a 60 metros (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2013). Neste estudo, foram utilizadas as bandas presentes na resolução de 10 m (Tabela 1).

**Tabela 1** – Sensibilidade espectral do satélite Sentinel-2/MSI para a resolução de 10 metros.

Banda	Nome	Espectro (nm)
2	Azul	490
3	Verde	560
4	Vermelho	665
8	Infravermelho Próximo (NIR)	842

Fonte: European Space Agency (2013).

Para a seleção das imagens, estabeleceu-se um limite máximo de cobertura de nuvens de 10% aplicando o filtro *Cloud Coverage Assessment*, fornecido pelo GEE (GORELICK et al., 2017). Posteriormente, foram estabelecidas cinco classes representativas de uso e cobertura do solo: floresta, pastagens, corpos d’água, infraestrutura urbana e solo exposto.

Em seguida, a etapa de classificação supervisionada foi realizada utilizando o algoritmo *Random Forest* (BREIMAN, 2001). Para a criação de um conjunto robusto de dados, foram delimitados 50 polígonos em cada uma dessas classes como amostras de treinamento. Adicionalmente, 30 polígonos foram designados para compor o conjunto de validação de cada classe. Esses polígonos foram estrategicamente selecionados para abranger a diversidade e representatividade das referidas classes.

Uma matriz de confusão, que discrimina os erros de comissão e omissão, foi utilizada para avaliar a precisão da classificação. Essa matriz apresenta o número de pixels de uma classe que foi incorretamente classificado em outras classes (erros de comissão) e o número de pixels de uma determinada classe que deixou de ser classificado corretamente (erros de omissão). Além disso, foram determinados a exatidão global da classificação (Equação 1) e o índice Kappa (LANDIS; KOCH, 1977) (Equação 2) (Tabela 2), fornecendo métricas quantitativas para a validação e interpretação dos resultados obtidos. A exatidão global e o índice Kappa variam entre 0 e 1 e medem a precisão dos dados, quanto mais próximo de 1 melhor a qualidade da classificação.

$$F_m = \frac{\sum X_i}{N} \quad (1)$$

Em que:  $F_m$  = exatidão global;  $X_i$  = elementos na diagonal;  $N$  = total de elementos amostrados.



$$K = \frac{N \sum_{i=l}^r x_{ii} - \sum_{i=l}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=l}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (2)$$

Em que: K = índice Kappa; r = número de linhas na matriz de erro; x<sub>ii</sub> = número de observações na linha i e na coluna l; x<sub>i+</sub> e x<sub>+i</sub> = valores totais das linhas i e colunas i; N = número total de classes.

**Tabela 2** – Qualidade da classificação segundo o índice Kappa.

Índice Kappa	Qualidade da Classificação
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito boa
0,81 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

A partir do mapa de classificação obtido, foram extraídas as classes mencionadas anteriormente para cada município do estado do RJ. Este processo foi realizado no ArcGIS/ArcMap 10.5 (extensão *Spatial Analyst*, ferramenta *Tabulate Area*). Para identificar as porções correspondentes às áreas urbanizadas, adotou-se a Proposta Metodológica para Classificação dos Espaços do Rural, do Urbano e da Natureza no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023). Esta metodologia considera não apenas a proximidade de residências e edificações, mas também padrões de arruamento que caracterizam o modo de vida urbano. Considerou-se o mapeamento de setores censitários realizado em 2019 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019b).

Para cada município, foram calculados indicadores quantitativos da cobertura vegetal urbana: Percentual de Floresta Urbana (PFU) (Equação 3) e Índice de Floresta Urbana (IFU) (Equação 4). Neste estudo, foi utilizado no termo “floresta urbana” para designar toda cobertura vegetal (independente da forma de vida) que compõe o cenário da paisagem urbana, incluindo a vegetação presente em áreas particulares (bosques e jardins residenciais) e públicas (arborização viária e áreas verdes) (BIONDI, 2015).

Como indicador populacional, foram utilizados os dados de densidade demográfica (número de habitantes/km<sup>2</sup>) disponibilizados no Censo Demográfico de 2022 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022b).

$$PFU = \frac{\sum FU}{AT} \times 100 \quad (3)$$

Em que: PFU = percentual de floresta urbana (%); FU = floresta urbana (m<sup>2</sup>); AT = área total urbana (m<sup>2</sup>).

$$IFU = \frac{\sum FU}{NH} \quad (4)$$

Em que: IFU = índice de floresta urbana (m<sup>2</sup>/habitante); FU = floresta urbana (m<sup>2</sup>); NH = número total de habitantes na área urbana, disponibilizado no Censo Demográfico de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

## 2.3 Análise Estatística

A distribuição espacial das variáveis de interesse (percentual de floresta urbana, índice de floresta urbana e densidade demográfica) foi analisada aplicando a estatística de Moran I (MORAN, 1948), conduzida no *software* GeoDa© versão 1.22.0.4. Esta análise permite identificar a presença de padrões espaciais globais e locais para cada variável (análise univariada) e padrões locais entre variáveis (análise bivariada). Foram avaliados o coeficiente de autocorrelação global de Moran (I), o Mapa de Agrupamento LISA (*Local Indicators of Spatial Association*) e o Diagrama de Dispersão de Moran. A significância estatística foi comprovada quando o valor-p foi menor que 0,05.

O coeficiente de Moran varia de -1 a +1, e indica o grau de associação espacial no conjunto de dados: valores positivos indicam correlação direta enquanto valores negativos indicam correlação inversa. A estatística de Moran I local decompõe a medida global de autocorrelação em contribuições locais para cada observação, classificando-as em quatro categorias apresentadas nos quadrantes do gráfico de dispersão de Moran. O quadrante Alto-Alto (AA), localizado no canto superior direito, é composto por regiões com valores elevados para a variável de interesse, cercadas por outras regiões que também possuem valores acima da média para essa variável. O quadrante Baixo-Baixo (BB), localizado no canto inferior esquerdo, é composto por regiões com valores baixos, cercadas por outras regiões que também apresentam valores baixos. O quadrante Alto-Baixo (AB), localizado no canto inferior direito, é formado por regiões com valores elevados para a variável de interesse, cercadas por outras regiões com valores baixos; uma lógica inversa é observada no quadrante Baixo-Alto (BA), localizado no canto superior esquerdo. As regiões nos quadrantes AA e BB apresentam autocorrelação espacial positiva, formando grupos de valores semelhantes. Por outro lado, os quadrantes BA e AB, considerados *outliers*, indicam autocorrelação espacial negativa, formando grupos com valores distintos (CARVALHO et al., 2004).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação de cobertura do solo apresentou uma exatidão global de 0,98 e um índice Kappa de 0,97, valores considerados excelentes (Tabela 2) (LANDIS; KOCH, 1977). Esses resultados atestam a capacidade do algoritmo em realizar classificações precisas e validam a possibilidade de generalização dos dados de treinamento. Entre as classes, “Corpos d’água” apresentou maior proporção de acertos, enquanto "Pastagens" e "Solo exposto" foram mais propensas a erros de comissão e omissão, respectivamente (Tabela 3). Contudo, é importante ressaltar que isto não comprometeu a exatidão global do modelo. A área urbana do estado do Rio de Janeiro foi composta por, aproximadamente: 41,6% de infraestrutura urbana, 34,6% de pastagens, 15,9% de floresta, 7,1% de solo exposto e 0,8% de corpos d’água (Apêndice A).

**Tabela 3** – Matriz de confusão da classificação de cobertura do solo do estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Classes	Floresta	Pastagens	Corpos d’água	Infraestrutura urbana	Solo exposto	Total	Erro de comissão (%)
Floresta	16.137	18	0	0	18	16.173	0,22
Pastagens	14	1.130	0	53	349	1.546	26,91
Corpos d’água	0	0	20.001	0	0	20.001	0,00
Infraestrutura urbana	3	3	0	794	78	878	9,57
Solo exposto	0	0	0	53	285	338	15,68
Total	16.154	1.151	20.001	900	730	38.936	-
Erro de omissão (%)	0,11	1,82	0,00	11,78	60,96	-	-

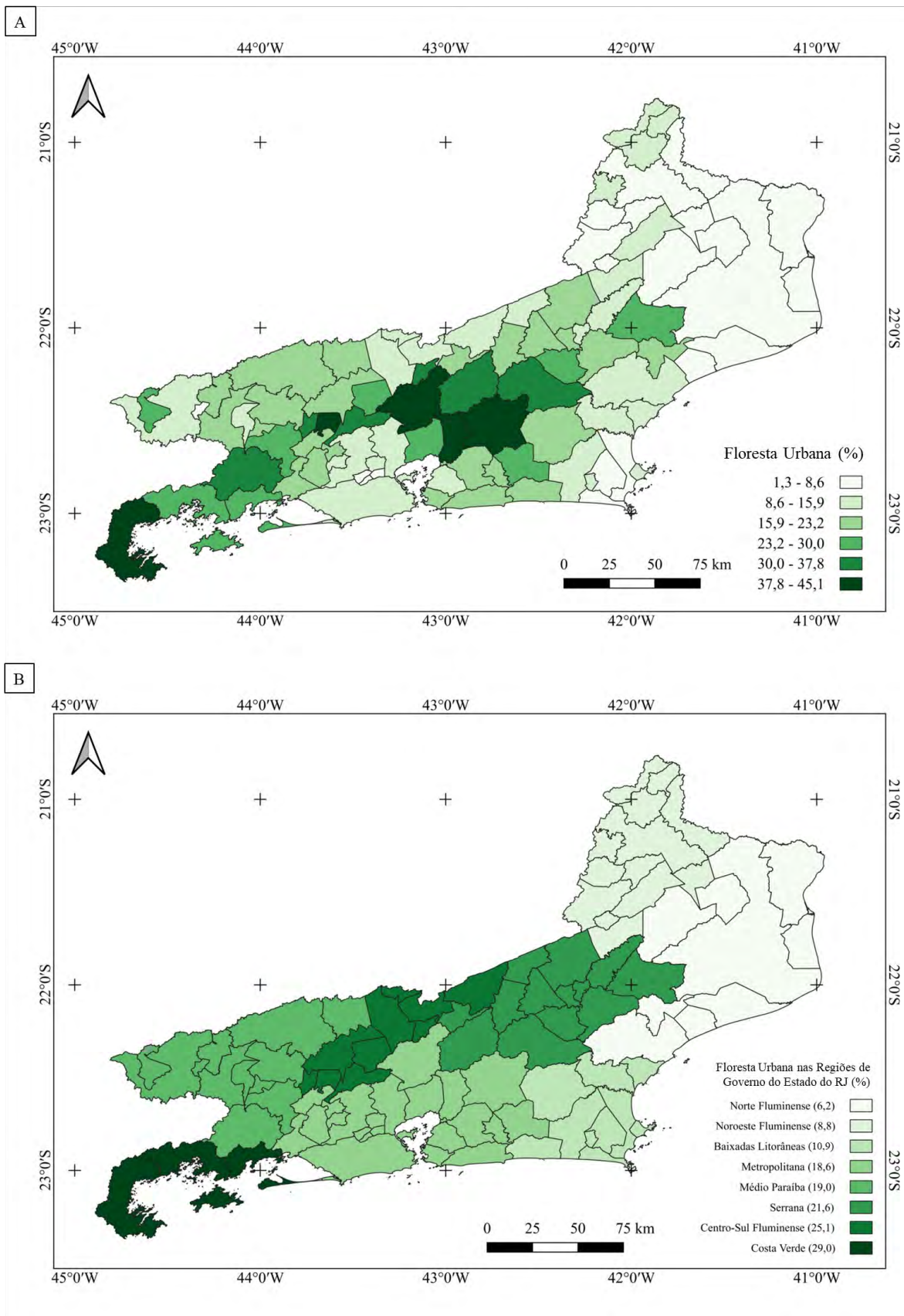
Ao todo, o estado do Rio de Janeiro apresentou 16,19% de floresta urbana e índice de 29,58 m<sup>2</sup>/habitante. Contudo, a análise espacial da floresta urbana revelou um padrão de distribuição desigual entre os municípios, evidenciando porcentagens mais elevadas nas zonas central e sul do estado, abrangendo as regiões da Costa Verde, Centro-Sul Fluminense, Serrana e Médio Paraíba. Por outro lado, observaram-se porcentagens menores principalmente nas áreas ao norte, compreendendo as regiões Norte e Noroeste Fluminense, e em alguns municípios da região Metropolitana (Figuras 2A e 2B). Destacam-se, entre os municípios, Petrópolis, Engenheiro Paulo de Frontin e Guapimirim, que exibiram os maiores percentuais de floresta urbana, registrando 45,1%, 44,6% e 42,7%, respectivamente. Em contraste, Nilópolis (1,3%), São João da Barra (1,7%) e São João de Meriti (3,2%) apresentaram as menores proporções (Apêndice B).

Um padrão espacial semelhante foi identificado também para o índice de floresta urbana (Figuras 3A e 3B). Nesta variável, destacaram-se os municípios de Paraty, Guapimirim e Miguel Pereira, apresentando os maiores índices, com valores aproximados de 254,5, 233,3 e 215,1 m<sup>2</sup>/habitante, respectivamente. Índices inferiores foram observados em Nilópolis (0,8 m<sup>2</sup>/habitante), São João de Meriti (2,4 m<sup>2</sup>/habitante) e Mesquita (3,2 m<sup>2</sup>/habitante) (Apêndice B).

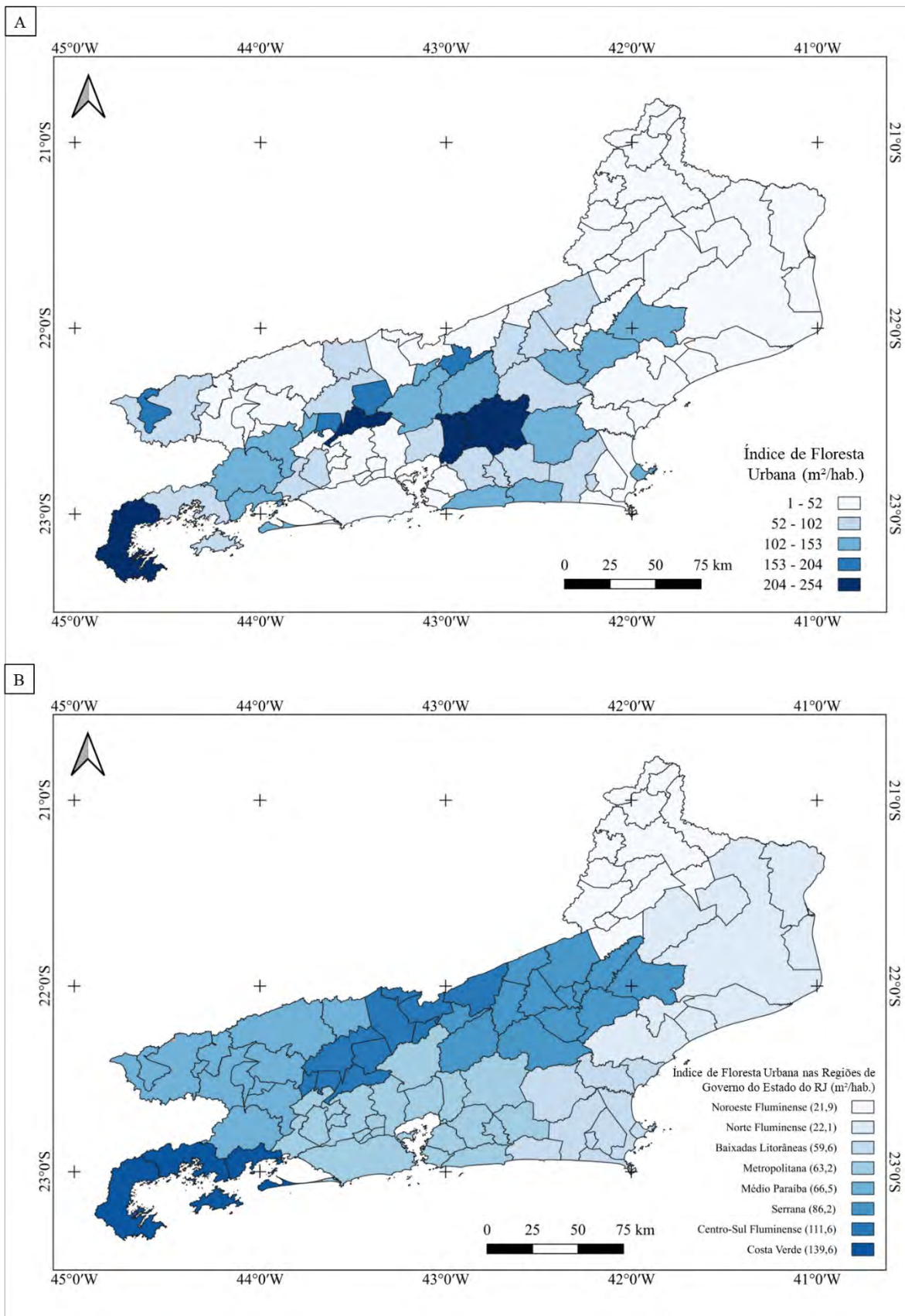
A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU), durante o VI Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, recomendou um índice de cobertura arbórea mínimo de 15 m<sup>2</sup>/habitante (SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1996). Embora esta recomendação seja direcionada para áreas verdes públicas destinadas à recreação, e não para toda a arborização de uma cidade, alguns trabalhos utilizam este valor como parâmetro comparativo (FEIO; VELOSO; HERRERA, 2022; PEREIRA; ROCHA; MENGUE,

2010; TEIXEIRA; GONÇALVES, 2020). Entre os 92 municípios do Rio de Janeiro, 79 (aproximadamente 86%) atenderam a essa recomendação.

Comparando o percentual de floresta urbana com os dados de arborização de vias públicas (%), provenientes do Censo Demográfico de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022a), apenas os municípios de Angra dos Reis, Engenheiro Paulo de Frontin, Japeri, Mendes, Paraty, Petrópolis e Pirai apresentaram resultados similares. Para os demais municípios, houve uma redução considerável nos últimos 12 anos (Apêndice C). Nesse Censo de 2010, a arborização de vias públicas foi estimada a partir da proporção de domicílios situados em frente a uma quadra com arborização em relação ao total de domicílios urbanos em uma determinada área. Tal metodologia difere da abordagem empregada no presente estudo, possivelmente explicando a magnitude das discrepâncias identificadas. Futuras análises comparativas deverão ser realizadas à medida que os dados do próximo Censo Demográfico se tornarem disponíveis.



**Figura 2** – Distribuição espacial da floresta urbana (%) para cada município do estado do Rio de Janeiro (A) e para as regiões de governo do estado do Rio de Janeiro (B). Datum – SIRGAS 2000.



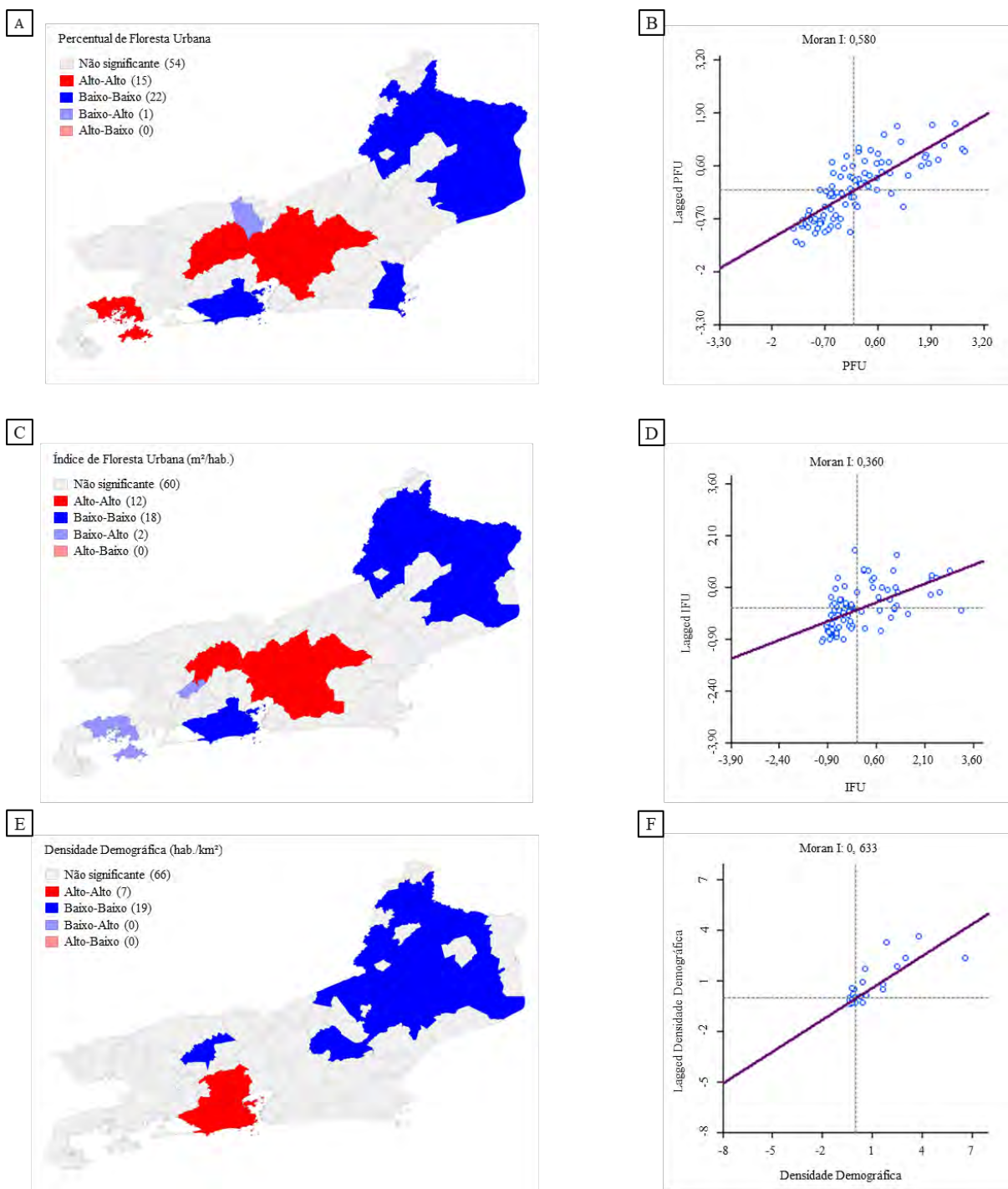
**Figura 3** – Distribuição espacial do índice de floresta urbana ( $m^2/habitante$ ) para cada município do estado do Rio de Janeiro (A) e para as regiões de governo do estado do Rio de Janeiro (B). Datum – SIRGAS 2000.

Os valores de Moran I foram estatisticamente significativos (valor-p < 0,05) para o percentual de floresta urbana, o índice de floresta urbana e a densidade demográfica, registrando uma autocorrelação global de 0,580, 0,360 e 0,633, respectivamente. Esses resultados indicam a presença de um padrão espacial de concentração. Municípios com elevada cobertura vegetal estão localizados próximos de outros municípios que compartilham características semelhantes, e o inverso também foi observado. Padrão similar foi observado para a densidade demográfica, indicando que municípios com maiores e menores densidades populacionais estão agrupados entre si.

A análise conjunta do Mapa de Agrupamento LISA (Figuras 4A, 4C e 4E) e do Diagrama de Dispersão de Moran (Figuras 4B, 4D e 4F) revelou a formação de dois grupos distintos e a identificação de alguns municípios isolados, evidenciados nos quadrantes Alto-Alto (AA) e Baixo-Baixo (BB). Em relação às variáveis de floresta urbana (PFU e IFU), notou-se que o grupo AA engloba predominantemente municípios localizados nas regiões Metropolitana, Centro-Sul Fluminense e Serrana. Estes municípios caracterizam-se por apresentarem elevados percentuais e índices de floresta urbana e estarem próximos a outros municípios que compartilham das mesmas características. Por outro lado, o grupo BB é composto principalmente por municípios das regiões Norte e Noroeste Fluminense, com poucas exceções, indicando municípios que apresentam baixos percentuais e índices de floresta urbana próximos a outros que também apresentam tais características (Figuras 4A – D).

A configuração dos agrupamentos para a densidade demográfica apresentou algumas diferenças em relação aos padrões previamente descritos (Figuras 4E e 4F). No quadrante BB, além de municípios das regiões Norte e Noroeste Fluminense, foram incluídos alguns municípios da região Serrana. O quadrante AA foi composto exclusivamente por municípios da região Metropolitana, demonstrando uma concentração de municípios com alta densidade populacional no Estado.

Os municípios Rio de Janeiro, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Nilópolis destacaram-se ao exibir baixos percentuais e índices de floresta urbana, acompanhados por uma elevada densidade demográfica. Esses resultados indicam uma correlação inversa entre a presença de cobertura vegetal e a densidade populacional nesses municípios. Por outro lado, foram observadas relações opostas nos municípios de Vassouras e Nova Friburgo, onde se verificou uma maior cobertura vegetal urbana em conjunto com uma densidade demográfica mais baixa.

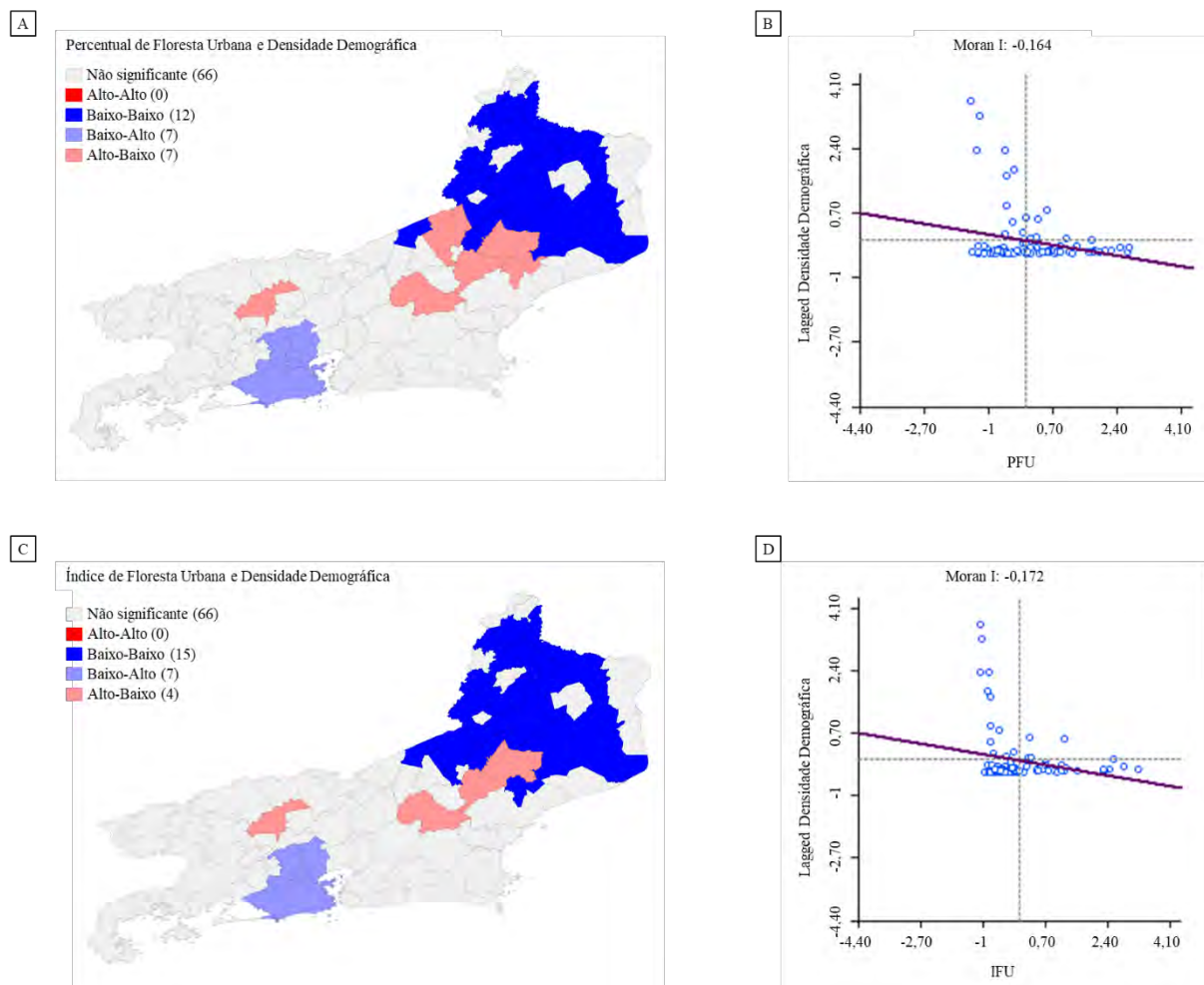


**Figura 4** – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) univariados: mapas de agrupamento do percentual de floresta urbana (PFU), do índice de floresta urbana (IFU) e da densidade demográfica (A, C e E, respectivamente); e respectivos gráficos de dispersão de Moran (B, D e F).

A análise bivariada revelou correlações significativas negativas entre as variáveis de floresta urbana e a densidade demográfica, embora relativamente fracas:  $-0,164$  para o PFU e a densidade demográfica, e  $-0,172$  para o IFU e a densidade demográfica. Esses resultados indicam que municípios com baixa cobertura vegetal estão localizados próximos a municípios com maiores densidades populacionais. Ambas as análises bivariadas revelaram composições



semelhantes nos agrupamentos, com exceção de Cantagalo, Cordeiro e Conceição de Macabu. Estes municípios compuseram o grupo Alto-Baixo (AB) na relação entre a PFU e densidade demográfica, enquanto fizeram parte do grupo BB na relação entre o IFU e a densidade demográfica (Figura 5).



**Figura 5** – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) bivariados: mapas de agrupamento do percentual de floresta urbana (PFU) com a densidade demográfica (A), e do índice de floresta urbana (IFU) com a densidade demográfica (C); e respectivos gráficos de dispersão de Moran (B e D).

É importante destacar os municípios que compõem o grupo Baixo-Alto (BA): Berlford Roxo, Duque de Caxias, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro e São João de Meriti, todos pertencentes à região Metropolitana (Figura 5). Estes locais apresentaram cobertura vegetal abaixo da média ( $\overline{PFU} = 16,69\%$ ;  $\overline{IFU} = 64,38 \text{ m}^2/\text{hab.}$ ) e vizinhos com maiores densidades populacionais. No que diz respeito ao planejamento urbano, estas cidades podem ser consideradas prioritárias na implementação de estratégias voltadas à implantação, monitoramento, conservação e expansão da arborização urbana. Apesar do marco histórico do início da arborização no Brasil ter ocorrido na cidade do Rio de Janeiro, com a inauguração do Passeio Público em 1790 (TELLES et al., 2021), somente em 2016 foi aprovado o Plano Diretor de Arborização Urbana – PDAU Rio (Decreto nº 42.685/2016), indicando um movimento para aprimorar a gestão da arborização nesse município (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2015; RIO DE JANEIRO, 2016). Até a conclusão deste estudo, os demais

municípios que compõem o grupo mencionado não apresentaram documentos específicos para gestão da arborização urbana. Mais recentemente, em 2023, a cidade do Rio de Janeiro foi certificada pelo Programa *Tree Cities of the World*. Este Programa, promovido anualmente pela *Arbor Day Foundation* em parceria com a FAO (*Food and Agriculture Organization*) das Nações Unidas, tem como objetivo reconhecer e incentivar a preservação de áreas verdes urbanas em cidades de todo o mundo. No Brasil, apenas 34 cidades receberam este reconhecimento, incluindo Rio de Janeiro, Niterói e Nova Friburgo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; ARBOR DAY FOUNDATION, 2023).

Os índices socioeconômicos são considerados um dos principais fatores influenciando a cobertura arbórea urbana (LUCK; SMALLBONE; O'BRIEN, 2009) e, portanto, a relação entre essas variáveis tem sido abordada em diversos estudos (ARANTES et al., 2021; CHEN et al., 2018; HEYNEN; LINDSEY, 2003; LANDRY; CHAKRABORTY, 2009; SZANTOI et al., 2013; WANG et al., 2016). Em muitas cidades, a distribuição da vegetação ocorre de maneira desigual, favorecendo de forma desproporcional determinados grupos sociodemográficos (GREENE; ROBINSON; MILLWARD, 2018; HEYNEN; PERKINS; ROY, 2006; LIN; WANG; LI, 2021; SCHWARZ et al., 2015).

A urbanização rápida e em grande escala, aliada à falta de planejamento na ocupação do território, diminui as áreas disponíveis para o plantio e estabelecimento de árvores (JIM, 1998). Nesse sentido, a densidade populacional pode ser considerada um fator-chave na limitação da quantidade de vegetação urbana (PHAM et al., 2013; TAN; WANG; SIA, 2013). Essa relação inversa entre a cobertura arbórea urbana e a densidade demográfica foi corroborada por outras pesquisas (CLARKE; JENERETTE; DAVILA, 2013; SILVA FILHO et al., 2005).

Essas associações alinham-se ao conceito de gradiente de floresta urbana proposto por Bradley (1995), no qual o aumento da densidade populacional está associado à diminuição da presença de vegetação no meio urbano. O aumento no número de pessoas por unidade de área intensifica a competição por espaço entre as infraestruturas urbanas, tendo um impacto direto na quantidade de vegetação urbana disponível. Entender essas relações é fundamental para orientar políticas urbanas que visam equilibrar a preservação e promoção de áreas verdes nas cidades com o crescimento populacional urbano esperado para os próximos anos. Atualmente, 55% da população mundial reside em áreas urbanas, e estima-se que até 2050 esse percentual aumente para 68% (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022).

## 4 CONCLUSÕES

A distribuição da floresta urbana nos municípios do estado do Rio de Janeiro ocorre de forma desigual, evidenciando disparidades nos benefícios proporcionados pela vegetação urbana.

As análises estatísticas espaciais e a identificação de agrupamentos significativos ressaltam a dependência espacial entre as variáveis de cobertura vegetal e densidade demográfica desses municípios, em que uma relação negativa entre a floresta urbana e a densidade populacional indica que, à medida que a densidade demográfica aumenta, a presença de vegetação urbana tende a diminuir.

As relações entre a floresta urbana e a densidade populacional pode auxiliar na orientação de estratégias de planejamento urbano, a fim de promover uma distribuição mais equitativa e eficiente da vegetação em áreas urbanas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ARANTES, B. L. et al. Urban forest and per capita income in the mega-city of Sao Paulo, Brazil: A spatial pattern analysis. **Cities**, v. 111, p. 103099, 2021.
- BIONDI, D. **Floresta Urbana: Conceitos e Terminologias**. In: BIONDI, D. (Ed.). Floresta Urbana. Curitiba: O Autor, 2015. p. 11-48.
- BRADLEY, G. **Urban Forest Landscapes: Integrating Multidisciplinary Perspectives**. In: BRADLEY, G. (Ed.). Urban Forest Landscapes: Integrating Multidisciplinary Perspectives. Seattle: University of Washington Press, 1995. p. 3–11.
- BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.
- CARVALHO, M. S. et al. **Análise de dados de área**. In: DRUCK, S. et al. (Eds.). Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 157–206.
- CHEN, L. et al. Understanding treescape changes as the basis of urban forest planning in fringe areas. **Ecological Indicators**, v. 95, p. 117–126, dez. 2018.
- CLARKE, L. W.; JENERETTE, G. D.; DAVILA, A. The luxury of vegetation and the legacy of tree biodiversity in Los Angeles, CA. **Landscape and Urban Planning**, v. 116, p. 48–59, 2013.
- COELHO, M. A. N. et al. Flora do estado do Rio de Janeiro: avanços no conhecimento da diversidade. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, p. 1–11, 2017.
- EUROPEAN SPACE AGENCY, E. **Sentinel-2 User Handbook**. 1. ed. European Commission, 2013.
- FEIO, E. F.; VELOSO, G. A.; HERRERA, R. C. Índices Espaciais da Arborização na Cidade de Altamira - Pará. **Revista GeoAmazônia**, v. 10, n. 20, p. 172–192, 2022.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO; ARBOR DAY FOUNDATION. **2023 Tree Cities of the World - Recognised Cities**. Disponível em: <https://treecitiesoftheworld.org/directory.cfm>. Acesso em: 5 abr. 2024.
- FUNDAÇÃO CEPERJ. **Caracterização do Território**. Disponível em: [https://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz\\_ceperj\\_imagens/Arquivos\\_Ceperj/ceep/dados-estatisticos/series-historicas/caracterizacao-territorio.html](https://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz_ceperj_imagens/Arquivos_Ceperj/ceep/dados-estatisticos/series-historicas/caracterizacao-territorio.html). Acesso em: 30 jan. 2024.
- GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.
- GREENE, C. S.; ROBINSON, P. J.; MILLWARD, A. A. Canopy of advantage: Who benefits most from city trees? **Journal of Environmental Management**, v. 208, p. 24–35, 2018.
- GRIMM, N. B. et al. Global Change and the Ecology of Cities. **Science**, v. 319, p. 756–760, 2008.
- HEYNEN, N. C.; LINDSEY, G. Correlates of Urban Forest Canopy Cover. **Public Works Management & Policy**, v. 8, n. 1, p. 33–47, 1 jul. 2003.

HEYNEN, N.; PERKINS, H. A.; ROY, P. The Political Ecology of Uneven Urban Green Space: The Impact of Political Economy on Race and Ethnicity in Producing Environmental Inequality in Milwaukee. **Urban Affairs Review**, v. 42, n. 1, p. 3–25, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010 - Rio de Janeiro**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censo2010/apps/sinopse/index.php?uf=33&dados=0>. Acesso em: 26 maio. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. 45 v. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Malha de Setores Censitários**. 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?edicao=28392&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 28 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Panorama**. 2022a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 27 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Censo Demográfico 2022**. 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=37225&t=resultados>. Acesso em: 27 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Proposta Metodológica para Classificação dos Espaços do Rural, do Urbano e da Natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023.

JIM, C. Y. Impacts of intensive urbanization on trees in Hong Kong. **Environmental Conservation**, v. 25, n. 2, p. 146–159, 1998.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.

LANDRY, S. M.; CHAKRABORTY, J. Street Trees and Equity: Evaluating the Spatial Distribution of an Urban Amenity. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 41, n. 11, p. 2651–2670, 1 nov. 2009.

LAVY, B. L.; JULIAN, J. P.; JAWARNEH, R. N. The impact of Past and Future Urban Expansion on Soil Resources in Central Arkansas, 1994-2030. **Papers in Applied Geography**, v. 2, n. 1, p. 25–39, 2016.

LIN, J.; WANG, Q.; LI, X. Socioeconomic and spatial inequalities of street tree abundance, species diversity, and size structure in New York City. **Landscape and Urban Planning**, v. 206, p. 103992, 2021.

LOCKE, D. H. et al. Prioritizing Preferable Locations for Increasing Urban Tree Canopy in New York City. **Cities and the Environment**, v. 3, n. 1, p. Article 2, 2010.

- LU, J. et al. Expansion of city scale, traffic modes, traffic congestion, and air pollution. **Cities**, v. 108, p. 102974, 2021.
- LUCK, G. W.; SMALLBONE, L. T.; O'BRIEN, R. Socio-Economics and Vegetation Change in Urban Ecosystems: Patterns in Space and Time. **Ecosystems**, v. 12, n. 4, p. 604–620, 12 jun. 2009.
- LUMBRERAS, J. F. et al. **Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro – Ano 2003**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.
- MCGRANE, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 13, p. 2295–2311, 2016.
- MORAN, P. A. P. The Interpretation of Statistical Maps. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 10, n. 2, p. 243–251, 1948.
- NYELELE, C.; KROLL, C. N. A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 214, p. 104172, 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**, 2022.
- PEDLOWSKI, M. A. et al. Urban forest and environmental inequality in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 6, p. 9–20, 2002.
- PEREIRA, M. C.; ROCHA, J. R.; MENGUE, V. P. Comparação de Índices e Espacialização da Cobertura Vegetal Arbórea dos Bairros Centro de duas Metrópoles Brasileiras: Belo Horizonte e Porto Alegre. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n. 1, p. 106–125, 2010.
- PHAM, T.-T.-H. et al. Predictors of the distribution of street and backyard vegetation in Montreal, Canada. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 12, n. 1, p. 18–27, 2013.
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano Diretor de Arborização Urbana da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015.
- PRICE, C. Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 1, n. 3, p. 123–133, jan. 2003.
- RIO DE JANEIRO. Decreto nº 42685 de 21 de dezembro de 2016. **Diário Oficial do Município de Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 21 de dezembro de 2016 - 452º da Fundação da Cidade.
- RIZWAN, A. M.; DENNIS, L. Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 1, p. 120–128, 2008.
- RODRÍGUEZ-SANTAMARÍA, K.; ZAFRA-MEJÍA, C. A.; RONDÓN-QUINTANA, H. A. Macro-Morphological Traits of Leaves for Urban Tree Selection for Air Pollution Biomonitoring: A Review. **Biosensors**, v. 12, n. 10, p. 812, 30 set. 2022.
- SANDER, H.; POLASKY, S.; HAIGHT, R. G. The value of urban tree cover: A hedonic property price model in Ramsey and Dakota Counties, Minnesota, USA. **Ecological**

- Economics**, v. 69, n. 8, p. 1646–1656, jun. 2010.
- SCHWARZ, K. et al. Trees Grow on Money: Urban Tree Canopy Cover and Environmental Justice. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, p. e0122051, 2015.
- SILVA FILHO, D. F. DA et al. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. **Scientia Forestalis**, n. 67, p. 88–100, 2005.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA, S. A Carta de Londrina e Ibiporã. **Botem Informativo**, v. 3, n. 5, p. 3, 1996.
- STROHBACH, M. W.; LERMAN, S. B.; WARREN, P. S. Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. **Landscape and Urban Planning**, v. 114, p. 69–79, 2013.
- SZANTOI, Z. et al. Socioeconomic Factors and Urban Tree Cover Policies in a Subtropical Urban Forest. **GIScience & Remote Sensing**, v. 49, n. 3, p. 428–449, 15 maio 2013.
- TAN, P. Y.; WANG, J.; SIA, A. Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. **Cities**, v. 32, p. 24–32, 2013.
- TEIXEIRA, I. F.; GONÇALVES, E. B. Determinação do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) para a Área Urbana de São Gabriel - RS, através de Imagens do Satélite Rapideye. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64126–64139, 2020.
- TELLES, F. P. et al. **A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (Capítulo Brasil) e as Rodas de Conversa Durante a Pandemia**. Disponível em: [https://www.isa-arbor.com/Portals/0/Assets/PDF/Translated Articles/AN\\_2021\\_08\\_Telles.pdf?ver=2021-08-02-123228-350](https://www.isa-arbor.com/Portals/0/Assets/PDF/Translated%20Articles/AN_2021_08_Telles.pdf?ver=2021-08-02-123228-350). Acesso em: 5 fev. 2024.
- TESHNEHDEL, S. et al. Effect of tree cover and tree species on microclimate and pedestrian comfort in a residential district in Iran. **Building and Environment**, v. 178, p. 106899, jul. 2020.
- VAN VLIET, J. Direct and indirect loss of natural area from urban expansion. **Nature Sustainability**, v. 2, p. 755–762, 2019.
- WANG, H.-F. et al. A multivariate analysis integrating ecological, socioeconomic and physical characteristics to investigate urban forest cover and plant diversity in Beijing, China. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 921–929, jan. 2016.
- WOLF, K. L. et al. Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 12, p. 4371, 2020.
- XIE, C. et al. The effects of tree root density on water infiltration in urban soil based on a Ground Penetrating Radar in Shanghai, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 50, p. 126648, abr. 2020.

## **CAPÍTULO 2: FLORESTA URBANA E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO PLANEJAMENTO URBANO: UMA ABORDAGEM COM O MODELO I-TREE ECO**



## RESUMO

A compreensão e quantificação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pela arborização são essenciais para o planejamento urbano, permitindo decisões eficazes na gestão ambiental e na alocação de recursos. Em meio às mudanças climáticas, essa abordagem desempenha um papel fundamental na adaptação das cidades. Os objetivos deste estudo foi avaliar a composição da vegetação urbana e estimar os serviços ecossistêmicos de regulação proporcionados pela arborização dos bairros Centro Norte (CN) e Centro Sul (CS) de Cuiabá, Brasil. Foram identificadas e selecionadas 595 e 680 árvores/arbustos/palmeiras nos bairros CN e CS, respectivamente. Para cada indivíduo, foram coletadas informações sobre identificação, forma de vida e conflitos com redes aéreas, além de mensurar variáveis dendrométricas. A partir desses dados, foram obtidas informações sobre a composição e estrutura da vegetação, e estimados os serviços ecossistêmicos de regulação relacionados ao sequestro e armazenamento de carbono, bem como ao balanço hídrico, utilizando o modelo i-Tree Eco v6.0.32. Uma análise de componentes principais foi realizada para identificar padrões entre as variáveis, agrupando os dados por forma de vida e explorando as inter-relações. A espécie dominante, *Moquilea tomentosa* Benth., destacou-se na prestação de serviços ecossistêmicos. A contribuição da vegetação urbana no bairro Centro Norte resultou na redução de aproximadamente 359 m<sup>3</sup>/ano de escoamento superficial, enquanto sequestrou 7,3 toneladas de carbono anualmente e armazenou um total de 247 toneladas de carbono. No bairro Centro Sul, a vegetação também desempenhou um papel relevante, reduzindo o escoamento superficial em 208 m<sup>3</sup>/ano, ao mesmo tempo em que sequestrou e armazenou 5,3 toneladas/ano de carbono e 106 toneladas de carbono, respectivamente. Os resultados ressaltam o impacto positivo da vegetação urbana na gestão de recursos hídricos e na mitigação das emissões de carbono, servindo como subsídio na orientação de gestores urbanos na priorização e manejo das espécies vegetais.

**Palavras-chave:** Floresta urbana, Sequestro e armazenamento de carbono, Escoamento superficial evitado.

## ABSTRACT

Understanding and quantifying the ecosystem services that afforestation provides is essential for urban planning. It allows for effective decisions in environmental management and resource allocation. With climate change in mind, this approach plays a fundamental role in adapting cities. The objectives of this study were to evaluate the composition of urban vegetation and estimate the regulatory ecosystem services provided by afforestation in the Centro Norte (CN) and Centro Sul (CS) neighborhoods of Cuiabá, Brazil. In the CN and CS neighborhoods, 595 and 680 trees/shrubs/palm trees were identified and selected, respectively. For each plant, information was collected on identification, life form, and conflicts with aerial networks. Additionally, dendrometric variables were measured. From these data, information was obtained on the composition and structure of vegetation. Regulatory ecosystem services related to carbon sequestration and storage, as well as water balance, were estimated using the i-Tree Eco v6.0.32 model. A principal components analysis was performed to identify patterns among variables, grouping data by life form and exploring interrelationships. The dominant species, *Moquilea tomentosa* Benth., stood out in providing ecosystem services. The contribution of urban vegetation in the Centro Norte neighborhood resulted in the reduction of approximately 359 m<sup>3</sup>/year of surface runoff. It also sequestered 7.3 tons of carbon annually and stored a total of 247 tons of carbon. In the Centro Sul neighborhood, vegetation also played a relevant role, reducing surface runoff by 208 m<sup>3</sup>/year, while sequestering and storing 5.3 tons/year of carbon

and 106 tons of carbon, respectively. The results highlight the positive impact of urban vegetation on the management of water resources and the mitigation of carbon emissions. They serve as a guide for urban managers in prioritizing and managing plant species.

**Keywords:** Urban forest, Carbon sequestration and storage, Avoided surface runoff.

# 1 INTRODUÇÃO

As árvores desempenham um papel essencial nos ambientes urbanos, fornecendo diversos serviços ecossistêmicos que contribuem para a qualidade de vida e sustentabilidade. Durante a fotossíntese, absorvem dióxido de carbono e liberam oxigênio, melhorando a qualidade do ar (NOWAK; HOEHN; CRANE, 2007). Além disso, têm a capacidade de absorver poluentes atmosféricos, contribuindo para a redução da poluição nas cidades (NOWAK, 2006). Nas áreas urbanas, onde a extensa cobertura impermeável retém calor, as árvores destacam-se ao proporcionar sombra e resfriamento por meio de diferentes formatos de copa e evapotranspiração, reduzindo os efeitos das ilhas de calor urbanas (RUSHAYATI; SHAMILA; PRASETYO, 2018; SMITHERS et al., 2018; WANG et al., 2021). A vegetação urbana também serve como habitat para diversas formas de vida, contribuindo para o equilíbrio dos ecossistemas (MIRSKI, 2020; OMAR et al., 2018; STROHBACH; LERMAN; WARREN, 2013). Além de promover o bem-estar humano, reduzindo o estresse e melhorando a saúde mental (WOLF et al., 2020), também melhoram a estética urbana, proporcionando sombra, paisagens agradáveis e áreas recreativas (SINCLAIR; DIDUCK; DUINKER, 2014; WANG et al., 2019).

As copas das árvores e suas raízes atuam na gestão dos recursos hídricos urbanos, reduzindo o escoamento superficial e a quantidade de poluentes que podem atingir os corpos d'água (KUEHLER; HATHAWAY; TIRPAK, 2016). Folhas, galhos e tronco interceptam a água das chuvas, diminuindo o volume de escoamento superficial e amortecendo o impacto da água que chega ao solo (CARLYLE-MOSES et al., 2020). Simultaneamente, o sistema radicular aumenta a taxa de infiltração do solo, facilitando a absorção da água pluvial (XIE et al., 2020). O potencial de interceptação das árvores depende de fatores intrínsecos, como a arquitetura da copa e a tipologia das folhas e casca (BERLAND et al., 2017; XIAO; MCPHERSON, 2016). Assim, uma seleção criteriosa das espécies que comporão a arborização urbana pode otimizar esse benefício ecossistêmico. Além disso, a capacidade de retenção das árvores é também influenciada por fatores climáticos, como a intensidade e duração da chuva, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar (BERLAND et al., 2017; STAELENS et al., 2007; WANG et al., 2011). Um estudo conduzido em uma área urbana da cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, envolvendo quatro das espécies mais comuns na arborização local, revelou variações na interceptação em relação às características das árvores e à intensidade das chuvas (ALVES; FORMIGA; TRALDI, 2018). Nesta pesquisa, a arquitetura da copa e a quantidade de área foliar, determinada principalmente pelo tamanho das folhas e volume da copa, demonstraram influência direta nos valores de interceptação. Os autores também observaram uma redução significativa de retenção em eventos de chuvas mais intensas, com maior duração e volume, atribuindo esse resultado à saturação das copas nessas condições. Resultados similares foram obtidos para outras espécies em diferentes localidades (DA SILVA et al., 2010; NYTCH et al., 2019; XIAO; MCPHERSON, 2011).

As árvores atuam, também, como um sumidouro de carbono atmosférico, fixando-o durante a fotossíntese e armazenando-o como biomassa (NOWAK et al., 2013). Dessa forma, contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e auxiliam na compensação das emissões urbanas. A determinação do potencial líquido de armazenamento de carbono leva em consideração, além do carbono armazenado na biomassa, as emissões evitadas devido à redução do consumo energético e as emissões provenientes da manutenção e corte das árvores (NOWAK et al., 2002). Quando plantadas de forma estratégica, próximas às edificações, as árvores podem reduzir as emissões de energia relacionadas ao resfriamento e aquecimento desses ambientes, proporcionando proteção contra a incidência direta do sol e atuando como barreiras contra os ventos (SKELHORN; LEVERMORE; LINDLEY, 2016; TSOKA; LEDUC; RODLER, 2021).

As emissões de carbono relacionadas à manutenção das árvores resultam das atividades de plantio, poda e remoção, e dependem da intensidade dessas atividades. Após a morte da árvore, o carbono é liberado de volta para a atmosfera ou direcionado para reservatórios de armazenamento de longo prazo, como o solo ou produtos derivados da madeira. Nesse contexto, a utilização da madeira proveniente de árvores urbanas pode estender o período de armazenamento do carbono na biomassa (NOWAK et al., 2002).

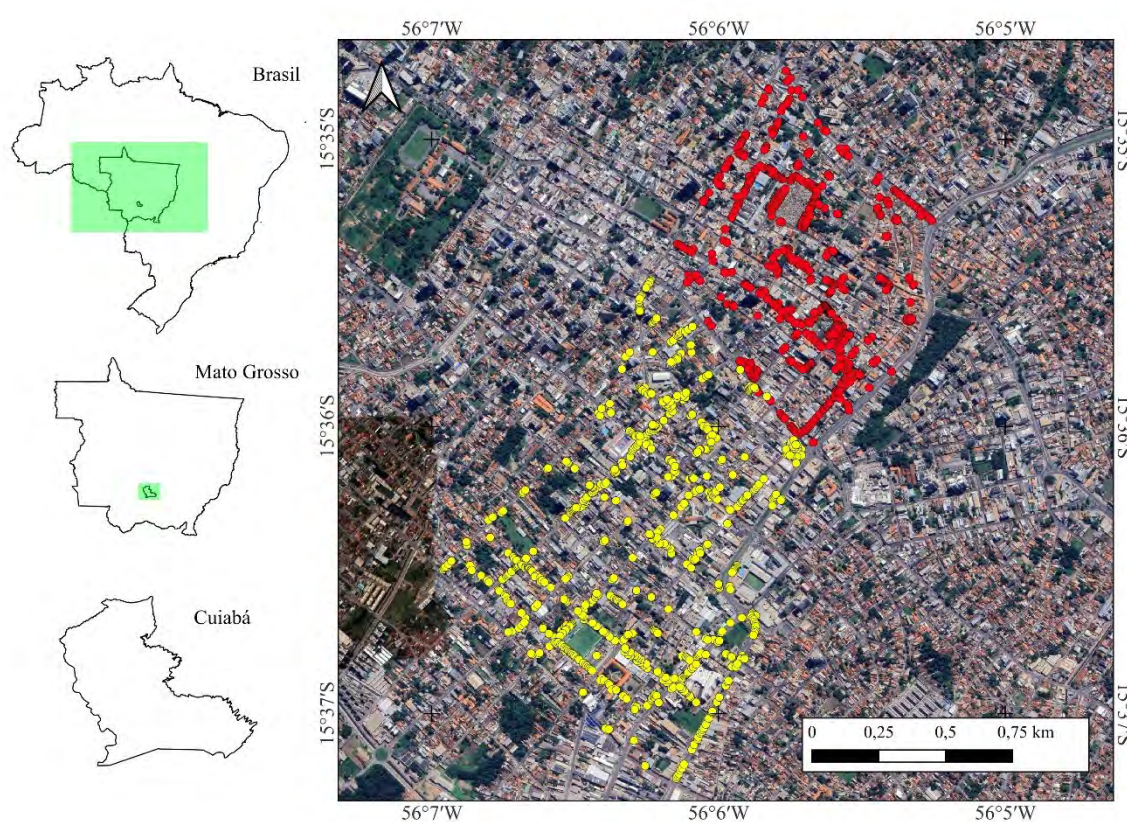
A compreensão e quantificação dos serviços ecossistêmicos fornece informações úteis para os gestores urbanos, auxiliando no desenvolvimento de práticas de manejo mais eficientes, voltadas para a maximização desses serviços. O modelo i-Tree Eco, desenvolvido pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos (USDA Forest Service), permite avaliar os benefícios fornecidos pelas árvores urbanas e é amplamente empregado em pesquisas relacionadas à gestão de áreas urbanas arborizadas (MOSYAFTIANI et al., 2022; PARSA et al., 2019; RAUM et al., 2019). Utilizando dados de inventário coletados em campo, juntamente com informações sobre poluição atmosférica local e dados meteorológicos, o modelo estima as funções desempenhadas pelas árvores. Essas funções são convertidas em serviços, como sequestro e armazenamento de carbono, efeitos energéticos, remoção da poluição atmosférica, escoamento superficial evitado, entre outros, sendo, posteriormente, atribuídos valores monetários (NOWAK, 2021).

Nesse contexto, os objetivos do presente estudo foram avaliar a composição da vegetação urbana e estimar os serviços ecossistêmicos de regulação proporcionados pela arborização dos bairros Centro Norte e Centro Sul de Cuiabá, Brasil.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

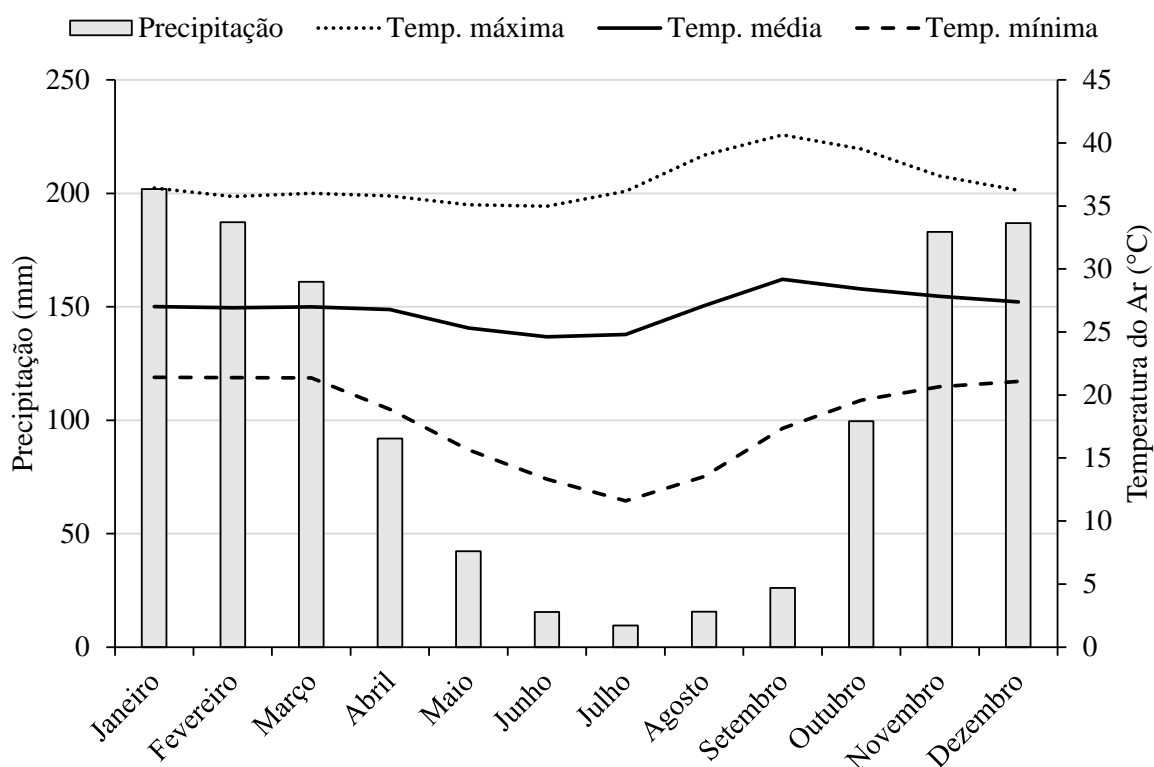
### 2.1 Área de Estudo

Este estudo concentrou-se nos bairros Centro Norte (CN) e Centro Sul (CS), situados dentro dos limites urbanos da cidade de Cuiabá, no estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 6). Estes bairros foram estabelecidos inicialmente por meio da Lei Municipal nº 1315 (CUIABÁ, 1973), promulgada em agosto de 1973, e estão localizados na região oeste da cidade, caracterizando-se por uma renda médio-alta. O bairro CN abrange uma área de 81,43 hectares, com uma população de 2.510 habitantes, enquanto o bairro CS ocupa 129,24 hectares e abriga uma população de 4.062 residentes (CUIABÁ, 2012).



**Figura 6** – Áreas de estudo: bairros Centro Norte (vermelho) e Centro Sul (amarelo), localizados no município de Cuiabá / Mato Grosso / Brasil. Datum – WGS84.

A região é marcada por um clima tropical do tipo 'Aw', conforme a classificação de Köppen, apresentando invernos secos (ALVARES et al. 2013). Os períodos de menor e maior precipitação ocorrem entre os meses de junho a agosto e de novembro a fevereiro, respectivamente, com média anual de 1220,6 mm, e temperatura média anual de 26,9°C (Estação automática de Cuiabá – A901/INMET) (Figura 7).



**Figura 7** – Diagrama climático da área de estudo. Dados meteorológicos obtidos na estação automática de Cuiabá – A901 (15° 33' 33,46" S; 56° 3' 46,2" O), entre os anos de 2007 a 2022. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

## 2.2 Coleta e Obtenção dos Dados

Nos bairros CN e CS, foram identificadas e selecionadas 595 e 680 árvores/arbustos/palmeiras, respectivamente. Durante esse processo de seleção, foram excluídas as seguintes categorias:

- i) Indivíduos desprovidos de identificação ou com identificação apenas até o nível de gênero;
- ii) Árvores/arbustos/palmeiras mortos;
- iii) Árvores/arbustos/palmeiras com diâmetro a 1,30 m acima do solo (DAP) inferior a 1,27 cm;
- iv) Espécies não registradas no banco de dados i-Tree Eco v6.0.32.

Para cada indivíduo selecionado, foram coletadas informações sobre identificação (nomes científico e popular), forma de vida (árvore, arbusto ou palmeira) (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2023), altura total (metros), altura até a base da copa (metros), diâmetro da copa (metros) e DAP (centímetros). Além disso, foi avaliada a ocorrência de conflitos com redes aéreas, classificando-as em:

- i) Sem linhas: quando não havia linhas aéreas próximas à/ao árvore/arbusto/palmeira;
- ii) Presente, mas sem potencial de conflito: quando as linhas aéreas estavam próximas, mas fora da projeção da copa da(o) árvore/arbusto/palmeira;
- iii) Presente e conflitante: quando as linhas aéreas estavam dentro da projeção da copa da(o) árvore/arbusto/palmeira, indicando um potencial conflito.

Os dados de precipitação, referentes às leituras horárias no período compreendido entre os anos de 2007 a 2020, foram adquiridos a partir do portal do Instituto Nacional de Meteorologia. Estes dados foram coletados na estação automática Cuiabá – A901 (15°33' 33,46"S; 56°3'46,62"O), cuja escolha se baseou na sua proximidade com a área de estudo, bem como na disponibilidade dos registros meteorológicos.

### 2.3 Análise de Dados

Inicialmente, os dados de precipitação foram pré-processados, seguindo o modelo fornecido pela plataforma i-Tree (I-TREE, 2023). Esta etapa envolveu a organização das informações em leituras horárias por dia para todos os meses no intervalo de tempo escolhido. Em seguida, esses dados foram combinados com as informações locais, que incluem a localização geográfica e a estimativa populacional. Essa combinação de dados foi submetida à plataforma i-Tree para validação e posterior incorporação na versão 6.0.32 do sistema.

A partir dos dados disponíveis, foram obtidas informações sobre a composição e estrutura da vegetação, incluindo a frequência das espécies, as classes de DAP, a área de copa e o índice de importância. Além disso, realizou-se a estimativa dos serviços ecossistêmicos de regulação relacionados ao sequestro e armazenamento de carbono (em toneladas) e ao balanço hídrico (escoamento superficial evitado – em metros cúbicos por ano). Foi utilizado o modelo i-Tree Eco (também conhecido como modelo UFORE - *Urban Forest Effects*) desenvolvido pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos, *Northern Research Station*.

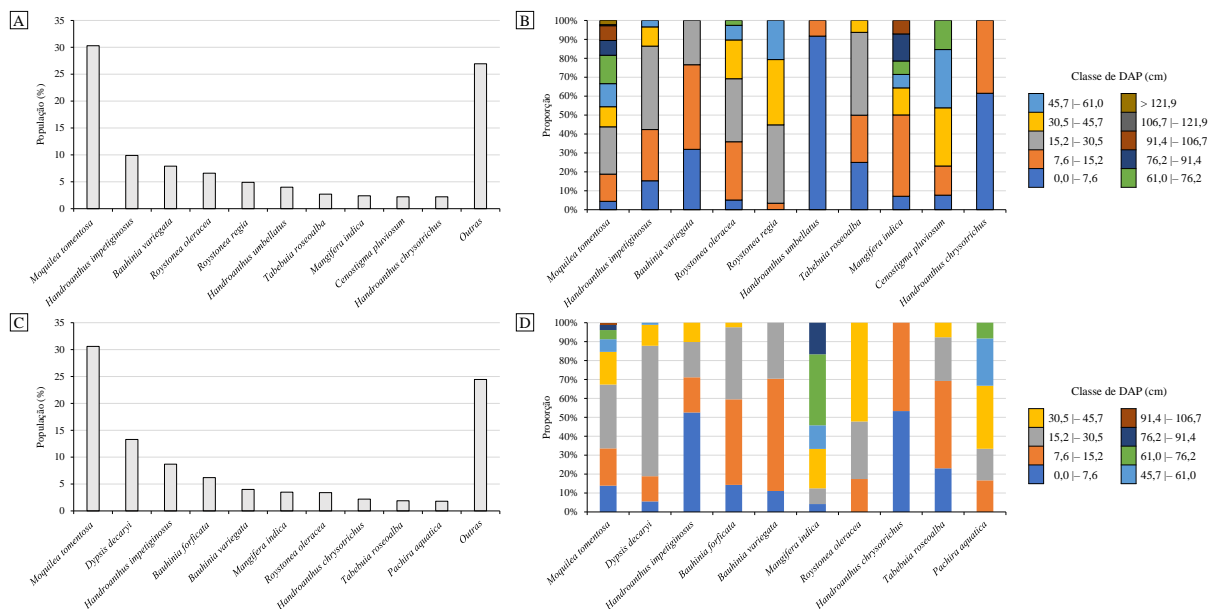
A área de copa (m<sup>2</sup>) foi calculada utilizando equações de regressão desenvolvidas especificamente para espécies urbanas. Essas equações consideram as medidas da copa, como altura e diâmetro, além dos coeficientes de sombreamento, que indicam a porcentagem de luz solar interceptada pela copa. O armazenamento de carbono foi estimado multiplicando a biomassa seca (calculada utilizando equações alométricas derivadas de bases científicas e dados mensurados de cada indivíduo) por 0,5 para árvores e 0,41 para as palmeiras. Para estimar o sequestro bruto anual de carbono, o diâmetro das árvores foi gradativamente aumentado no modelo, com base em uma taxa de crescimento anual estimada (0,23 polegadas/ano para espécies de crescimento lento; 0,33 polegadas/ano para espécies de crescimento moderado; e 0,43 polegadas/ano para espécies de crescimento rápido). O armazenamento de carbono no ano corrente (ano 0) foi então comparado com o armazenamento de carbono no ano seguinte (ano 1) para estimar o sequestro anual. O escoamento superficial evitado foi determinado pela interceptação da chuva pela vegetação, utilizando dados de área de copa e dados meteorológicos locais por hora. As estimativas foram geradas considerando a diferença entre um cenário com e sem a vegetação urbana. Embora folhas, ramos e cascas das árvores possam interceptar a precipitação e, assim, reduzir o escoamento superficial, apenas a precipitação interceptada pelas folhas é contabilizada nesta análise. A metodologia completa e detalhada está descrita em Nowak (2021), Nowak et al. (2008) e Hirabayashi (2013).

Foi conduzida uma análise de componentes principais para identificar possíveis padrões entre as variáveis em estudo. Para isso, os dados foram agrupados de acordo com a forma de vida de cada indivíduo avaliado. A análise foi realizada considerando esses grupos, permitindo a exploração de padrões de variabilidade e inter-relações entre as distintas formas de vida. O software PAST 4.03 foi empregado para esta análise estatística.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição e Estrutura da Vegetação Urbana

Ao todo, foram identificadas 82 espécies vegetais, incluindo árvores, arbustos e palmeiras (Apêndice D). No bairro CN, foram identificadas um total de 55 espécies. Entre as quais, as mais comuns incluem *Moquilea tomentosa* Benth., *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Bauhinia variegata* L. (Figura 8A). Além disso, no que diz respeito às famílias botânicas, foram registradas um total de 24, com abundância de indivíduos pertencentes às famílias Chrysobalanaceae (30,3%), Bignoniaceae (23,4%) e Fabaceae (18,0%). Em geral, notou-se um predomínio de indivíduos com DAP variando entre 1,6 e 30,5 cm. Destacaram-se as espécies do gênero *Handroanthus* como as mais finas, enquanto a *Cenostigma pluviosum* (DC.) Gagnon & G.P.Lewis se destacou como a mais espessa, embora com um número limitado de representantes (Figura 8B).



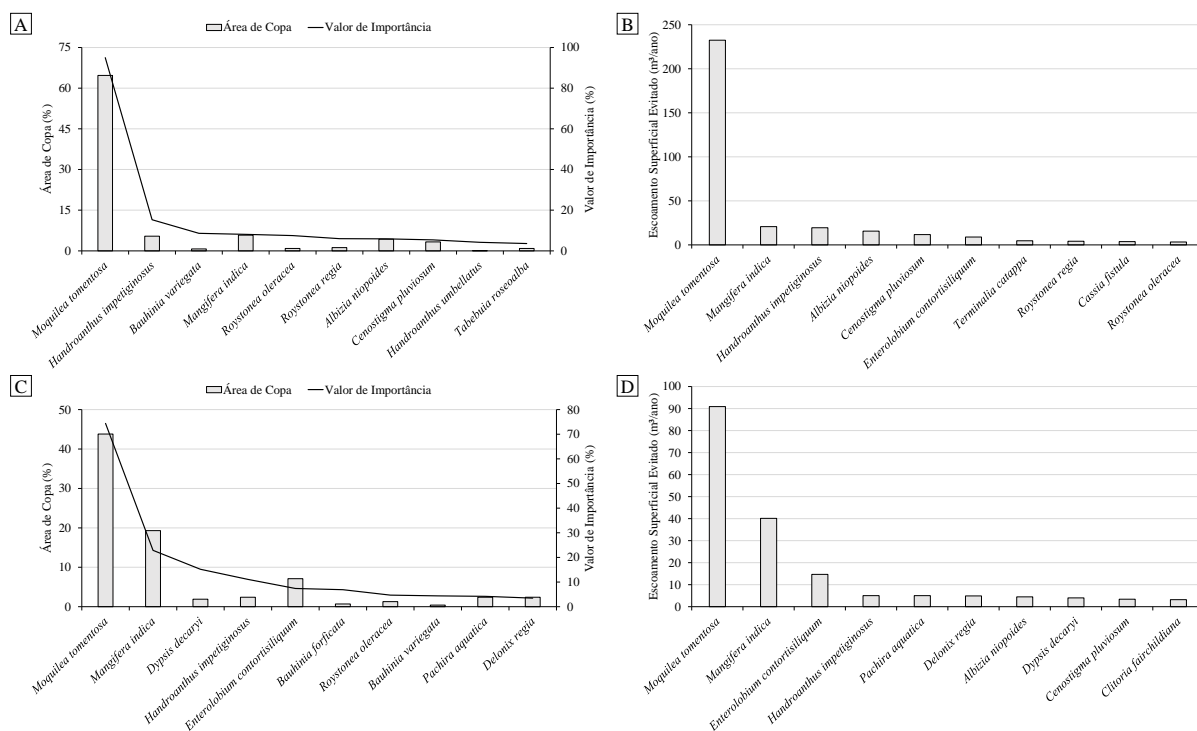
**Figura 8** – Composição e estrutura vegetal das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil.

No bairro CS, foram identificadas 66 espécies vegetais. As espécies mais comuns foram *Moquilea tomentosa*, *Dyopsis decaryi* (Jum.) Beentje & J.Dransf. e *Handroanthus impetiginosus* (Figura 8C). Quanto às famílias botânicas, também foram registradas um total de 24, com abundância de indivíduos pertencentes às famílias Chrysobalanaceae (30,6%), Arecaceae (19,7%) e Fabaceae (17,7%). Em geral, os indivíduos apresentaram DAP variando entre 1,4 e 45,7 cm. As espécies do gênero *Handroanthus* também se destacaram como as mais finas, enquanto a *Moquilea tomentosa* foi a mais espessa, com representantes em todas as classes de diâmetros (Figura 8D).

A vegetação urbana dos bairros CN e CS ocupa, aproximadamente, 8,5 e 4,8 hectares, respectivamente (Apêndice E). Considerando a área total de cada bairro, estes valores correspondem a 10,4 e 3,7% de cobertura vegetal. Em ambos os bairros, a espécie *Moquilea tomentosa* se destacou como dominante na estrutura da floresta urbana, sobressaindo-se em



relação às demais espécies (Figuras 9A e 9C). O valor de importância reflete esta dominância e é resultado do somatório entre a área de copa (%) e a população das árvores (%).



**Figura 9** – Área de copa, valor de importância (somatório da área de copa e da população, em porcentagem) e escoamento superficial evitado das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil.

Os serviços ecossistêmicos proporcionados pela floresta urbana, como a melhoria da qualidade do ar, as reduções das temperaturas do ar e de superfície e do escoamento superficial e a promoção da biodiversidade, estão diretamente relacionados à quantidade de superfície foliar (ALVES; FORMIGA; TRALDI, 2018; GILLNER et al., 2015; MACGREGOR-FORS, 2008; NOWAK; CRANE; STEVENS, 2006). Em condições saudáveis e com planejamento e gestão criteriosos, a vegetação tem a capacidade de realizar uma fotossíntese mais eficiente, absorver mais poluentes atmosféricos, proporcionar sombreamento mais eficaz e contribuir para um ambiente urbano mais saudável e sustentável (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016). A priorização de espécies com maior área de copa nas áreas urbanas é uma estratégia que pode ser aplicada, desde que haja condições e acompanhamento adequados para seu estabelecimento e crescimento. Em ambos os bairros, há um predomínio da espécie *Moquilea tomentosa*, cuja densidade e arquitetura de copa proporcionaram maior área de copa. Contudo, aproximadamente 60% dos indivíduos desta espécie apresentaram copa em conflito com a rede aérea, indicando a necessidade de intervenções que certamente impactarão o padrão e a distribuição foliares. Para evitar ações drásticas no manejo das árvores urbanas, alguns fatores devem ser considerados na seleção e plantio dessas árvores, tais como a adequação das espécies ao clima local, condições do solo, disponibilidade de espaço, manutenção adequada, participação da comunidade e objetivo da arborização (CLARK; KJELGREN, 1989).

Além disso, a diversidade de espécies também é essencial para promover a resiliência da floresta urbana diante de ameaças, como doenças ou pragas (LACAN; MCBRIDE, 2008;

RAUPP; CUMMING; RAUPP, 2006). A diretriz 10-20-30 de Santamour, amplamente adotada na silvicultura urbana, destaca a importância da diversidade nas árvores urbanas para fortalecer a resistência contra pragas e doenças (SANTAMOUR, 1990). Conforme essa diretriz, a vegetação urbana deve evitar ultrapassar os seguintes limites: i) 10% de árvores pertencentes à mesma espécie; ii) 20% de um único gênero; e iii) 30% da mesma família botânica. Nossos resultados demonstraram que os valores de abundância relativa dos táxons mais comuns ultrapassaram as recomendações de Santamour em ambos os bairros estudados. Apesar de sua aplicabilidade prática e ampla aceitação entre os gestores urbanos, a regra 10-20-30 pode não ser eficaz em todas as paisagens urbanas ou pode resultar na substituição de espécies adaptadas por aquelas com desempenho inferior (KENDAL; DOBBS; LOHR, 2014). Este destaque enfatiza a importância de considerar cuidadosamente a aplicação dessa diretriz, adaptando-a às características específicas de cada ambiente urbano.

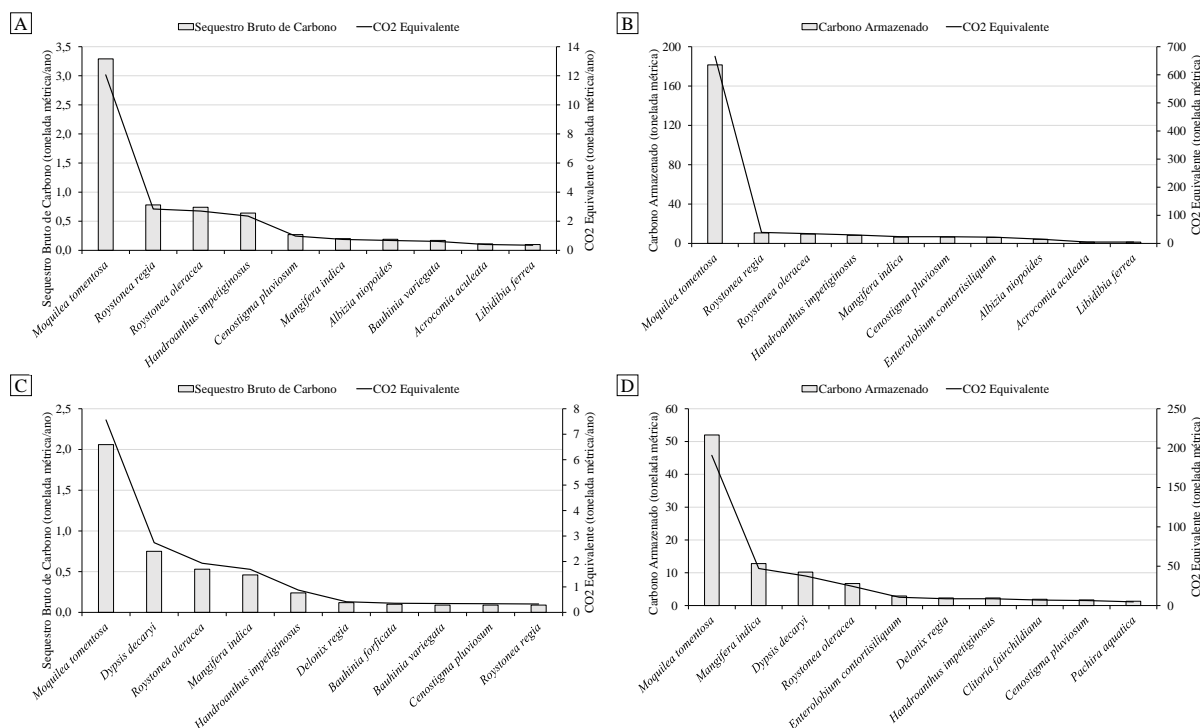
Em 2021, o engenheiro florestal urbano Cecil Konijnendijk apresentou uma nova diretriz prática para a silvicultura urbana, conhecida como “regra 3-30-300”, visando promover bairros mais verdes, saudáveis e resilientes (KONIJNENDIJK, 2023). Esta abordagem estabelece metas fundamentadas em evidências, enfatizando a necessidade de: i) ter a visão de pelo menos três árvores a partir de residências, escolas ou locais de trabalho; ii) habitar entre árvores e espaços verdes, garantindo uma cobertura de copa de, no mínimo, 30% ao nível do bairro; e iii) contar com fácil acesso a espaços verdes públicos, em um raio de 300 metros, para atividades recreativas. O autor destaca a importância da implementação cuidadosa dessa diretriz, realizando ajustes aos diferentes contextos urbanos, quando necessário. Embora a cobertura arbórea seja reconhecida por proporcionar benefícios ecossistêmicos significativos e deva ser prioritária, é importante ressaltar que, em áreas densamente povoadas, outras formas de vegetação podem ser contabilizadas. Em nossa pesquisa, constatamos que os bairros avaliados apresentaram uma cobertura inferior à sugerida, mesmo quando consideramos a presença de palmeiras e arbustos. Além disso, a partir do centro geométrico de cada bairro, não existem espaços verdes públicos (com pelo menos um hectare de área) dentro do limite estabelecido.

### 3.2 Estimativa dos Serviços Ecossistêmicos

Nos bairros CN e CS, a vegetação contribuiu com a redução de cerca de 359 e 208 m<sup>3</sup>/ano de escoamento superficial, respectivamente (Figuras 9B e 9D) (Apêndice F). As espécies com maior área de copa apresentaram maiores estimativas de escoamento superficial evitado, com destaque para *Moquilea tomentosa*. Esta espécie é amplamente utilizada na arborização urbana em todo o Brasil (CARVALHO, 2014), e sua copa densa e perene contribui para a interceptação das águas pluviais (ALVES; FORMIGA, 2019; ALVES; FORMIGA; TRALDI, 2018).

Durante eventos de chuvas, uma parte é interceptada pela vegetação enquanto a outra atinge o solo. A porção que atinge o solo e não se infiltra torna-se escoamento superficial. A impermeabilização de grandes extensões de superfícies nas áreas urbanas, compactação do solo e remoção da vegetação tende a intensificar este processo (WHITFORD; ENNOS; HANDLEY, 2001). Neste contexto, a vegetação urbana desempenha papel fundamental na redução do escoamento superficial, interceptando a precipitação, enquanto seus sistemas radiculares promovem a infiltração e o armazenamento da água no solo (ZÖLCH et al., 2017). A seleção de espécies a serem implantadas na arborização deve, portanto, considerar seu potencial para redução do escoamento superficial, priorizando espécies perenes (HYE-MI; HYUN-KIL; KIM, 2021). Em ambos os bairros, há uma proporção considerável de espécies caducifólias (19,6%) ou pertencentes à família botânica Arecaceae (17,9%), cujo potencial para interceptação da água das chuvas é menor, quando comparadas às arbóreas perenes.

Quanto aos serviços relacionados à dinâmica de carbono, a vegetação do bairro CN contribuiu com o sequestro de cerca de 7,3 toneladas por ano (equivalente a 26,8 toneladas/ano de CO<sub>2</sub>) (Figura 10A) e armazenou um total de 247 toneladas (equivalente a 906 toneladas de CO<sub>2</sub>) (Figura 10B) (Apêndice F). Entre as espécies amostradas, *Moquilea tomentosa* armazenou e sequestrou a maior parte do carbono (aproximadamente 73,4% do carbono total armazenado e 45% de todo o carbono sequestrado). A vegetação do bairro CS sequestrou cerca de 5,3 toneladas por ano (equivalente a 19,5 toneladas/ano de CO<sub>2</sub>) (Figura 10C) e armazenou um total de 106 toneladas (equivalente a 389 toneladas de CO<sub>2</sub>) (Figura 10D). Neste bairro, a espécie *Moquilea tomentosa* também apresentou importância considerável, armazenando e sequestrando aproximadamente 49,1% e 38,6% do carbono total, respectivamente.



**Figura 10** – Serviços ecossistêmicos relacionados ao sequestro de carbono das 10 principais espécies dos bairros Centro Norte (A e B) e Centro Sul (C e D), localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. O sequestro bruto de carbono refere-se à quantidade de carbono retirado da atmosfera durante a fotossíntese e sua conversão em biomassa, sem considerar as perdas subsequentes (decomposição de folhas caídas, por exemplo).

As árvores urbanas podem ajudar na mitigação das alterações climáticas sequestrando o carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) nos tecidos (ARILUOMA et al., 2021; NOWAK et al., 2013). A quantidade de carbono capturada anualmente, porém, é influenciada por uma série de fatores, incluindo as características individuais das árvores, como tamanho na maturidade e taxa de crescimento, bem como pelas condições ambientais e práticas de manejo silvicultural (MEINEKE et al., 2016; NOWAK et al., 2002; TIMILSINA et al., 2014). Em geral, árvores maiores na maturidade têm o potencial de sequestrar e armazenar mais carbono devido ao maior estoque de biomassa presente nestes indivíduos. Além disso, as diferenças nas taxas de crescimento entre espécies exercem impacto significativo no sequestro de carbono, tornando algumas espécies mais eficientes na captura do que outras (NOWAK et al., 2002). Ainda, a tolerância das espécies aos estresses impostos pelas condições urbanas, como exposição solar;

ataques de insetos; infestações de doenças; compactação do solo, também desempenha um importante papel. Espécies mais adaptadas a tais condições adversas, associadas a maiores densidades de madeira, têm o potencial mais elevado de sequestro e armazenamento de carbono (SCHARENBRUCH, 2012). A espécie que se destacou nos bairros estudados, *Moquilea tomentosa*, apresenta elevada densidade básica da madeira (0,980 g/cm<sup>3</sup>) (ZANNE et al., 2009); ocorre em diversos tipos de solos, especialmente nos de textura arenosa; é considerada uma espécie heliófita e pode atingir 20 m de altura na idade adulta (CARVALHO, 2014). Neste estudo, aproximadamente 80% das árvores desta espécie apresentaram altura total inferior a 15 m, demonstrando potencial de crescimento e, em conjunto com as demais características, contribuição no sequestro e armazenamento de carbono.

Uma das práticas silviculturais rotineiramente empregadas no manejo das árvores urbanas é a poda, que consiste na remoção seletiva de partes indesejadas ou danificadas de uma árvore (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Quando realizado de forma adequada, este procedimento estimula o crescimento saudável das árvores, a partir do desenvolvimento de ramos e folhagens mais vigorosos; possibilita a remoção de galhos mortos ou danificados, melhorando a saúde geral da copa das árvores; e promove um ajuste do tamanho da copa, otimizando a distribuição das folhas e a exposição solar. Estas ações resultam na melhoria da eficiência da fotossíntese e, conseqüentemente, no sequestro de carbono (FINI et al., 2015; GILMAN, 2001). Apenas 7,3% das árvores avaliadas apresentaram algum tipo de poda inadequada, indicando que esta prática não afetou negativamente neste processo.

Para maximizar os benefícios da arborização urbana no dióxido de carbono atmosférico, Nowak et al. (2002) sugerem aos gestores urbanos: i) plantar espécies de vida longa, baixa manutenção e crescimento moderado a rápido, que sejam grandes na maturidade e adequadas às condições locais; ii) executar atividades de manutenção visando aumentar a sobrevivência e longevidade das árvores; iii) minimizar o uso de combustíveis fósseis relacionados às atividades de gestão e manutenção; iv) promover usos adequados para a madeira das árvores que precisarem ser removidas; e v) plantar árvores em locais estratégicos para reduzir o consumo de energia nas edificações.

### 3.3 Influência da Forma de Vida nos Serviços Ecossistêmicos

A vegetação urbana dos bairros avaliados foi composta principalmente por árvores e palmeiras e, portanto, estes indivíduos proporcionaram maiores serviços ecossistêmicos (Tabela 4).

**Tabela 4** – Variáveis dendrométricas e serviços ecossistêmicos por forma de vida para todos os indivíduos avaliados.

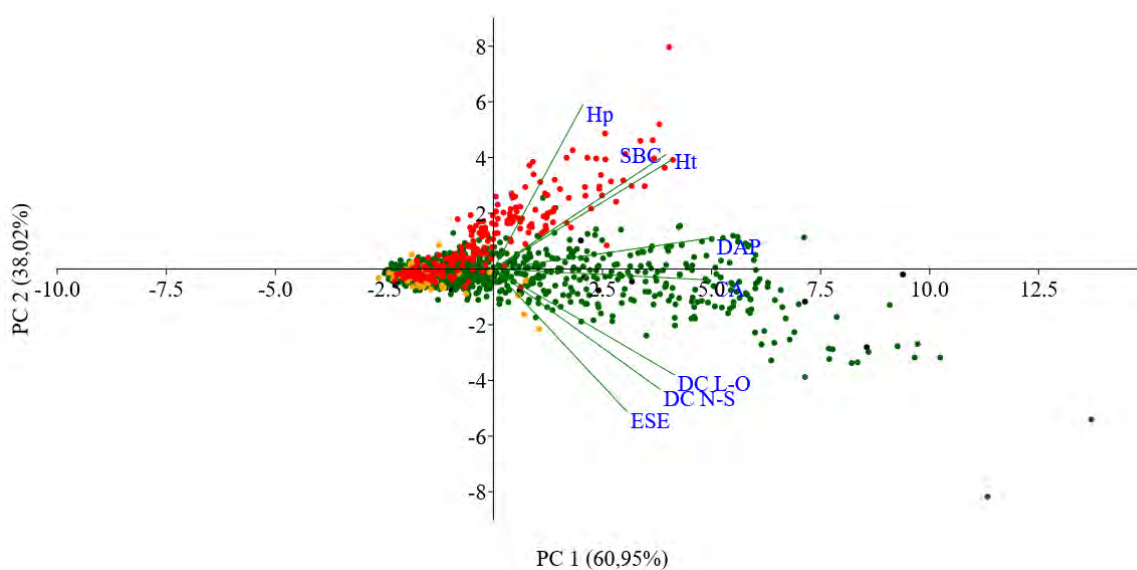
Variável	Forma de Vida			
	Arbusto	Árvore	Árvore / Arbusto	Palmeira
n	53	949	43	228
DAP (cm)	19,53 (19,76)	26,53 (24,77)	11,08 (11,28)	23,81 (11,70)
Ht (m)	5,35 (4,20)	6,92 (4,55)	3,97 (1,69)	8,11 (4,50)
Hp (m)	2,63 (2,38)	2,64 (1,57)	1,83 (0,87)	5,31 (3,81)
DC N-S (m)	4,75 (5,05)	5,67 (4,10)	3,68 (2,52)	3,73 (1,54)
DC L-O (m)	4,62 (5,27)	5,63 (4,40)	3,38 (2,26)	3,68 (1,47)
ESE (m <sup>3</sup> /ano)	21,30	522,20	6,10	14,50
CA (t)	6.019,80	304.720,90	814,30	41.619,70
SBC (t/ano)	336,70	9118,30	73,60	3107,40

DAP, Ht, Hp, DC N-S, DC L-O = valores médios seguido de desvio padrão (sobrescrito); ESE, CA, SBC = valores totais. Em que: n = número de indivíduos; DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; Ht = altura total; Hp = altura até a base da copa; DC N-S = diâmetro da copa na direção norte-sul; DC L-O = diâmetro da copa na direção leste-oeste; CA = carbono armazenado; SBC = sequestro bruto de carbono; ESE = escoamento superficial evitado.

A análise de componentes principais das variáveis dendrométricas e das estimativas de serviços ecossistêmicos em função das formas de vida demonstrou que duas componentes explicaram 98,97% da variação total dos dados (Tabela 5). Foi observada uma tendência de agrupamento entre palmeiras e árvores para os indivíduos de maiores portes (Figura 11). Todas as variáveis avaliadas contribuíram significativamente para o padrão observado (Tabela 6).

**Tabela 5** – Resumo das componentes principais com suas respectivas proporções de variância total explicada.

PC	Autovalores	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
1	4,88	60,95	60,95
2	3,04	38,02	98,97
3	0,08	1,03	100,00



**Figura 11** – Análise biplot das variáveis avaliadas em função das formas de vida dos indivíduos, evidenciando as componentes principais que retêm a maior porcentagem da variância total (98,97%). Em que: DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; Ht = altura total; Hp = altura até a base da copa; DC N-S = diâmetro da copa na direção norte-sul; DC L-O = diâmetro da copa na direção leste-oeste; CA = carbono armazenado; SBC = sequestro bruto de carbono; ESE = escoamento superficial evitado. Legenda: (●) árvore; (●) arbusto; (●) árvore / arbusto; (●) palmeira.

**Tabela 6** – Cargas das variáveis analisadas, em função das formas de vida dos indivíduos, para cada componente principal.

Variável	PC 1	PC 2	PC 3
DAP (cm)	0,98408	0,17379	0,03721
Ht (m)	0,79636	0,60367	-0,03731
Hp (m)	0,40026	0,90941	0,11297
DC N-S (m)	0,74544	-0,66592	0,02958
DC L-O (m)	0,80927	-0,58589	0,04252
CA (t)	0,97324	-0,06082	-0,22162
SBC (t/ano)	0,77151	0,63409	0,05198
ESE (m <sup>3</sup> /ano)	0,59983	-0,79229	0,11171

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; Ht = altura total; Hp = altura até a base da copa; DC N-S = diâmetro da copa na direção norte-sul; DC L-O = diâmetro da copa na direção leste-oeste; CA = carbono armazenado; SBC = sequestro bruto de carbono; ESE = escoamento superficial evitado.

As variáveis “altura total”, “altura até a base da copa” e “sequestro bruto de carbono” relacionaram-se positivamente com as palmeiras, enquanto as variáveis “diâmetro a 1,30 m acima do solo” e “carbono armazenado” contribuíram para o agrupamento das árvores. Observou-se, ainda, uma relação direta entre os diâmetros da copa e o escoamento superficial evitado. Estas relações são coerentes, uma vez que tais característica dendrométricas entram como variáveis de entrada obrigatórias na estimativa dos respectivos serviços ecossistêmicos (NOWAK, 2021).

Ao analisar as principais formas de vida, notou-se que apenas quanto ao sequestro bruto de carbono as palmeiras se destacaram em relação às árvores. Isto ocorreu devido às maiores alturas registradas para elas (Figura 11). Especialmente quanto ao escoamento superficial evitado, seriam necessárias quase nove palmeiras para equiparar o benefício proporcionado por apenas uma árvore (Tabela 7).

**Tabela 7** – Serviços ecossistêmicos por indivíduo para as formas de vida mais representativas na área de estudo.

Forma de Vida	Serviços Ecossistêmicos por Indivíduo		
	ESE (m <sup>3</sup> /ano)	CA (t)	SBC (t/ano)
Árvore	0,550	321,097	9,608
Palmeira	0,064	182,543	13,629
Razão	8,7	1,8	0,7

Em que: CA = carbono armazenado; SBC = sequestro bruto de carbono; ESE = escoamento superficial evitado.

Estes resultados indicam que optar por palmeiras ao invés de árvores reduz a capacidade de compensação de carbono e do escoamento superficial da vegetação urbana dos bairros CN e CS de Cuiabá. Horn et al. (2014) também observaram menores estoques de carbono para palmeiras, atribuindo tais resultados às menores biomassa e densidade destes indivíduos quando comparados às árvores.

Em geral, as características morfológicas das palmeiras resultam em uma menor capacidade de interceptação das chuvas pela copa, levando a uma redução no escoamento superficial evitado. Em comparação com as árvores, as palmeiras geralmente possuem folhas (frondes) distribuídas de forma mais espaçada ao longo do estipe, resultando em uma cobertura

de copa menos densa e, conseqüentemente, menos eficaz na interceptação da chuva. Além disso, as folhas das palmeiras tendem a ser mais estreitas e verticais, o que facilita o escoamento direto da água para o solo, em vez de ser retida pela planta. Jaya et al. (2023) observaram um maior escoamento superficial em plantações jovens de dendezeiros (com três e cinco anos de idade), uma espécie da família Arecaceae, em comparação com áreas florestais, atribuindo tal resultado à menor porcentagem de cobertura de copa.

## 4 CONCLUSÕES

*Moquilea tomentosa*, ainda que predominante na arborização da região central de Cuiabá, tem impacto significativo na promoção dos serviços ecossistêmicos em virtude das características morfológicas da espécie;

A região central de Cuiabá não atende as recomendações técnicas tanto para diversidade arbórea, quanto para cobertura vegetal;

Apesar da família botânica Arecaceae contribuir significativamente para o sequestro bruto de carbono, a sua participação acima de 17% já impacta negativamente nos serviços ecossistêmicos prestados pela arborização urbana;

É necessária uma relação de 9:1, entre palmeiras e árvores, para se obter o mesmo benefício em termos de escoamento superficial evitado.



## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 193–207, 2019.
- ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M.; TRALDI, M. A. B. Rainfall interception capacity of tree species used in urban afforestation. **Urban Ecosystems**, v. 21, n. March, p. 697–706, 2018.
- ARILUOMA, M. et al. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 57, p. 126939, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16246-1: Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas. Parte 1: Poda**. Brasil, 2013.
- BERLAND, A. et al. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, v. 162, p. 167–177, 2017.
- CARLYLE-MOSES, D. E. et al. **Urban Trees as Green Infrastructure for Stormwater Mitigation and Use**. In: LEVIA, D. F. (Ed.). *Forest-Water Interactions*. Ecological Studies. 240. ed. Springer, Cham, 2020. p. 628.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 5. ed. Brasília: Embrapa Florestas, 2014.
- CLARK, J. R.; KJELGREN, R. K. Conceptual and Management Considerations for the Development of Urban Tree Plantings. **Journal of Arboriculture**, v. 15, n. 10, p. 229–236, 1989.
- CUIABÁ. Lei nº 1.315 de 22 de agosto de 1973. Dispõe sobre a denominação de ruas, praças e logradouros de Cuiabá e dá outras providências, de 22 de agosto de 1973. **Gazeta Municipal**. Cuiabá - MT, 1973.
- CUIABÁ. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá**. Volume V. Cuiabá: Central de Texto, 2012.
- DA SILVA, L. F. et al. Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 547–555, 2010.
- FINI, A. et al. Effects of different pruning methods on an urban tree species: A four-year-experiment scaling down from the whole tree to the chloroplasts. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 3, p. 664–674, 2015.
- GILLNER, S. et al. Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. **Landscape and Urban Planning**, v. 143, p. 33–42, 2015.
- GILMAN, E. F. **An Illustrated Guide to Pruning**. 2. ed. Cengage Learning, 2001.
- HIRABAYASHI, S. **i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions**. 2013. Disponível em:

<[https://www.itreetools.org/documents/61/iTree\\_Eco\\_Precipitation\\_Interception\\_Model\\_Descriptions.pdf](https://www.itreetools.org/documents/61/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2023.

HORN, J. et al. The Role of Composition, Invasives, and Maintenance Emissions on Urban Forest Carbon Stocks. **Environmental Management**, v. 55, p. 431–442, 2014.

HYE-MI, P.; HYUN-KIL, J.; KIM, J.-Y. Rainfall Interception by and Quantitative Models for Urban Landscape Trees - For Seven Native Species. **Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture**, v. 49, n. 4, p. 30–40, 2021.

I-TREE. **i-Tree Database – Precipitation Data Templates**. Disponível em: <<https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-methods-and-files>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, JBRJ. **Flora e Funga do Brasil**. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

JAYA, A. et al. Effects of forest conversion to oil palm plantation on soil erosion and surface runoff. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Science**, v. 11, n. 4, p. 767-779 2023.

KENDAL, D.; DOBBS, C.; LOHR, V. I. Global patterns of diversity in the urban forest: Is there evidence to support the 10/20/30 rule? **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 3, p. 411–417, 2014.

KONIJNENDIJK, C. C. Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 rule. **Journal of Forestry Research**, v. 34, p. 821–830, 2023.

KUEHLER, E.; HATHAWAY, J.; TIRPAK, A. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. **Ecohydrology**, v. 10, n. 3, p. e1813, 2016.

LACAN, I.; MCBRIDE, J. R. Pest Vulnerability Matrix (PVM): A graphic model for assessing the interaction between tree species diversity and urban forest susceptibility to insects and diseases. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 7, n. 4, p. 291–300, 2008.

LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. **Journal of Environmental Quality**, v. 124, p. 119–124, 2016.

MACGREGOR-FORS, I. Relation between habitat attributes and bird richness in a western Mexico suburb. **Landscape and Urban Planning**, v. 84, n. 1, p. 92–98, 2008.

MEINEKE, E. et al. Urban warming reduces aboveground carbon storage. **Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences**, v. 283, p. 20161574, 2016.

MIRSKI, P. Tree cover density attracts rare birds of prey specialist to nest in urban forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 55, p. 126836, 2020.

MOSYAFTIANI, A. et al. Monitoring and analyzing tree diversity using i-Tree eco to strengthen urban forest management. **Biodiversitas: Journal of Biological Diversity**, v. 23, n. 8, p. 4033–4039, 2022.

NOWAK, D. J. et al. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. **Journal of Arboriculture**, v. 28, n. 3, p. 113–122, 2002.

- NOWAK, D. J. Institutionalizing urban forestry as a “biotechnology” to improve environmental quality. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 5, n. 2, p. 93–100, 2006.
- NOWAK, D. J. et al. A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 34, n. 6, p. 347–358, 2008.
- NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 229–236, 2013.
- NOWAK, D. J. **Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods**. Madison: USDA Forest Service, 2021.
- NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 4, n. 3–4, p. 115–123, 2006.
- NOWAK, D. J.; HOEHN, R.; CRANE, D. E. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 33, n. 3, p. 220–226, 2007.
- NYTCH, C. J. et al. Rainfall interception by six urban trees in San Juan, Puerto Rico. **Urban Ecosystems**, v. 22, p. 103–115, 2019.
- OMAR, M. et al. Drivers of the distribution of spontaneous plant communities and species within urban tree bases. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 35, p. 174–191, 2018.
- PARSA, V. A. et al. Analyzing temporal changes in urban forest structure and the effect on air quality improvement. **Sustainable Cities and Society**, v. 48, p. 101548, 2019.
- RAUM, S. et al. Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. **Landscape and Urban Planning**, v. 190, p. 103590, 2019.
- RAUPP, M. J.; CUMMING, A. B.; RAUPP, E. C. Street Tree Diversity in Eastern North America and Its Potential for Tree Loss to Exotic Borers. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 32, n. 6, p. 297–304, 2006.
- RUSHAYATI, S. B.; SHAMILA, A. D.; PRASETYO, L. B. The Role of Vegetation in Controlling Air Temperature Resulting from Urban Heat Island. **Indonesian Journal of Spatial and Regional Analysis**, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2018.
- SANTAMOUR, F. Trees for urban planting: diversity, uniformity and common sense. **Proceedings of the 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance**, v. 7, p. 57–65, 1990.
- SCHARENBRUCH, B. C. **Urban Trees for Carbon Sequestration**. In: LAL, R.; AUGUSTIN, B. (Eds.). **Carbon Sequestration in Urban Ecosystems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 121–138.
- SINCLAIR, A. J.; DIDUCK, J.; DUINKER, P. N. Elicitation of urban forest values from residents of Winnipeg, Canada. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 44, n. 8, p. 922–930, 2014.
- SKELHORN, C. P.; LEVERMORE, G.; LINDLEY, S. J. Impacts on cooling energy consumption due to the UHI and vegetation changes in Manchester, UK. **Energy and Buildings**, v. 122, p. 150–159, 2016.

- SMITHERS, R. J. et al. Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment. **Urban Ecosystems**, v. 21, p. 851–862, 2018.
- STAELENS, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 1, p. 33–45, 2007.
- STROHBACH, M. W.; LERMAN, S. B.; WARREN, P. S. Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. **Landscape and Urban Planning**, v. 114, p. 69–79, 2013.
- TIMILSINA, N. et al. Analyzing the causal factors of carbon stores in a subtropical urban forest. **Ecological Complexity**, v. 20, p. 23–32, 2014.
- TSOKA, S.; LEDUC, T.; RODLER, A. Assessing the effects of urban street trees on building cooling energy needs: The role of foliage density and planting pattern. **Sustainable Cities and Society**, v. 65, p. 102633, 2021.
- WANG, H. et al. Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8–9, p. 2127–2137, 2011.
- WANG, R. et al. Characteristics of urban green spaces in relation to aesthetic preference and stress recovery. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 41, p. 6–13, 1 maio 2019.
- WANG, X. et al. Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. **Science of the Total Environment**, v. 770, p. 145211, 2021.
- WHITFORD, V.; ENNOS, A. R.; HANDLEY, J. F. “City form and natural process” - indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 57, n. 2, p. 91–103, 2001.
- WOLF, K. L. et al. Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 12, p. 4371, 2020.
- XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 755–769, 2011.
- XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Surface Water Storage Capacity of Twenty Tree Species in Davis, California. **Journal of Environmental Quality**, v. 45, n. 1, p. 188–198, 1 jan. 2016.
- XIE, C. et al. The effects of tree root density on water infiltration in urban soil based on a Ground Penetrating Radar in Shanghai, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 50, p. 126648, 2020.
- ZANNE, A. E. et al. **Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum [Dataset]**. DRYAD. Disponível em: <https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.234>.
- ZÖLCH, T. et al. Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. **Environmental Research**, v. 157, p. 135–144, 2017.

## **CAPÍTULO 3: ÁRVORES URBANAS HISTÓRICAS: AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE INTERNA DO FUSTE<sup>1</sup>**

## RESUMO

Além dos benefícios que todas as árvores promovem, em geral, o valor cultural e afetivo que as árvores urbanas históricas proporcionam contribui para a qualidade de vida nas cidades. Por serem mais velhas, os cuidados com sua manutenção devem ser criteriosos e constantes, visando a redução dos riscos associados. Assim, os objetivos do presente estudo foi identificar e estimar a extensão de áreas internas potencialmente lesionadas no tronco de árvores urbanas históricas e analisar a influência das características dendrométricas e da amplitude resistográfica média na velocidade de propagação média das ondas acústicas. Foram avaliadas 45 árvores de *Eucalyptus robusta* Sm. localizadas em uma praça amplamente frequentada na cidade de Nova Friburgo-RJ, Brasil. Foi realizada uma análise visual da copa, tronco e sistema radicular, seguida de avaliações complementares de tomografia acústica e, quando necessário, resistografia. Modelos matemáticos foram ajustados visando inferir sobre a relação e influência das características dendrométricas (altura total, altura até a primeira ramificação, diâmetro a 1,30 m acima do solo e diâmetro da copa) e da amplitude resistográfica média na velocidade de propagação média das ondas acústicas. A maioria das árvores apresentou algum tipo de lesão externa no fuste e, em geral, as árvores com lesões graves apresentaram também alterações na velocidade de propagação das ondas acústicas e no perfil de resistência à perfuração. A combinação de diferentes técnicas permite identificar áreas com possíveis lesões internas em troncos de árvores urbanas históricas. No entanto, a extensão dessas áreas varia entre as técnicas utilizadas.

**Palavras-chave:** Análise visual, Tomografia acústica, Resistografia.

## ABSTRACT

Historic urban trees provide cultural and emotional benefits to cities. However, as they are older, their maintenance must be carefully monitored to reduce the associated risks. Therefore, a study was conducted to identify and estimate the extent of potentially damaged internal areas in the trunk of these trees and to analyze the influence of dendrometric characteristics and mean resistographic amplitude on the mean propagation speed of acoustic waves. The study evaluated 45 *Eucalyptus robusta* Sm. trees located in a popular square in Nova Friburgo-RJ, Brazil. A visual analysis of the crown, trunk, and root system was conducted, followed by complementary evaluations of acoustic tomography and resistography. Mathematical models were used to infer the relationship and influence of dendrometric characteristics and the average resistographic amplitude on the average wave propagation speed acoustics. The majority of trees had some external injury to the trunk, and trees with severe injuries showed changes in the propagation speed of acoustic waves and in the drilling resistance profile. The combination of different techniques helped identify areas with possible internal injuries in the trunks of historic urban trees. However, the extent of these areas varied between the techniques used.

**Keywords:** Visual analysis, Acoustic tomography, Resistography.

# 1 INTRODUÇÃO

As árvores urbanas são essenciais na promoção da qualidade de vida nas cidades em virtude dos serviços ecossistêmicos que fornecem. Com manutenção e manejo adequados, os indivíduos arbóreos promovem benefícios estéticos, sociais, ecológicos e econômicos proporcionais ao tamanho e estágio de desenvolvimento em que se encontram. A diversidade morfológica de folhas, flores e frutos, aliada às inúmeras possibilidades paisagísticas oferecidas pelas árvores urbanas, cria ambientes visualmente agradáveis. Esses ambientes, por sua vez, estimulam a prática de atividades físicas recreativas e proporcionam espaços de convivência, contribuindo para a saúde física da população e promovendo o sentimento de comunidade (ARNBERGER; EDER, 2012; DE VRIES et al., 2003; WANG et al., 2019). No contexto social, as árvores históricas urbanas são especialmente importantes para o patrimônio local e para o desenvolvimento da memória afetiva entre as diferentes gerações (ARIFFIN; AZIZ; YUNUS, 2019). As árvores urbanas atuam, ainda, na redução da poluição atmosférica e mitigação das mudanças climáticas (assimilação de CO<sub>2</sub>, regulação da temperatura do ar e redução do escoamento da água das chuvas) (GARCÍA-SÁNCHEZ et al., 2019; LOCOSSELLI et al., 2019; REN et al., 2019; RÖTZER et al., 2019; ZHANG et al., 2015). Além disso, a presença de árvores oferece vantagens econômicas. A sombra proporcionada pelas copas das árvores reduz o consumo de energia de ventiladores e condicionadores de ar e prolonga a vida útil do asfalto (DONOVAN; BUTRY, 2009; MCPHERSON; MUCHNICK, 2005). Ainda, contribui para a valorização imobiliária, aumentando consideravelmente o valor das residências (DONOVAN; LANDRY; WINTER, 2019).

As árvores são altamente reativas às condições ambientais do entorno e estão sob constante estresse mecânico ocasionado por seu próprio peso, pela presença de galhos inclinados ou horizontais e pela ação dos ventos (ALLISON; WANG, 2015). Em cenários climáticos extremos, estas podem se tornar um problema. Nesse sentido, a biomecânica pode ser utilizada na gestão dos riscos, pois estuda as propriedades estruturais de organismos biológicos e como esses interagem com o ambiente (DAHLE et al., 2017). A morfologia, distribuição de galhos, presença de lesões internas e padrões do sistema radicular são parâmetros importantes para compreender como as árvores respondem às cargas atuantes, servindo de subsídio na avaliação das consequências de possíveis falhas e planejamento de ações corretivas (VARGAS-SILVA, 2019).

Para garantir a manutenção dos serviços ambientais oferecidos pelas árvores urbanas e a segurança dos alvos, principalmente das pessoas, é necessário desenvolver e aplicar técnicas de diagnóstico rápidas e precisas para a gestão dos riscos relacionados às árvores. Essas técnicas, associadas a um planejamento urbano adequado, reduzem o risco de acidentes e asseguram um manejo preventivo e específico para cada realidade urbana.

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2019), a avaliação do risco pode ser realizada em três níveis, e considera todo o entorno do indivíduo arbóreo. O nível 1 corresponde a uma análise visual das árvores sem o uso de equipamentos específicos. O nível 2 se baseia em uma análise visual mais abrangente, englobando características do sistema radicular visível, colo, tronco e copa da árvore, possibilitando o uso de ferramentas manuais. A avaliação de nível 3 devem-se incluir a análise de galhos ou o emprego de métodos e tecnologias avançadas para a avaliação da presença e extensão de defeitos internos na árvore.

Apenas a inspeção visual pode subestimar o risco de falha das árvores, sendo aconselhável, quando necessário, o emprego de técnicas complementares para análise da natureza e características de possíveis defeitos. Assim, os métodos de avaliação não destrutivos da madeira podem ser utilizados para localizar e quantificar a ocorrência de defeitos internos

nas árvores, contribuindo para o monitoramento e gerenciamento do risco de queda (ALLISON; WANG, 2015). Entre os métodos comumente utilizados destacam-se a tomografia acústica e a resistência à perfuração.

A tomografia acústica visa representar as seções transversais internas do fuste das árvores por meio de gráficos de cores (tomogramas) obtidos a partir do tempo de transmissão de ondas mecânicas na madeira. A forma e variedade de cores de um tomograma dependem do tipo de lesão e defeito dentro da árvore; em geral, áreas com baixas velocidades podem indicar a presença de madeira deteriorada, ocos ou rachaduras (ALLISON; WANG, 2015). A tomografia é efetiva na avaliação de defeitos em árvores urbanas (CARVALHO; FERREIRA; SANTOS, 2019; WANG et al., 2007), mas a quantidade de sensores é determinante na localização e determinação da magnitude dos defeitos (ARCINIEGAS et al., 2014). Para garantir o diagnóstico preciso, é necessário o uso de ferramentas complementares.

Em algumas situações, o tomograma acústico tende a superestimar o tamanho de uma lesão (quando há presença de rachaduras, por exemplo) (ALLISON; WANG, 2015). Nesses casos, uma análise de resistência à perfuração pode auxiliar na tomada de decisão sobre o risco da árvore (WANG et al., 2007). A resistografia descreve a resistência da madeira à penetração de uma broca, que avança linearmente. A presença de ocos, rachaduras e lesões pode ser detectada pela redução característica na resistência dessas regiões, conforme o avanço da broca (ALLISON; WANG, 2015). Em avaliações de risco, a resistografia é empregada após métodos de inspeção prévios, para confirmar e determinar a extensão das lesões (JOHNSTONE et al., 2007; KOESER et al., 2017; ROLLO et al., 2013).

A aplicação dessas técnicas pode ser eficaz no manejo de árvores urbanas, sobretudo naquelas de valor histórico e que demandam cuidados mais criteriosos. Quando utilizadas adequadamente, essas técnicas podem ajudar a minimizar os riscos de segurança, orientando as ações corretivas necessárias, como podas ou, nos casos em que os riscos superam os benefícios, recomendando a substituição do exemplar da árvore. Assim, os objetivos do presente estudo foram identificar e estimar a extensão de áreas internas potencialmente lesionadas no tronco de árvores urbanas históricas e analisar a influência das características dendrométricas e da amplitude resistográfica média na velocidade de propagação média das ondas acústicas.



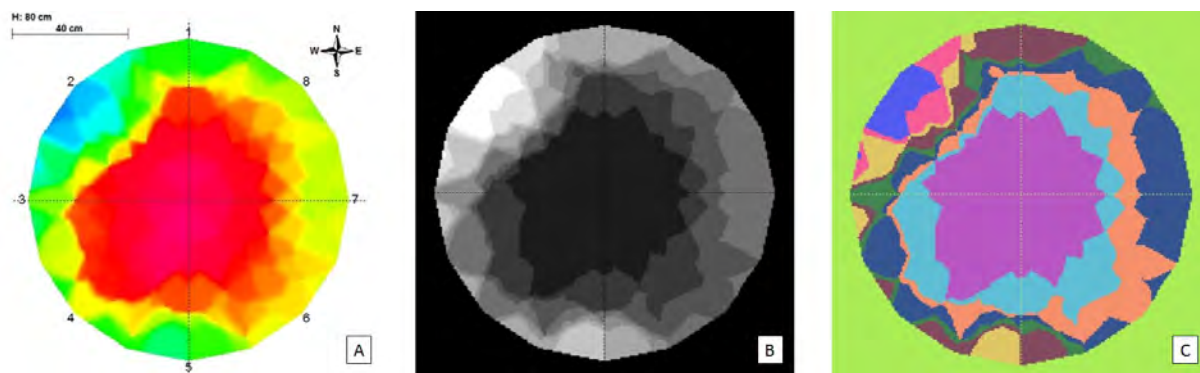
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 45 árvores históricas de *Eucalyptus robusta* Sm. localizadas na Praça Getúlio Vargas, Nova Friburgo, RJ, Brasil (22°16'49,17"S, 42°31'56,83"O). Conceitualmente, árvores de valor histórico ou patrimonial são aquelas associadas a eventos históricos, arqueológicos, culturais, místicos, religiosos ou de alto valor estético, podendo estar localizadas em áreas urbanas (SCIPIONI et al., 2023). A praça foi projetada pelo paisagista e botânico francês Auguste François Marie Glaziou no final do século XIX e tem um elevado valor histórico e cultural. Em 1972, foi tombada pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) como “Conjunto Arquitetônico e Paisagístico da Praça Getúlio Vargas” (CORREA, 2019).

Inicialmente foi conduzida uma análise visual da copa, tronco e sistema radicular visível (por exemplo: presença de danos físicos, patógenos, cavidades externas), que direcionaram as análises subsequentes de integridade interna do fuste. O tronco foi avaliado quanto à presença ou ausência de lesões externas (sem lesão aparente). Quando presentes, as lesões foram categorizadas da seguinte forma: i) lesão leve: lesão superficial no tronco; ii) lesão moderada: lesão no tronco decorrente de acidentes ou podas anteriores; iii) lesão grave: tronco com cavidades e lesões que permitem a entrada de patógenos e comprometem a estabilidade da árvore. Ainda, foram mensuradas as variáveis dendrométricas: altura total (m), altura até a primeira ramificação (m), diâmetro a 1,30 m acima do solo (DAP) (cm) e diâmetro da copa (m).

Em seguida, foi utilizado o tomógrafo acústico ARBOTOM<sup>®</sup> (Rinntech) para avaliar as características de propagação de ondas acústicas na madeira. Para isso, foram posicionados oito sensores de vibração na base do fuste das árvores, sendo o sensor 1 orientado na direção norte. Os sensores foram acoplados por meio de pregos fixados através da casca das árvores até atingir o alburno. A transmissão das ondas acústicas ocorreu por meio de batidas leves em cada sensor, utilizando martelo, até que o erro (delta %) fosse inferior a 10%. Quando necessário (isto é, quando o tomograma indicava a presença de lesões consideravelmente grandes, com indícios externos de que tais lesões poderiam se estender longitudinalmente), as avaliações foram conduzidas em diferentes alturas, mensurando a circunferência da árvore no ponto e a distância entre sensores em cada uma delas.

A partir dos dados captados pelos sensores (tempo de propagação de ondas acústicas posteriormente convertido em velocidades de ondas) foram gerados gráficos de cores (tomogramas) das velocidades de ondas propagadas no lenho. Para tanto, foram adotadas as seguintes configurações no *software* do ARBOTOM: i) Velocidades mínima e máxima de filtro 50 e 4000 m/s, respectivamente; ii) Modelo de cor *Rainbow*; iii) Resolução 2D = 5 mm; iv) Seleção de análise de distribuição e correção de desvio padrão; v) Desvio padrão máximo = 1. O processamento dos tomogramas e quantificação das áreas com baixas velocidades de propagação (caracterizadas pelas cores rosa, vermelho e laranja) foi realizada pelo *ArcMap*, componente do *ArcGIS* (Figura 12).



**Figura 12** – Exemplo de tomograma de velocidade de ondas acústicas (A) e quantificação das diferentes classes de velocidades (B e C). As classes com cores verde e azul representam áreas com velocidades altas, enquanto que as de coloração rosa, vermelha e laranja representam menores velocidades.

Após a avaliação preliminar dos tomogramas, foram selecionadas as regiões de interesse para confirmação de áreas com alterações físicas na madeira (possíveis lesões ou ocos) por meio de análise de resistência à perfuração (RESISTOGRAPH® Rinntech 4452-S). O equipamento foi posicionado perpendicularmente ao eixo da árvore, e a extensão de perfuração foi determinada de forma particular para cada seção transversal analisada. Quando os tomogramas não apresentavam quedas acentuadas na velocidade de propagação das ondas, a análise de resistência à perfuração não foi realizada. Foram construídos gráficos do perfil radial de resistência à perfuração utilizando o *software* DECOM versão 2.34. Os gráficos foram analisados identificando as regiões em comum com os tomogramas e desconsiderando os milímetros iniciais correspondentes à fração da casca.

## 2.1 Análise de Dados

Após constatada a ausência de normalidade nos resíduos (teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância), empregou-se o coeficiente de correlação de Spearman (5% de significância) para avaliar as relações entre todas as variáveis em estudo.

Em seguida, foram avaliados quatro modelos matemáticos (Tabela 8) visando inferir sobre a relação e a influência das características dendrométricas e da amplitude resistográfica média na velocidade de propagação média das ondas acústicas. O ajuste dos modelos lineares foi realizado pelo método dos mínimos quadrados ordinários, enquanto que os modelos não lineares foram ajustados pelo algoritmo de Gauss-Newton (SCOLFORO, 2005). A validação dos modelos ajustados foi realizada por meio da distribuição gráfica dos resíduos, raiz quadrada do erro médio (RQEM) e gráficos de validação, em que foi ajustado o modelo linear entre valores estimados em função dos observados.

**Tabela 8** – Modelos lineares e não-lineares selecionados para avaliar a relação de causalidade entre as variáveis de interesse.

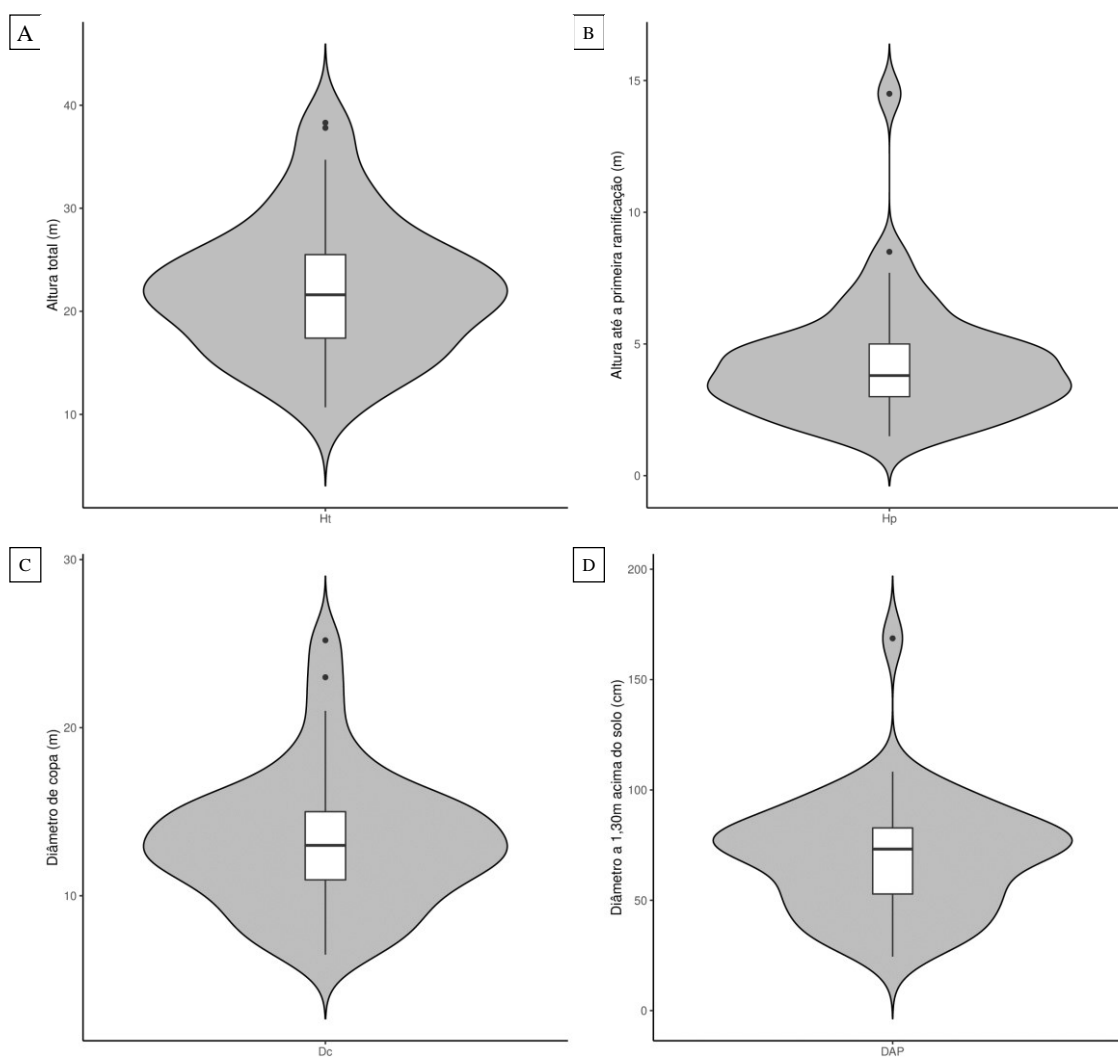
	Modelo	Função
Linear	1 Hiperbólico	$Y = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{X}$
	2 Logarítmico	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X$
Não-linear	3 Potência	$Y = \beta_0 X^{\beta_1}$
	4 Exponencial	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 X}$

Em que:  $Y$  = velocidade de propagação de ondas acústicas;  $\beta_0, \beta_1$  = coeficientes do modelo;  $X$  = variável independente.

As análises de normalidade dos resíduos e correlação das variáveis foram realizadas no software PAST 4.02 enquanto o ajuste dos modelos foi obtido em ambiente R 4.0.5 (CORE TEAM, 2021), por meio do pacote *nlstools* para os modelos não-lineares (BATY et al., 2015).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, as árvores apresentaram uma ampla variação nas características dendrométricas devido, principalmente, ao manejo conduzido ao longo dos anos (Figura 13). A altura até a primeira ramificação apresentou o maior coeficiente de variação (52,69%), seguida do DAP, diâmetro de copa e altura total (37,35%, 30,70% e 29,41%, respectivamente). Todas as características apresentaram uma distribuição assimétrica à direita, com presença de valores atípicos. Estes valores representam as árvores de maior porte e, portanto, não são decorrentes de erro amostral. A maior parte das árvores apresentaram altura total variando entre 15 e 35m, altura até a primeira ramificação entre 2 e 7m, diâmetro de copa entre 7 e 20m, e DAP entre 30 e 100cm. Em 2015, as árvores foram submetidas a podas drásticas (CORREA, 2019) impactando diretamente nestas variáveis.



**Figura 13** – Distribuição das características dendrométricas das árvores urbanas históricas de *Eucalyptus robusta* Sm. A caixa central representa a densidade dos dados e destaca a mediana (linha central) e os quartis (limites superior e inferior). As projeções laterais representam a variação dos dados; todas as variáveis estudadas apresentaram uma distribuição assimétrica dos dados. Pontos pretos indicam outliers que, neste estudo, representam grandes árvores. Em que:

Ht = altura total (m) (A); Hp = altura até a primeira ramificação (m) (B); Dc = diâmetro de copa (m) (C); DAP = diâmetro a 1,30m acima do solo (cm) (D).

Das árvores avaliadas, 82,22% apresentavam algum tipo de lesão externa no fuste, variando entre leve à grave (35,56% – lesão leve; 28,89% – lesão moderada; 17,78% – lesão grave), associada à presença de patógenos e danos oriundos de podas anteriores. A ocorrência de danos visuais pode indicar a presença de problemas internos na madeira comprometendo a integridade das árvores e aumentando os riscos associados às mesmas (WU et al., 2018). Em 87,5% das árvores com lesões externas graves foram observadas reduções na velocidade de propagação das ondas acústicas e no perfil de resistência à perfuração. Ambos os métodos de análise não destrutiva apresentaram correspondência de 72,73% entre si, isto é, mais da metade dos tomogramas que indicavam alguma possível descontinuidade no material foi confirmada pelo perfil de resistência. No entanto, em todos os casos, a dimensão das regiões com baixa resistência foi menor que a extensão das áreas com baixas velocidades de propagação das ondas e, por isso, a amplitude nessas áreas não foi intensamente influenciada (Tabela 9).

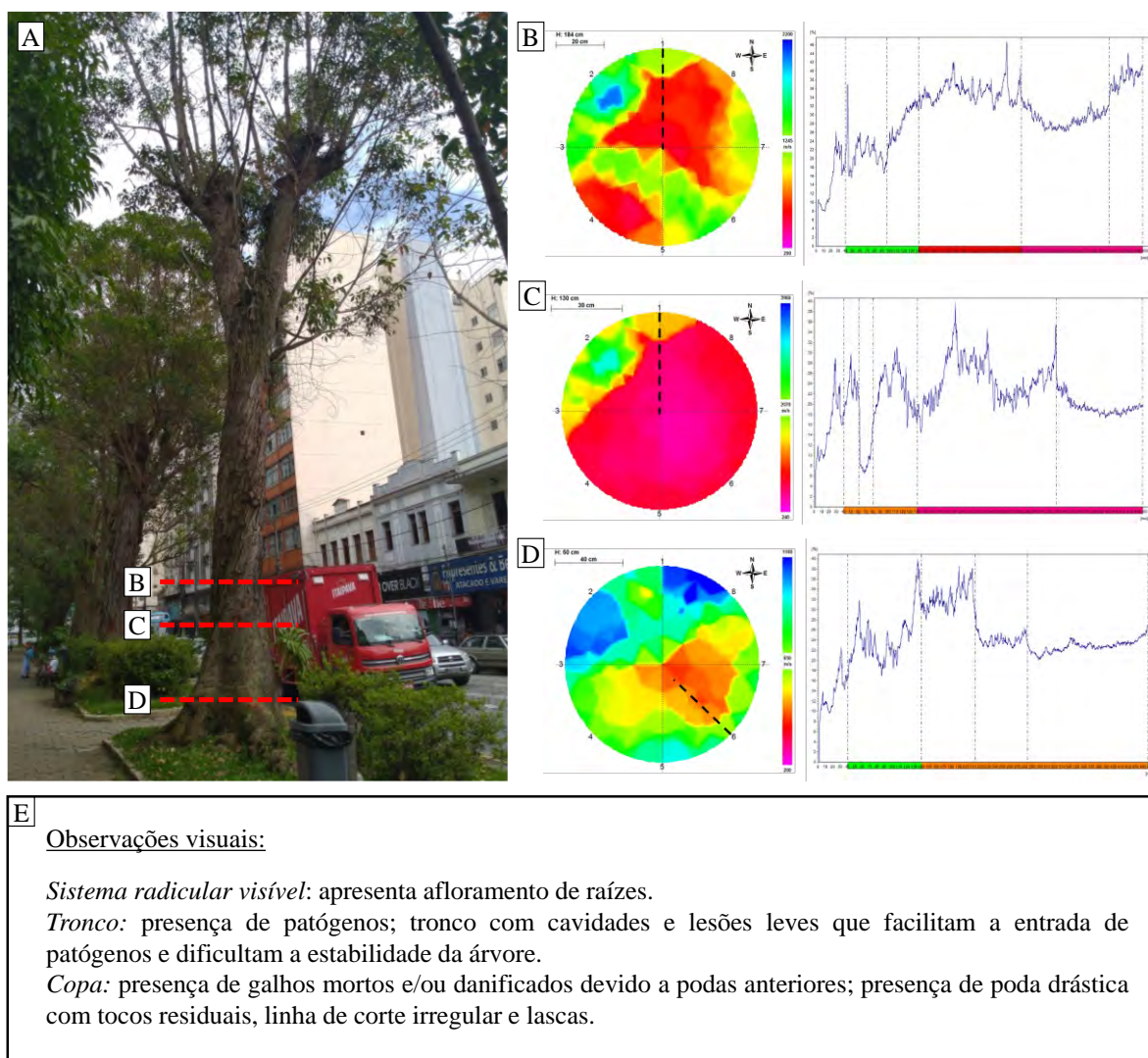
**Tabela 9** – Estatística descritiva da velocidade de propagação de ondas acústicas e amplitude Resistográfica de árvores urbanas históricas de *Eucalyptus robusta* Sm. (continua)

Árvore	Velocidade de propagação de ondas acústicas (m/s)				Amplitude Resistográfica (%)			
	Mín.	Méd.	Máx.	ABVP (%)	Mín.	Méd.	Máx.	Amplitude na ABVP
1	274	633,3	1286	0,00	-	-	-	-
2	431	799,6	1911	9,60	11,7	18,6	30,5	15,8
3	296	737,9	1626	8,54	18,9	25,9	36,9	25,1
4	265	637,7	2002	58,83	14,5	35,4	53,6	33,4
5	355	677,2	1865	34,24	27,1	50,8	66,4	55,9
6	128	734,2	1980	14,38	26,4	54,1	70,5	64,1
7	461	1221,8	2174	0,00	-	-	-	-
8	355	680,9	1507	13,98	18,6	36,0	57,9	45,2
9	149	484,4	792	5,90	13,2	35,1	49,9	34,6
10	419	730,7	1563	12,89	15,7	25,5	35,3	26,1
11	296	600,6	1571	25,59	21,3	32,3	45,2	35,2
12	334	635,9	1447	13,90	8,9	28,4	40,9	28,4
13	390	700,4	2005	53,81	18,5	32,9	43,3	38,5
14	266	819,3	1514	0,00	-	-	-	-
15	288	754,4	3160	13,42	13,9	41,4	71,1	41,5
16	242	681,6	2472	21,10	31,6	40,7	53,9	34,8
17	247	998,2	1624	0,00	-	-	-	-
18	219	494,9	780	0,00	-	-	-	-
19	366	846,5	2137	4,71	31,5	52,4	71,1	59,1
20	127	692,6	2518	18,17	15,9	28,8	42,3	27,4
21	214	508,1	2332	43,84	12,1	18,1	35,5	18,1
22	344	585,1	2131	76,07	25,9	47,6	64,4	48,1
23	103	528,3	1932	32,48	16,5	45,7	71,1	45,7
24	347	907,5	2453	12,71	27,3	40,7	51,7	33,6
25	475	1754,3	3712	0,00	-	-	-	-
26	354	1664,9	3797	0,00	-	-	-	-
27	423	1296,2	3331	5,32	34,5	54,5	71,1	49,4

Árvore	Velocidade de propagação de ondas acústicas (m/s)				Amplitude Resistográfica (%)			
	Mín.	Méd.	Máx.	ABVP (%)	Mín.	Méd.	Máx.	Amplitude na ABVP
28	315	1140,9	2691	0,00	-	-	-	-
29	169	461,1	1070	0,00	-	-	-	-
30	377	745,0	2102	24,19	13,7	32,5	41,5	33,3
31	455	686,1	1247	5,96	11,2	38,9	54,0	48,0
32	441	622,8	1079	3,73	15,3	35,4	50,0	38,1
33	401	677,2	1346	1,89	22,1	42,2	59,6	51,6
34	189	586,3	2097	44,25	22,8	42,6	57,7	42,2
35	263	751,8	2271	22,74	19,3	29,9	42,4	29,9
36	301	897,4	1743	0,00	-	-	-	-
37	202	481,1	1039	17,10	10,7	19,0	33,6	19,1
38	396	699,9	1901	58,45	15,7	35,4	48,5	39,1
39	311	626,6	1319	19,60	29,3	44,5	69,7	49,1
40	356	929,8	2078	0,00	-	-	-	-
41	101	474,1	1641	41,30	11,7	24,3	42,3	24,3
42	225	637,7	1748	29,82	2,7	19,1	31,5	22,5
43	364	774,0	2813	46,23	15,7	28,5	36,3	28,5
44	322	622,5	1018	0,00	-	-	-	-
45	304	1029,9	3513	36,14	12,3	21,3	30,1	19,3

O símbolo “-” indica que a análise de resistência à perfuração não foi realizada pois os tomogramas não indicaram redução na velocidade de propagação das ondas (área afetada = 0%). Em que: ABVP = áreas com baixas velocidades de propagação das ondas acústicas (caracterizadas pelas cores rosa, vermelho e laranja nos tomogramas).

Potenciais cavidades ou lesões apresentadas nos tomogramas podem ser, na verdade, decorrentes de efeitos de sombra acústica provocadas por rachaduras, que eventualmente não são captadas pela broca do Resistógrafo (WANG; ALLISON, 2008). Apesar da tomografia acústica apresentar tendência de superestimar as áreas lesionadas, principalmente devido ao número de sensores utilizados, a combinação com a avaliação de resistência à perfuração permite um diagnóstico de possíveis defeitos internos nas árvores, inclusive nas mais maduras com elevado valor histórico e cultural, as quais são vulneráveis aos danos físicos (SON; LEE; SHIN, 2021). Os valores mínimos de amplitude Resistográfica correspondem ao início da perfuração, e estão relacionados à região da casca (Figura 14). O perfil de resistência é influenciado, principalmente, pela densidade no local da perfuração, estrutura dos anéis de crescimento e ângulo de penetração da broca. Assim, conhecer as propriedades anatômicas básicas da madeira é importante para a correta interpretação dos resultados (RINN, 2012). Em geral, a madeira de *E. robusta* apresenta densidade básica variando entre 0,40 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>, porosidade difusa e anéis de crescimento indistintos ou ausentes (INSIDEWOOD, 2004; WHEELER, 2011). Com essas características, espera-se um perfil homogêneo de resistência à perfuração, variando apenas na presença de anormalidades na madeira.

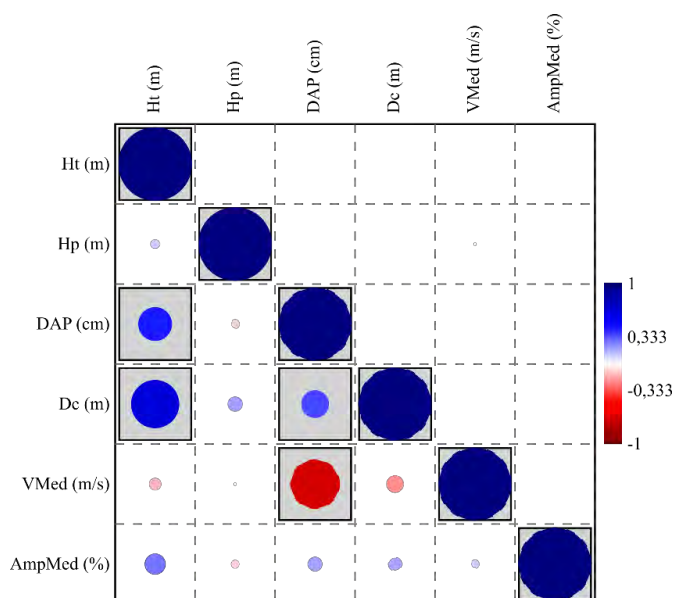


**Figura 14** – Exemplo de avaliação realizada em uma das árvores de *Eucalyptus robusta* Sm. (árvore 37). As linhas tracejadas vermelhas indicam os locais onde foram realizadas as análises de tomografia acústica e resistência à perfuração (A). Tomogramas e seus perfis de resistência à perfuração nas alturas de 50, 130 e 184 cm, respectivamente. As linhas tracejadas pretas indicam a posição de perfuração da broca (B, C e D). Principais problemas observados visualmente no sistema radicular, tronco e copa da árvore (E).

Na figura 14 observa-se um exemplo da avaliação combinada realizada nas árvores. As avaliações das demais árvores estão disponíveis no apêndice G. No exemplo apresentado (Figura 14), todos os métodos de análise indicaram problemas externos e internos. As zonas laranja, vermelha e rosa nos tomogramas representam as regiões com menores velocidades de propagação das ondas acústicas. A partir dos gráficos do perfil de resistência à perfuração foram segmentadas as zonas correspondentes e determinadas as amplitudes Resistográficas médias. É possível notar uma mudança no perfil de resistência em consonância com as zonas de baixas velocidades.

A análise de correlação indicou uma relação significativa positiva entre as variáveis DAP e Ht ( $r_s = 0,445$ ;  $p = 0,002$ ), Dc e Ht ( $r_s = 0,645$ ;  $p = 1,74E-06$ ) e DAP e Dc ( $r_s = 0,361$ ;  $p = 0,015$ ) e negativa entre DAP e VMed ( $r_s = -0,666$ ;  $p = 5,95E-07$ ) (Figura 15). Isso indica que árvores com maiores diâmetros são mais altas e apresentam copas mais extensas. Além

disso, conforme o diâmetro das árvores aumenta, as ondas acústicas se propagam de forma mais lenta. Isto ocorre porque nas árvores com maiores diâmetros há um aumento na distância entre os sensores. Isso eleva a probabilidade de desvios na propagação das ondas, resultando, conseqüentemente, em uma redução na velocidade final. Contudo, outros fatores intrínsecos às árvores interferem na propagação das ondas e devem ser levados em consideração: propriedades físicas e anatômicas da madeira (densidade, teor de umidade e formação dos anéis de crescimento, principalmente) e características geométricas do material. Além disso, as condições ambientais, como temperatura média, umidade relativa do ar e cargas mecânicas às quais a árvore está exposta, também podem influenciar na velocidade das ondas acústicas (BUCUR, 2006).



**Figura 15** – Correlação de Spearman (5% de significância) entre as variáveis dendrométricas, velocidade média de propagação de ondas acústicas (VMed) e amplitude média de resistência à perfuração (AmpMed). O tamanho dos círculos são proporcionais à correlação entre as variáveis. As correlações significativas ( $p < 0,05$ ) estão assinaladas na imagem. Onde: Ht = altura total; Hp = altura até a primeira ramificação; DAP = diâmetro a altura do peito – 1,30 m acima do solo; Dc = diâmetro da copa.

Como Ht e Dc foram diretamente influenciadas pelo manejo conduzido nas árvores, apenas as variáveis DAP e VMed foram selecionadas para avaliação do efeito de causalidade. Entre os modelos selecionados, o hiperbólico (1) apresentou maior significância e menor RQEM (Tabela 10).

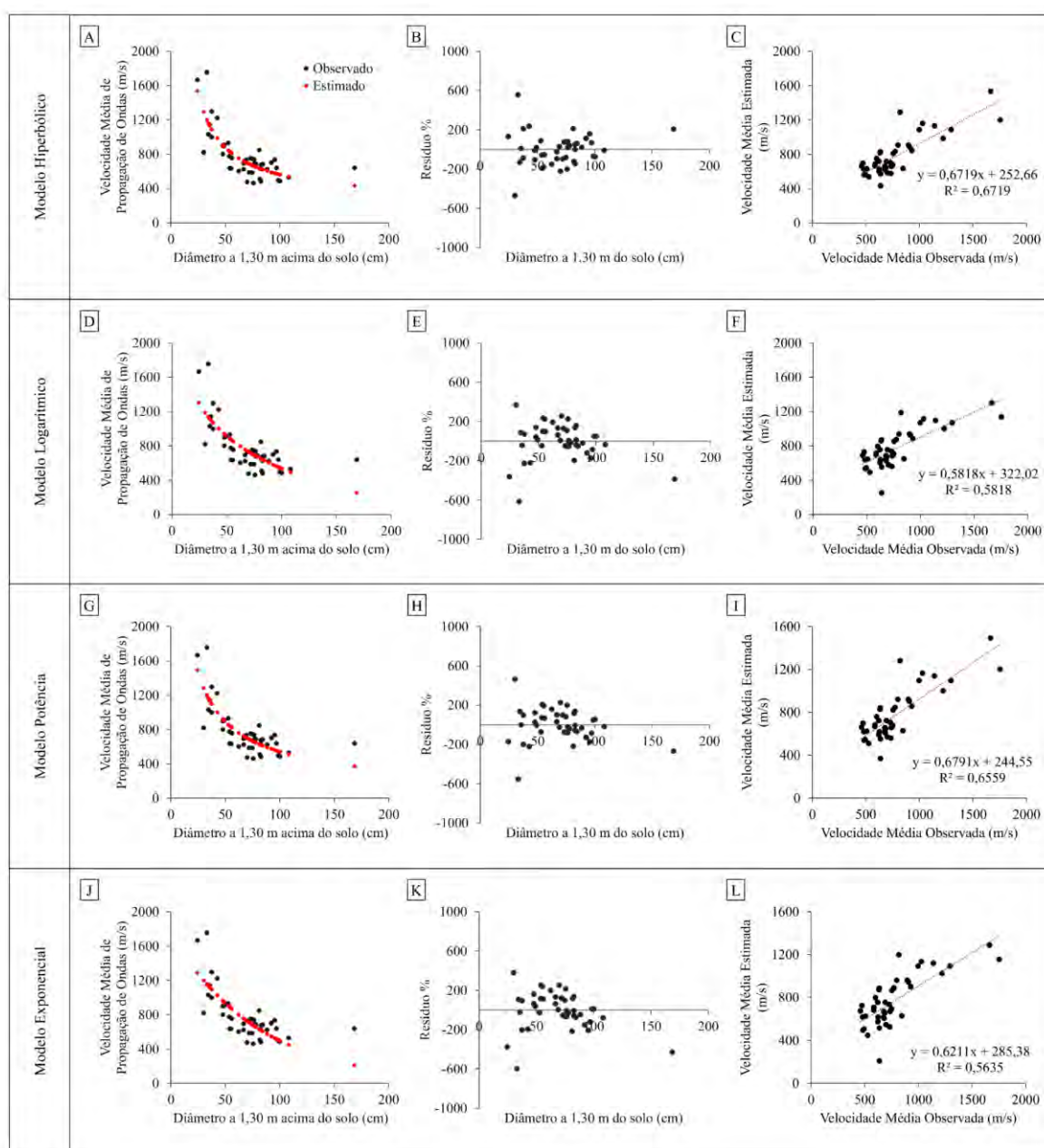
**Tabela 10** – Equações geradas para cada modelo avaliado e seus respectivos valores de p e RQEM (Raiz Quadrada do Erro Médio).

Modelo	Equação	Valor-p	RQEM
1	$VMed = 31583,14 + 245,09 \frac{1}{DAP}$	5,74702E-12	169,23
2	$VMed = 3046,19 - 545,08 \ln DAP$	1,13057E-09	184,09
3	$VMed = 15094,52DAP^{-0,72}$	1,35E-12	171,25
4	$VMed = 1756e^{-0,01DAP}$	1,18E-09	187,57

1 = Modelo hiperbólico; 2 = Modelo logarítmico; 3 = Modelo potência; 4 = Modelo exponencial.



O modelo hiperbólico descreveu melhor a relação entre as variáveis, além de apresentar distribuição de resíduos mais homogênea e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores observados e estimados (Figura 16).



**Figura 16** – Gráficos de validação dos modelos selecionados para avaliação dos efeitos de causalidade entre as variáveis Velocidade Média de Propagação de Ondas e DAP (Diâmetro a 1,30 m acima do solo). Ajuste dos modelos (A, D, G e J); distribuição dos resíduos (B, E, H e K); validação dos valores estimados em função dos observados (C, F, I e L).

As árvores com menores diâmetros (< 60 cm) apresentaram maior variação nas velocidades médias (633,3 a 1754,3 m/s) enquanto que o aumento no diâmetro proporcionou maior homogeneidade desta variável (461,1 a 846,5 m/s).

## 4 CONCLUSÕES

Em geral, a análise combinada de tomografia acústica e resistência à perfuração ajuda a confirmar a ocorrência ou exclusão de alterações físicas internas na madeira, previamente identificados a partir da análise visual. A tomografia acústica tende a superestimar as áreas com alterações físicas na madeira (potencialmente lesionadas); porém, quando utilizada de forma preliminar, permite uma visão espacializada da parte interna do tronco das árvores. A análise da resistência à perfuração é mais precisa e, quando realizada de forma complementar, pode confirmar a ocorrência e a extensão dessas áreas. Caminhos de perfuração adicionais podem aumentar as chances de localizar áreas com menores extensões. O uso adequado dessas ferramentas pode auxiliar no manejo das árvores históricas, causando impactos mínimos em sua estrutura e direcionando ações corretivas para manter os benefícios proporcionados por elas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, R. B.; WANG, X. **Nondestructive Testing in the Urban Forest**. In: ROSS, R. J. (Ed.). *Nondestructive evaluation of wood*. 2. ed. Madison: Forest Service, 2015. p. 77–86.
- ARCINIEGAS, A. et al. Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees. **Trees - Structure and Function**, v. 28, n. 6, p. 1559–1567, 2014.
- ARIFFIN, N. F. M.; AZIZ, N. A. A.; YUNUS, M. Y. M. The Significance of Heritage Trees Conservation for Urban Development in Taiping Lake Garden, Malaysia. **International Journal of Sustainable Tropical Design Research & Practice**, v. 12, n. 2, p. 39–47, 2019.
- ARNBERGER, A.; EDER, R. The influence of green space on community attachment of urban and suburban residents. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, n. 1, p. 41–49, jan. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16246-3: Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas. Parte 3: Avaliação de risco de árvores**. Brasil, 2019.
- BATY, F. et al. A Toolbox for Nonlinear Regression in R: The Package nlstools. **Journal of Statistical Software**, v. 66, n. 5, p. 1–21, 2015.
- BUCUR, V. Part II Material Characterization. **Theory of and Experimental Methods for the Acoustic Characterization of Wood**. In: TIMELL, T. E.; WIMMER, R. (Eds.). *Acoustics of Wood*. 2. ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. p. 394.
- CARVALHO, A. L. P. DE; FERREIRA, D.; SANTOS, M. C. M. P. N. DOS. ANÁLISE DE RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES: *Tilia tomentosa* Moench. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 14, n. 3, p. 01, 2019.
- CORE TEAM, R. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
- CORREA, M. S. T. A defesa da praça e dos eucaliptos: reflexões sobre o uso do patrimônio como espaço de performance e atuação política (Nova Friburgo / RJ). **Patrimônio e Memória**, v. 15, n. 1, p. 266–286, 2019.
- DAHLE, G. A. et al. A review of factors that affect the static load-bearing capacity of urban trees. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 43, n. 3, p. 89–105, 2017.
- DE VRIES, S. et al. Natural Environments—Healthy Environments? An Exploratory Analysis of the Relationship between Greenspace and Health. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 35, n. 10, p. 1717–1731, 2003.
- DONOVAN, G. H.; BUTRY, D. T. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 6, p. 662–668, 2009.
- DONOVAN, G. H.; LANDRY, S.; WINTER, C. Urban trees, house price, and redevelopment pressure in Tampa, Florida. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 38, p. 330–336, 2019.
- GARCÍA-SÁNCHEZ, I. E. et al. Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO<sub>2</sub> and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico City. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 42, p. 72–81, 2019.

- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.
- INSIDEWOOD, N. **MYRTACEAE *Eucalyptus robusta* Sm. (SWAMP MAHOGANY)**. Disponível em: <<https://insidewood.lib.ncsu.edu/description?4>>. Acesso em: 26 fev. 2022.
- JOHNSTONE, D. M. et al. Predicting Wood Decay in Eucalypts Using an Expert System and the IML-Resistograph Drill. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 33, n. 2, p. 76–82, 2007.
- KOESER, A. K. et al. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p. 71–79, 2017.
- LOCOSSELLI, G. M. et al. The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. **Science of the Total Environment**, v. 666, p. 652–661, 2019.
- MCPHERSON, E. G.; MUCHNICK, J. Effects of Shade on Pavement Performance. **Journal of Arboriculture**, v. 31, n. 6, p. 303–310, 2005.
- REN, Z. et al. Changes in spatio-temporal patterns of urban forest and its above-ground carbon storage: Implication for urban CO<sub>2</sub> emissions mitigation under China’s rapid urban expansion and greening. **Environment International**, v. 129, p. 438–450, 2019.
- RINN, F. Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. **Holztechnologie**, v. 53, n. 3, p. 24–29, 2012.
- ROLLO, F. M. DE A. et al. Comparação entre leituras de resistógrafo e imagens tomográficas na avaliação interna de troncos de árvores. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 331–337, 2013.
- RÖTZER, T. et al. Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 651–664, 2019.
- SCIPIONI, M. C.; KANIESKI, M. R.; COELHO, C. C. **Árvores de Interesse Especial no Contexto do Brasil – Conceito**. In: LOPES, A. E. M. P.; MIRANDA, I. C. R. F. (Eds.). *Ecologia Política: Avanços e Desafios*. 1. ed. Científica Digital, 2023. pp. 81-95.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: Modelos de Regressão Linear e Não-Linear**. Parte II: Modelos para Relação Hipsométrica, Volume, Afilamento, e Peso de Matéria Seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.
- SON, J.; LEE, G.; SHIN, J. Reliability of Noninvasive Sonic Tomography for the Detection of Internal Defects in Old, Large Trees of *Abies holophylla* Maxim. **Forests**, v. 12, n. 8, p. 1131, 2021.
- VARGAS-SILVA, G. Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. **Madera y Bosques**, v. 25, n. 3, 1 set. 2019.
- WANG, R. et al. Characteristics of urban green spaces in relation to aesthetic preference and stress recovery. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 41, p. 6–13, 2019.
- WANG, X. et al. **Acoustic Tomography for Decay Detection in Red Oak Trees**. United States Department of Agriculture: Madison, 2007.
- WANG, X.; ALLISON, R. B. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 34, n. 1, p. 1–4, 2008.

WHEELER, E. A. InsideWood - a web resource for hardwood anatomy. **IAWA Journal**, v. 32, n. 2, p. 199–211, 2011.

WU, X. et al. Reliability of acoustic tomography and ground-penetrating radar for tree decay detection. **Applications in Plant Sciences**, v. 6, n. 10, p. e01187, 1 out. 2018.

ZHANG, B. et al. Effect of urban green space changes on the role of rainwater runoff reduction in Beijing, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 140, p. 8–16, 2015.

## CONCLUSÕES GERAIS

Em conjunto, os estudos realizados nesta tese destacam a importância de uma abordagem integrada e estratégica para o planejamento e manejo da arborização urbana. A distribuição desigual da floresta urbana no estado do Rio de Janeiro e a dependência espacial entre cobertura vegetal e densidade populacional apontam para a necessidade de políticas urbanas que promovam uma distribuição mais equitativa e eficiente da vegetação nas cidades, visando maximizar os benefícios ecossistêmicos para todos os cidadãos.

Além disso, a análise específica da arborização em Cuiabá destaca que a diversidade de espécies e uma cobertura vegetal adequada devem ser consideradas para garantir a prestação eficaz de serviços ecossistêmicos. A presença excessiva de palmeiras, embora contribua para o sequestro de carbono, pode impactar negativamente outros serviços ecossistêmicos, indicando a necessidade de uma relação equilibrada entre palmeiras e árvores.

Por fim, a utilização de técnicas avançadas de avaliação da saúde das árvores, como a tomografia acústica e a resistência à perfuração, contribuem para o manejo adequado das árvores históricas e patrimoniais. Ao combinar essas ferramentas de diagnóstico, os gestores urbanos podem tomar decisões informadas para preservar a estrutura e os benefícios proporcionados por essas árvores, minimizando os impactos negativos em sua saúde e promovendo a sustentabilidade floresta urbana.

## APÊNDICES

- Apêndice A** – Classificação de uso e cobertura do solo urbano para municípios do estado do Rio de Janeiro. .... 71
- Apêndice B** – Caracterização da floresta urbana nos municípios do estado do Rio de Janeiro. .... 75
- Apêndice C** – Comparação entre os dados de arborização de vias públicas (%), provenientes do Censo Demográfico de 2010, e a floresta urbana (%) nos municípios do estado do Rio de Janeiro, agrupados por Regiões de Governo: A = Baixadas Litorâneas; B = Centro-Sul Fluminense; C = Médio Paraíba; D = Noroeste Fluminense; E = Costa Verde; F = Metropolitana; G = Norte Fluminense; H = Serrana. .... 79
- Apêndice D** – Identificação, classificação e composição das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. .... 81
- Apêndice E** – Caracterização da área de copa, valor de importância (somatório entre a área de copa e a população das árvores, ambas em porcentagem) e estimativa dos serviços ecossistêmicos relacionados ao carbono das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. .... 86
- Apêndice F** – Estimativa anual dos serviços ecossistêmicos das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. Onde: SBC = sequestro bruto de carbono; CO<sub>2</sub> Eq. = CO<sub>2</sub> equivalente; EP = Evapotranspiração Potencial; Água Intercep. = Água Interceptada; ESE = Escoamento Superficial Evitado. .... 91
- Apêndice G** – Análise visual da copa, tronco e sistema radicular, tomografia acústica e, quando necessário, Resistografia para árvores urbanas históricas de *Eucalyptus robusta* Sm. .... 96

**Apêndice A** – Classificação de uso e cobertura do solo urbano para municípios do estado do Rio de Janeiro.

Município	Floresta Urbana (m <sup>2</sup> )	Pastagens Urbanas (m <sup>2</sup> )	Corpos d'água Urbanos (m <sup>2</sup> )	Infraestrutura Urbana (m <sup>2</sup> )	Solo Exposto Urbano (m <sup>2</sup> )
Angra dos Reis	9844310,80	12556322,13	488143,89	14436651,51	1685366,70
Aperibé	89598,90	1588168,90	6578,15	1106603,15	272426,03
Araruama	6077073,91	38228562,59	838373,53	15904712,51	6717989,60
Areal	1336157,81	1737765,04	44118,95	550409,46	121355,48
Armação dos Búzios	2949505,13	10024983,02	288531,15	5814741,93	2610617,13
Arraial do Cabo	332196,44	2916387,57	7598,89	4384788,82	2786979,53
Barra do Piraí	3930556,41	8343472,48	510713,74	6565898,30	905402,58
Barra Mansa	5490711,47	11129771,51	905175,75	11671221,08	1209244,93
Belford Roxo	6760293,90	18907296,49	180672,22	33313665,83	3761112,41
Bom Jardim	1905054,13	3603690,54	31529,74	1639319,67	285355,49
Bom Jesus do Itabapoana	578763,54	3655862,05	31529,74	2234528,58	828279,47
Cabo Frio	3643613,09	27678348,53	1084373,55	24714439,53	8901140,58
Cachoeiras de Macacu	9842269,31	10638111,71	48542,19	4275909,14	612221,36
Cambuci	308946,09	1535657,14	92661,14	822722,07	226946,08
Campos dos Goytacazes	3430957,46	1607449,68	13609,96	935231,08	368943,33
Cantagalo	774520,13	1251776,06	14857,54	842229,68	174094,07
Carapebus	148348,56	37191370,23	1110005,64	43398759,50	16647022,40
Cardoso Moreira	227513,16	2009283,74	25745,51	1496528,50	291593,39
Carmo	386409,44	1924561,74	134398,35	778036,04	262218,56
Casimiro de Abreu	1176240,78	1311433,05	6804,98	1181004,27	250876,93
Comendador Levy Gasparian	386296,03	5495588,38	68390,05	4174514,94	1165012,56
Conceição de Macabu	893834,11	2849358,51	4196,40	1182705,51	174887,98
Cordeiro	702387,35	1670395,74	4990,32	1376647,44	166948,84
Duas Barras	429507,65	1017117,67	340,25	515590,65	117726,15
Duque de Caxias	15829630,90	37708208,45	556647,36	77860198,62	6997220,61



Município	Floresta Urbana (m²)	Pastagens Urbanas (m²)	Corpos d'água Urbanos (m²)	Infraestrutura Urbana (m²)	Solo Exposto Urbano (m²)
Engenheiro Paulo de Frontin	1915601,85	1742755,36	9300,14	553471,70	72359,62
Guapimirim	11606233,52	10652175,33	19734,44	4607198,25	469883,86
Iguaba Grande	1232268,45	8240830,70	133264,19	3318335,05	2122246,41
Itaboraí	16692048,69	45686707,17	126232,38	27175573,93	5213408,54
Itaguaí	5622047,59	13255080,16	702160,51	14265166,01	1782110,83
Italva	259723,40	1832354,26	94248,97	944531,21	313936,41
Itaocara	461944,72	3590987,91	1474,41	1473278,15	485195,07
Itaperuna	1316423,37	9579256,83	360777,35	7074570,55	2252561,77
Itatiaia	4381613,16	7633939,90	9980,64	4147295,02	779397,03
Japeri	4175422,27	9813574,97	23250,35	6675912,14	805482,79
Laje do Muriaé	150730,31	631161,89	680,50	339795,33	62038,73
Macaé	4578050,25	15092878,40	156854,79	22510987,02	7045762,80
Macuco	129408,04	631048,47	113,42	320854,80	56141,08
Magé	18114629,74	24129324,67	67936,38	20076392,04	2146971,17
Mangaratiba	3346348,88	4112022,54	262558,81	5048047,53	818185,42
Maricá	17257996,18	40751055,23	369510,41	23734522,42	8349937,21
Mendes	2119297,58	2765317,01	7031,81	994774,65	133717,86
Mesquita	531468,93	2110564,53	2948,82	10408330,22	777922,62
Miguel Pereira	4624097,28	6256271,71	23136,93	1838592,16	465120,38
Miracema	382553,29	1994085,95	1701,24	1896094,24	434044,30
Natividade	302821,61	1288749,78	84381,75	771571,31	190879,69
Nilópolis	120448,14	785634,93	9300,14	8127641,20	536912,92
Niterói	15861841,14	19998588,43	660196,47	28680495,25	4385809,56
Nova Friburgo	14766919,86	14330947,48	62038,73	12718053,82	1552669,59
Nova Iguaçu	13960643,16	40150402,33	144265,57	63344949,59	5564545,51
Paracambi	1231928,20	2623546,60	4309,82	2680368,18	339568,50
Paraíba do Sul	1514108,03	4929414,04	110240,67	3217507,93	624810,57

Município	Floresta Urbana (m <sup>2</sup> )	Pastagens Urbanas (m <sup>2</sup> )	Corpos d'água Urbanos (m <sup>2</sup> )	Infraestrutura Urbana (m <sup>2</sup> )	Solo Exposto Urbano (m <sup>2</sup> )
Paraty	7045876,22	7518368,66	156514,54	3377538,37	507538,09
Paty do Alferes	3717560,54	7287793,26	6804,98	1532594,90	577515,96
Petrópolis	36847378,49	24840104,82	354312,62	17635218,90	2102285,13
Pinheiral	1007590,69	2472702,87	25291,84	2350666,90	264486,89
Piraí	2194946,28	3627961,63	63399,73	2225115,02	367355,50
Porciúncula	290686,06	1291131,53	5557,40	938860,40	225585,08
Porto Real	854932,31	5177568,98	33117,57	4140490,04	728359,69
Quatis	465574,04	1469422,00	8279,39	1043770,50	155266,96
Queimados	3061333,64	11208822,69	16785,62	12050712,13	1374946,19
Quissamã	194509,01	2629444,24	47634,86	2176799,66	866727,61
Resende	6026943,89	14829412,26	391966,84	15185312,71	2798207,75
Rio Bonito	3797972,72	7197967,52	6918,40	4415411,23	831341,71
Rio Claro	1819197,97	2869886,87	5217,15	1054091,39	162525,60
Rio das Flores	430074,73	1131101,08	7598,89	414423,28	115004,16
Rio das Ostras	3055549,40	12848936,27	59430,16	14855271,19	4699972,80
Rio de Janeiro	84801278,14	136287642,88	7030791,85	372898496,29	40059215,60
Santa Maria Madalena	747413,63	1211173,01	340,25	486329,23	88237,91
Santo Antônio de Pádua	581372,12	3882808,13	184188,12	3195505,16	859468,97
São Fidélis	311214,42	14035838,19	26766,25	6191624,41	5107364,27
São Francisco de Itabapoana	841549,18	2863195,31	121809,14	1986033,39	574113,47
São Gonçalo	17072333,65	42277071,98	116932,24	64982908,26	5344290,99
São João da Barra	352157,71	6354717,09	192240,68	6861688,10	7502717,21
São João de Meriti	1112387,39	4709613,19	40035,97	27484293,19	1867966,99
São José de Ubá	86196,41	687870,05	1134,16	315410,82	119200,57
São José do Vale do Rio Preto	1789936,55	4096257,67	77236,52	1516830,03	381872,79
São Pedro da Aldeia	1600531,28	16098654,44	429961,32	10933221,00	5271137,45
São Sebastião do Alto	192694,35	893607,28	680,50	276395,60	66235,14

Município	Floresta Urbana (m <sup>2</sup> )	Pastagens Urbanas (m <sup>2</sup> )	Corpos d'água Urbanos (m <sup>2</sup> )	Infraestrutura Urbana (m <sup>2</sup> )	Solo Exposto Urbano (m <sup>2</sup> )
Sapucaia	455593,41	2168066,61	4763,49	1420312,73	221048,43
Saquarema	9793386,87	30106705,62	179424,64	11434634,61	5034777,82
Seropédica	5114169,25	14440280,83	91526,98	9135572,14	1557659,91
Silva Jardim	1777347,34	4146160,86	4650,07	1612099,75	277189,52
Sumidouro	354993,12	1137679,23	2381,74	521034,63	148915,64
Tanguá	2081303,11	5679209,42	8733,06	2653034,84	417145,27
Teresópolis	19952314,57	19829938,35	250083,01	12360338,71	1628091,45
Trajano de Moraes	629120,39	1622760,88	2948,82	447881,10	83928,09
Três Rios	1891671,00	7289267,67	321648,72	6444202,58	1215142,58
Valença	2471115,05	7256150,10	6124,48	4273187,15	723142,53
Varre-Sai	151637,64	589991,76	113,42	397637,66	133944,69
Vassouras	2202545,17	5303007,44	1020,75	2421892,36	505723,43
Volta Redonda	6135143,07	11391649,82	1708730,46	22172325,86	2932832,93

**Apêndice B** – Caracterização da floresta urbana nos municípios do estado do Rio de Janeiro.

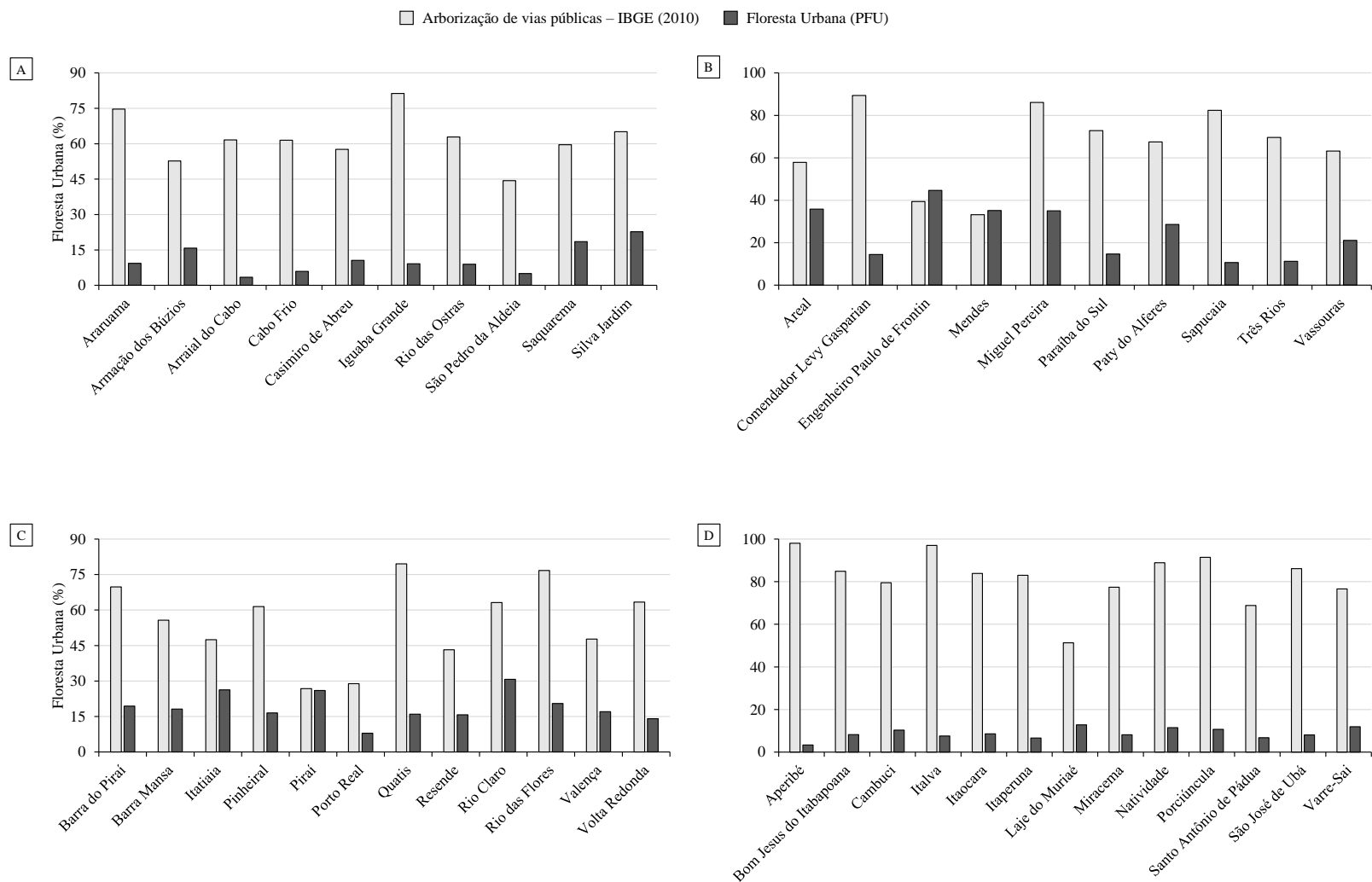
Município	Floresta Urbana (km <sup>2</sup> )	Floresta Urbana (%)	Índice de Floresta Urbana (m <sup>2</sup> /hab)
Angra dos Reis	9,84	24,57	60,29
Aperibé	0,09	3,32	10,09
Araruama	6,08	9,37	57,07
Areal	1,34	35,82	134,65
Armação dos Búzios	2,95	15,78	107,02
Arraial do Cabo	0,33	3,44	11,99
Barra do Piraí	3,93	19,41	42,74
Barra Mansa	5,49	18,15	31,16
Belford Roxo	6,76	10,75	14,40
Bom Jardim	1,91	25,54	124,79
Bom Jesus do Itabapoana	0,58	8,20	19,34
Cabo Frio	3,64	5,93	25,94
Cachoeiras de Macacu	9,84	40,09	209,66
Cambuci	0,31	10,33	27,36
Campos dos Goytacazes	3,43	3,61	8,19
Cantagalo	0,77	16,87	55,24
Carapebus	0,15	4,93	14,07
Cardoso Moreira	0,23	6,83	25,98
Carmo	0,39	12,31	28,69
Casimiro de Abreu	1,18	10,57	41,24
Comendador Levy Gasparian	0,39	14,47	49,13
Conceição de Macabu	0,89	17,49	48,74
Cordeiro	0,70	17,87	35,36
Duas Barras	0,43	20,65	55,52
Duque de Caxias	15,83	11,41	18,58
Engenheiro Paulo de Frontin	1,92	44,65	201,16

Município	Floresta Urbana (km <sup>2</sup> )	Floresta Urbana (%)	Índice de Floresta Urbana (m <sup>2</sup> /hab)
Guapimirim	11,61	42,75	233,31
Iguaba Grande	1,23	9,16	53,93
Itaboraí	16,69	17,99	77,49
Itaguaí	5,62	15,90	53,95
Italva	0,26	7,55	25,36
Itaocara	0,46	8,62	26,66
Itaperuna	1,32	6,61	14,90
Itatiaia	4,38	26,30	157,54
Japeri	4,18	19,43	43,73
Laje do Muriaé	0,15	12,77	26,74
Macaé	4,58	9,54	22,57
Macuco	0,13	11,25	28,18
Magé	18,11	27,99	84,16
Mangaratiba	3,35	23,80	104,18
Maricá	17,26	20,10	137,52
Mendes	2,12	35,20	119,73
Mesquita	0,53	3,84	3,16
Miguel Pereira	4,62	35,00	215,06
Miracema	0,38	8,12	15,46
Natividade	0,30	11,47	25,14
Nilópolis	0,12	1,26	0,77
Niterói	15,86	22,49	32,53
Nova Friburgo	14,77	34,00	92,66
Nova Iguaçu	13,96	11,35	17,73
Paracambi	1,23	17,91	29,53
Paraíba do Sul	1,51	14,69	41,88
Paraty	7,05	38,54	254,46

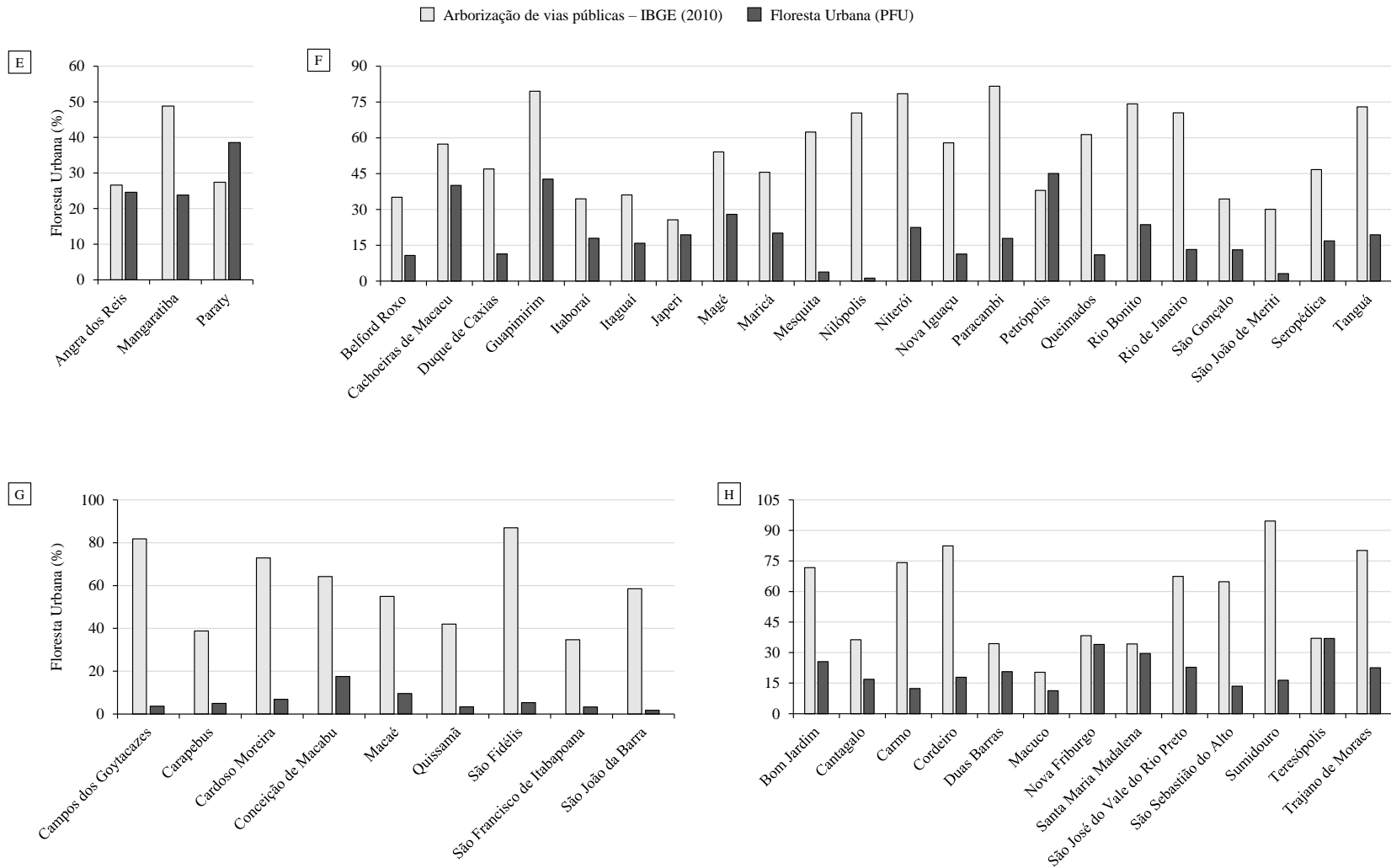
Município	Floresta Urbana (km <sup>2</sup> )	Floresta Urbana (%)	Índice de Floresta Urbana (m <sup>2</sup> /hab)
Paty do Alferes	3,72	28,64	200,03
Petrópolis	36,85	45,06	131,00
Pinheiral	1,01	16,52	49,37
Piraí	2,19	26,01	105,34
Porciúncula	0,29	10,73	20,93
Porto Real	0,85	7,92	51,82
Quatis	0,47	16,00	38,70
Queimados	3,06	11,06	22,19
Quissamã	0,19	3,35	14,97
Resende	6,03	15,71	53,65
Rio Bonito	3,80	23,68	92,05
Rio Claro	1,82	30,73	132,12
Rio das Flores	0,43	20,48	72,17
Rio das Ostras	3,06	8,96	30,58
Rio de Janeiro	84,80	13,24	13,42
Santa Maria Madalena	0,75	29,54	126,00
Santo Antônio de Pádua	0,58	6,80	18,69
São Fidélis	0,31	5,33	10,49
São Francisco de Itabapoana	0,84	3,29	39,90
São Gonçalo	17,07	13,15	17,09
São João da Barra	0,35	1,71	13,71
São João de Meriti	1,11	3,16	2,43
São José de Ubá	0,09	8,06	27,82
São José do Vale do Rio Preto	1,79	22,80	198,73
São Pedro da Aldeia	1,60	5,00	19,48
São Sebastião do Alto	0,19	13,48	41,78
Sapucaia	0,46	10,67	34,32

Município	Floresta Urbana (km <sup>2</sup> )	Floresta Urbana (%)	Índice de Floresta Urbana (m <sup>2</sup> /hab)
Saquarema	9,79	18,51	139,00
Seropédica	5,11	16,83	79,55
Silva Jardim	1,78	22,73	110,25
Sumidouro	0,35	16,43	65,26
Tanguá	2,08	19,42	75,88
Teresópolis	19,95	36,94	136,47
Trajano de Moraes	0,63	22,55	131,62
Três Rios	1,89	11,25	25,17
Valença	2,47	17,04	39,71
Varre-Sai	0,15	11,94	26,19
Vassouras	2,20	21,12	94,94
Volta Redonda	6,14	14,08	23,81

**Apêndice C** – Comparação entre os dados de arborização de vias públicas (%), provenientes do Censo Demográfico de 2010, e a floresta urbana (%) nos municípios do estado do Rio de Janeiro, agrupados por Regiões de Governo: A = Baixadas Litorâneas; B = Centro-Sul Fluminense; C = Médio Paraíba; D = Noroeste Fluminense; E = Costa Verde; F = Metropolitana; G = Norte Fluminense; H = Serrana.







**Apêndice D** – Identificação, classificação e composição das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil.

Nome Científico	Nome Popular (i-Tree)	Família	Forma de Vida	Nº de Indivíduos	População (%)
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Coyoli palm	Arecaceae	Palmeira	7	1,20
<i>Aglaia odorata</i> Lour.	Chinese perfume plant	Meliaceae	Árvore	1	0,17
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Tantakayo albizia	Fabaceae	Arbusto	9	1,50
<i>Allamanda cathartica</i> L.	Golden trumpet vine	Apocynaceae	Arbusto	2	0,34
<i>Annona squamosa</i> L.	Sugar apple	Annonaceae	Arbusto / Árvore	2	0,34
<i>Averrhoa carambola</i> L.	Star fruit	Oxalidaceae	Árvore	1	0,17
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Neem Tree	Meliaceae	Árvore	1	0,17
<i>Bauhinia forficata</i> Link	Bauhinia	Fabaceae	Árvore	9	1,50
<i>Bauhinia variegata</i> L.	Mountain ebony	Fabaceae	Árvore	47	7,90
<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.	Ponytail palm	Asparagaceae	Arbusto	1	0,17
<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	Great bougainvillea	Nyctaginaceae	Árvore	2	0,34
<i>Cassia fistula</i> L.	Canafistula	Fabaceae	Árvore	9	1,50
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embauba-do-brejo	Urticaceae	Árvore	2	0,34
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Silk floss tree	Malvaceae	Árvore	2	0,34
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	Momoqui	Fabaceae	Árvore	13	2,20
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Lemon	Rutaceae	Árvore	3	0,51
<i>Cocos nucifera</i> L.	Coconut palm	Arecaceae	Palmeira	1	0,17
<i>Crescentia cujete</i> L.	Calabash tree	Bignoniaceae	Árvore	1	0,17
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	Sago palm	Cycadaceae	Arbusto	3	0,51
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	Royal poinciana	Fabaceae	Árvore	3	0,51
<i>Dillenia indica</i> L.	Chalta	Dilleniaceae	Árvore	1	0,17
<i>Dypsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	Triangle palm	Arecaceae	Palmeira	4	0,67
<i>Dypsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	Areca palm	Arecaceae	Palmeira	5	0,84
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Pacara earpod tree	Fabaceae	Árvore	2	0,34
<i>Ficus benjamina</i> L.	Benjamin fig	Moraceae	Árvore	4	0,67

Nome Científico	Nome Popular (i-Tree)	Família	Forma de Vida	Nº de Indivíduos	População (%)
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Golden trumpet tree	Bignoniaceae	Árvore	13	2,20
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Black lapacho	Bignoniaceae	Árvore	3	0,51
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipe	Bignoniaceae	Árvore	59	9,90
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Yellow poui	Bignoniaceae	Árvore	2	0,34
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	Yellow trumpet tree	Bignoniaceae	Árvore	24	4,00
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Blue jacaranda	Bignoniaceae	Árvore	1	0,17
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Common crapemyrtle	Lythraceae	Arbusto / Árvore	1	0,17
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Leopard tree(pau-ferro)	Fabaceae	Árvore	11	1,90
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Anacardiaceae	Árvore	14	2,40
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	Oiti	Chrysobalanaceae	Árvore	180	30,30
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Horseradishtree	Moringaceae	Arbusto / Árvore	4	0,67
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	China box	Rutaceae	Árvore	1	0,17
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Guiana chestnut	Malvaceae	Árvore	3	0,51
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Yellow poinciana	Fabaceae	Árvore	4	0,67
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	Pygmy date palm	Arecaceae	Palmeira	8	1,30
<i>Plumeria rubra</i> L.	Frangipani	Apocynaceae	Arbusto / Árvore	3	0,51
<i>Polyscias guilfoylei</i> (W.Bull) L.H.Bailey	Geranium aralia	Araliaceae	Arbusto	2	0,34
<i>Psidium guajava</i> L.	Common guava	Myrtaceae	Árvore	2	0,34
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	Mapora	Arecaceae	Palmeira	39	6,60
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	Florida royal palm	Arecaceae	Palmeira	29	4,90
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Wingleaf soapberry	Sapindaceae	Árvore	8	1,30
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	African tulip tree	Bignoniaceae	Árvore	2	0,34
<i>Spondias purpurea</i> L.	Purple mombin	Anacardiaceae	Arbusto / Árvore	1	0,17
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Queen palm	Arecaceae	Palmeira	1	0,17
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Pink Poui	Bignoniaceae	Árvore	7	1,20
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	White trumper-tree	Bignoniaceae	Árvore	16	2,70
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Ginger-thomas	Bignoniaceae	Arbusto	11	1,90

Nome Científico	Nome Popular (i-Tree)	Família	Forma de Vida	Nº de Indivíduos	População (%)
<i>Terminalia catappa</i> L.	Indian Almond	Combretaceae	Árvore	5	0,84
<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	Florida trema	Cannabaceae	Árvore	1	0,17
<i>Yucca gigantea</i> Lem.	Bluestem yucca	Asparagaceae	Arbusto	4	0,67
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Coyoli palm	Arecaceae	Palmeira	4	0,59
<i>Adenanthera pavonina</i> L.	Red beadtrees	Fabaceae	Árvore	2	0,29
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Tantakayo albizia	Fabaceae	Arbusto	8	1,20
<i>Annona squamosa</i> L.	Sugar apple	Annonaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Averrhoa carambola</i> L.	Star fruit	Oxalidaceae	Árvore	1	0,15
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Neem Tree	Meliaceae	Árvore	3	0,44
<i>Bauhinia forficata</i> Link	Bauhinia	Fabaceae	Árvore	42	6,20
<i>Bauhinia variegata</i> L.	Mountain ebony	Fabaceae	Árvore	27	4,00
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	Pride-of-barbados	Fabaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	Caricaceae	Arbusto / Árvore	3	0,44
<i>Cassia fistula</i> L.	Canafistula	Fabaceae	Árvore	8	1,20
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	Momoqui	Fabaceae	Árvore	6	0,88
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	Hinoki cypress	Cupressaceae	Árvore	1	0,15
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Lemon	Rutaceae	Árvore	2	0,29
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Philippine pigeonwings	Fabaceae	Árvore	2	0,29
<i>Cocos nucifera</i> L.	Coconut palm	Arecaceae	Palmeira	2	0,29
<i>Cordia dichotoma</i> G.Forst	Fragrant manjack	Boraginaceae	Árvore	1	0,15
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	Sago palm	Cycadaceae	Arbusto	5	0,74
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	Royal poinciana	Fabaceae	Árvore	8	1,20
<i>Dypsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	Triangle palm	Arecaceae	Palmeira	90	13,30
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Pacara earpod tree	Fabaceae	Árvore	2	0,29
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cerejeira-do-rio-grande	Myrtaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Ficus benjamina</i> L.	Benjamin fig	Moraceae	Árvore	2	0,29
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	Wild banyantree	Moraceae	Árvore	1	0,15

Nome Científico	Nome Popular (i-Tree)	Família	Forma de Vida	Nº de Indivíduos	População (%)
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guacima	Malvaceae	Árvore	1	0,15
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Golden trumpet tree	Bignoniaceae	Árvore	15	2,20
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Black lapacho	Bignoniaceae	Árvore	2	0,29
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipe	Bignoniaceae	Árvore	59	8,70
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Yellow poui	Bignoniaceae	Árvore	1	0,15
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	Yellow trumpet tree	Bignoniaceae	Árvore	9	1,30
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Sweetpea	Fabaceae	Árvore	1	0,15
<i>Inga vera</i> Willd.	River koko	Fabaceae	Árvore	2	0,29
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Blue jacaranda	Bignoniaceae	Árvore	1	0,15
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Common crapemyrtle	Lythraceae	Arbusto / Árvore	7	1,00
<i>Lagerstroemia speciosa</i> (L.) Pers.	Queen's crapemyrtle	Lythraceae	Árvore	2	0,29
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	White lead tree	Fabaceae	Arbusto	3	0,44
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	Leopard tree(pau-ferro)	Fabaceae	Árvore	1	0,15
<i>Malpighia emarginata</i> DC.	Barbados cherry	Malpighiaceae	Árvore	1	0,15
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Anacardiaceae	Árvore	24	3,50
<i>Melia azedarach</i> L.	Chinaberry	Meliaceae	Árvore	4	0,59
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	Oiti	Chrysobalanaceae	Árvore	208	30,60
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Horseradishtree	Moringaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Morus nigra</i> L.	Black mulberry	Moraceae	Arbusto / Árvore	3	0,44
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	China box	Rutaceae	Árvore	2	0,29
<i>Nerium oleander</i> L.	Oleander	Apocynaceae	Arbusto / Árvore	6	0,88
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Guiana chestnut	Malvaceae	Árvore	12	1,80
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Yellow poinciana	Fabaceae	Árvore	4	0,59
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Date palm	Arecaceae	Palmeira	3	0,44
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	Pygmy date palm	Arecaceae	Palmeira	9	1,30
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	Slash pine	Pinaceae	Árvore	1	0,15
<i>Plumeria pudica</i> Jacq.	Floron	Apocynaceae	Arbusto / Árvore	5	0,74

Nome Científico	Nome Popular (i-Tree)	Família	Forma de Vida	Nº de Indivíduos	População (%)
<i>Plumeria rubra L.</i>	Frangipani	Apocynaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Podocarpus macrophyllus (Thunb.) Sweet</i>	Yew podocarpus	Podocarpaceae	Árvore	1	0,15
<i>Psidium guajava L.</i>	Common guava	Myrtaceae	Árvore	1	0,15
<i>Roystonea oleracea (Jacq.) O.F.Cook</i>	Mapora	Arecaceae	Palmeira	23	3,40
<i>Roystonea regia (Kunth) O.F.Cook</i>	Florida royal palm	Arecaceae	Palmeira	3	0,44
<i>Samanea tubulosa (Benth.) Barneby &amp; J.W.Grimes</i>	Burdao de velho	Fabaceae	Árvore	2	0,29
<i>Schinus terebinthifolia Raddi</i>	Aroeira-pimenteira	Anacardiaceae	Arbusto / Árvore	2	0,29
<i>Schizolobium parahyba (Vell.) Blake</i>	Brazilian fern tree	Fabaceae	Árvore	1	0,15
<i>Swietenia macrophylla King</i>	Honduras mahogany	Meliaceae	Árvore	1	0,15
<i>Tabebuia rosea (Bertol.) Bertero ex A.DC.</i>	Pink Poui	Bignoniaceae	Árvore	11	1,60
<i>Tabebuia roseoalba (Ridl.) Sandwith</i>	White trumper-tree	Bignoniaceae	Árvore	13	1,90
<i>Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth</i>	Ginger-thomas	Bignoniaceae	Arbusto	5	0,74
<i>Terminalia catappa L.</i>	Indian Almond	Combretaceae	Árvore	3	0,44
<i>Thevetia peruviana (Pers.) K.Schum.</i>	Luckynut	Apocynaceae	Arbusto / Árvore	1	0,15
<i>Vitex cymosa Bertero ex Spreng.</i>	Taruma guazu	Lamiaceae	Árvore	1	0,15

**Apêndice E** – Caracterização da área de copa, valor de importância (somatório entre a área de copa e a população das árvores, ambas em porcentagem) e estimativa dos serviços ecossistêmicos relacionados ao carbono das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil.

Nome Científico	Área de Copa (ha)	Área de Copa (%)	Valor de Importância	Carbono Armazenado (tonelada métrica)	CO <sub>2</sub> Equivalente (tonelada métrica)
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	0,01	0,10	1,30	1,40	5,10
<i>Aglaia odorata</i> Lour.	0,00	0,00	0,17	0,00	0,10
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	0,37	4,30	5,80	4,20	15,40
<i>Allamanda cathartica</i> L.	0,00	0,00	0,34	0,00	0,10
<i>Annona squamosa</i> L.	0,01	0,10	0,44	0,00	0,20
<i>Averrhoa carambola</i> L.	0,01	0,10	0,27	0,00	0,00
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	0,05	0,60	0,77	0,50	1,90
<i>Bauhinia forficata</i> Link	0,01	0,10	1,60	0,10	0,40
<i>Bauhinia variegata</i> L.	0,06	0,70	8,60	0,80	3,10
<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.	0,00	0,00	0,17	0,10	0,20
<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	0,00	0,10	0,44	0,00	0,00
<i>Cassia fistula</i> L.	0,09	1,00	2,50	1,10	4,20
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	0,00	0,00	0,34	0,00	0,10
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	0,08	0,90	1,24	0,60	2,40
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	0,28	3,30	5,50	6,50	23,90
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	0,00	0,10	0,61	0,00	0,10
<i>Cocos nucifera</i> L.	0,00	0,00	0,17	0,10	0,20
<i>Crescentia cujete</i> L.	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	0,01	0,10	0,61	0,10	0,50
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	0,04	0,40	0,91	0,60	2,40
<i>Dillenia indica</i> L.	0,00	0,10	0,27	0,10	0,30
<i>Dyopsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	0,01	0,10	0,77	0,90	3,30
<i>Dyopsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	0,01	0,10	0,94	0,20	0,60

Nome Científico	Área de Copa (ha)	Área de Copa (%)	Valor de Importância	Carbono Armazenado (tonelada métrica)	CO <sub>2</sub> Equivalente (tonelada métrica)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,21	2,50	2,84	6,10	22,20
<i>Ficus benjamina</i> L.	0,06	0,70	1,37	0,60	2,10
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,01	0,10	2,30	0,10	0,50
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0,00	0,00	0,51	0,30	0,90
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,46	5,40	15,30	8,20	30,20
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0,00	0,00	0,34	0,00	0,20
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	0,01	0,10	4,10	0,10	0,40
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	0,03	0,30	0,47	0,10	0,20
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	0,07	0,90	2,80	1,40	5,10
<i>Mangifera indica</i> L.	0,49	5,80	8,20	6,50	24,00
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	5,51	64,70	95,00	181,50	665,70
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0,02	0,20	0,87	0,10	0,40
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0,01	0,10	0,61	0,10	0,20
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	0,05	0,50	1,17	1,00	3,70
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	0,00	0,10	1,40	0,10	0,30
<i>Plumeria rubra</i> L.	0,01	0,10	0,61	0,00	0,20
<i>Polyscias guilfoylei</i> (W.Bull) L.H.Bailey	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
<i>Psidium guajava</i> L.	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	0,08	0,90	7,50	9,60	35,10
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	0,10	1,20	6,10	10,70	39,20
<i>Sapindus saponaria</i> L.	0,04	0,50	1,80	0,40	1,60
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	0,02	0,20	0,54	0,10	0,50
<i>Spondias purpurea</i> L.	0,03	0,30	0,47	0,10	0,20
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	0,00	0,00	0,17	0,00	0,10
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	0,04	0,50	1,70	0,30	1,10



Nome Científico	Área de Copa (ha)	Área de Copa (%)	Valor de Importância	Carbono Armazenado (tonelada métrica)	CO <sub>2</sub> Equivalente (tonelada métrica)
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0,08	0,90	3,60	0,80	2,90
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	0,01	0,10	2,00	0,10	0,20
<i>Terminalia catappa</i> L.	0,11	1,30	2,14	1,20	4,60
<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	0,01	0,10	0,27	0,00	0,00
<i>Yucca gigantea</i> Lem.	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	0,01	0,20	0,79	0,50	1,70
<i>Adenanthera pavonina</i> L.	0,03	0,60	0,89	0,20	0,70
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	0,10	2,20	3,40	1,10	4,10
<i>Annona squamosa</i> L.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Averrhoa carambola</i> L.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	0,05	1,10	1,54	0,40	1,30
<i>Bauhinia forficata</i> Link	0,03	0,70	6,90	0,80	2,90
<i>Bauhinia variegata</i> L.	0,02	0,40	4,40	0,50	1,90
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	0,00	0,10	0,25	0,00	0,00
<i>Carica papaya</i> L.	0,00	0,00	0,44	0,10	0,20
<i>Cassia fistula</i> L.	0,07	1,50	2,70	0,70	2,40
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	0,08	1,70	2,58	1,70	6,40
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	0,01	0,10	0,39	0,00	0,10
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	0,07	1,50	1,79	1,90	6,90
<i>Cocos nucifera</i> L.	0,00	0,10	0,39	0,10	0,20
<i>Cordia dichotoma</i> G.Forst	0,02	0,30	0,45	0,10	0,20
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	0,00	0,10	0,84	0,30	1,20
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	0,11	2,40	3,60	2,30	8,60
<i>Dyopsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	0,09	1,90	15,20	10,20	37,50
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,34	7,10	7,39	2,90	10,50
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	0,03	0,70	0,85	0,30	0,90

Nome Científico	Área de Copa (ha)	Área de Copa (%)	Valor de Importância	Carbono Armazenado (tonelada métrica)	CO <sub>2</sub> Equivalente (tonelada métrica)
<i>Ficus benjamina</i> L.	0,02	0,30	0,59	0,10	0,40
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	0,01	0,10	0,25	0,20	0,60
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,01	0,20	2,40	0,10	0,40
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0,00	0,00	0,29	0,00	0,10
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,12	2,40	11,10	2,30	8,60
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0,00	0,00	0,15	0,00	0,10
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	0,01	0,10	1,40	0,10	0,30
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Inga vera</i> Willd.	0,00	0,00	0,29	0,10	0,20
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	0,03	0,60	0,75	0,10	0,50
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	0,01	0,20	1,20	0,00	0,10
<i>Lagerstroemia speciosa</i> (L.) Pers.	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	0,01	0,20	0,64	0,10	0,30
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	0,00	0,10	0,25	0,30	1,00
<i>Malpighia emarginata</i> DC.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Mangifera indica</i> L.	0,92	19,30	22,80	12,80	47,10
<i>Melia azedarach</i> L.	0,01	0,10	0,69	0,10	0,30
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	2,09	43,80	74,40	52,00	190,80
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0,02	0,50	0,65	0,10	0,30
<i>Morus nigra</i> L.	0,00	0,00	0,44	0,00	0,10
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
<i>Nerium oleander</i> L.	0,01	0,10	0,98	0,00	0,00
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0,12	2,40	4,20	1,30	4,70
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	0,04	0,90	1,49	1,10	4,00
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	0,00	0,00	0,44	0,00	0,10
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	0,00	0,10	1,40	0,10	0,30

Nome Científico	Área de Copa (ha)	Área de Copa (%)	Valor de Importância	Carbono Armazenado (tonelada métrica)	CO <sub>2</sub> Equivalente (tonelada métrica)
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Plumeria pudica</i> Jacq.	0,00	0,00	0,74	0,10	0,30
<i>Plumeria rubra</i> L.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) Sweet	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Psidium guajava</i> L.	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	0,06	1,30	4,70	6,70	24,50
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	0,01	0,10	0,54	1,20	4,50
<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W.Grimes	0,03	0,60	0,89	0,40	1,30
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	0,00	0,10	0,39	0,00	0,00
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
<i>Swietenia macrophylla</i> King	0,03	0,70	0,85	0,40	1,40
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	0,02	0,30	1,90	0,10	0,50
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0,04	0,90	2,80	0,30	1,10
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
<i>Terminalia catappa</i> L.	0,03	0,70	1,14	1,10	4,10
<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K.Schum.	0,00	0,10	0,25	0,00	0,00
<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	0,04	0,80	0,95	0,80	2,80

**Apêndice F** – Estimativa anual dos serviços ecossistêmicos das espécies vegetais presentes na arborização urbana dos bairros Centro Norte (azul) e Centro Sul (laranja) da cidade de Cuiabá – Mato Grosso/Brasil. Onde: SBC = sequestro bruto de carbono; CO<sub>2</sub> Eq. = CO<sub>2</sub> equivalente; EP = Evapotranspiração Potencial; Água Intercep. = Água Interceptada; ESE = Escoamento Superficial Evitado.

Nome Científico	SBC (t/ano)	CO <sub>2</sub> Eq. (t/ano)	EP (m <sup>3</sup> /ano)	Água Intercep. (m <sup>3</sup> /ano)	ESE (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	0,11	0,40	20,63	2,14	0,44
<i>Aglaia odorata</i> Lour.	0,01	0,02	3,78	0,39	0,08
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	0,19	0,68	734,39	76,29	15,62
<i>Allamanda cathartica</i> L.	0,01	0,02	2,38	0,25	0,05
<i>Annona squamosa</i> L.	0,00	0,02	20,95	2,18	0,45
<i>Averrhoa carambola</i> L.	0,00	0,01	12,57	1,31	0,27
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	0,03	0,11	105,61	10,97	2,25
<i>Bauhinia forficata</i> Link	0,02	0,07	16,93	1,76	0,36
<i>Bauhinia variegata</i> L.	0,17	0,61	116,22	12,07	2,47
<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.	0,01	0,03	6,17	0,64	0,13
<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	0,00	0,01	8,76	0,91	0,19
<i>Cassia fistula</i> L.	0,09	0,34	171,66	17,83	3,65
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	0,00	0,01	4,67	0,49	0,10
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	0,03	0,10	151,28	15,71	3,22
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	0,27	0,98	550,25	57,16	11,70
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	0,00	0,02	9,44	0,98	0,20
<i>Cocos nucifera</i> L.	0,01	0,02	5,21	0,54	0,11
<i>Crescentia cujete</i> L.	0,00	0,00	2,80	0,29	0,06
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	0,01	0,04	13,84	1,44	0,29
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	0,04	0,14	75,92	7,89	1,61
<i>Dillenia indica</i> L.	0,01	0,03	9,32	0,97	0,20
<i>Dyopsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	0,02	0,07	24,33	2,53	0,52
<i>Dyopsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	0,02	0,08	13,07	1,36	0,28

Nome Científico	SBC (t/ano)	CO <sub>2</sub> Eq. (t/ano)	EP (m <sup>3</sup> /ano)	Água Intercep. (m <sup>3</sup> /ano)	ESE (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,02	0,07	419,30	43,56	8,92
<i>Ficus benjamina</i> L.	0,04	0,14	117,57	12,21	2,50
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,03	0,11	22,35	2,32	0,48
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0,02	0,07	5,05	0,53	0,11
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,64	2,35	912,05	94,74	19,40
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0,01	0,02	7,65	0,79	0,16
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	0,04	0,13	23,38	2,43	0,50
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	0,01	0,03	49,84	5,18	1,06
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	0,00	0,00	1,31	0,14	0,03
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	0,10	0,35	147,79	15,35	3,14
<i>Mangifera indica</i> L.	0,20	0,75	973,59	101,14	20,71
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	3,29	12,06	10930,15	1135,41	232,45
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0,01	0,03	41,97	4,36	0,89
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	0,00	0,00	1,04	0,11	0,02
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0,01	0,03	18,17	1,89	0,39
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	0,05	0,19	89,61	9,31	1,91
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	0,01	0,02	9,00	0,93	0,19
<i>Plumeria rubra</i> L.	0,00	0,02	22,57	2,34	0,48
<i>Polyscias guilfoylei</i> (W.Bull) L.H.Bailey	0,00	0,00	0,36	0,04	0,01
<i>Psidium guajava</i> L.	0,00	0,01	3,74	0,39	0,08
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	0,74	2,70	154,96	16,10	3,30
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	0,78	2,84	195,63	20,32	4,16
<i>Sapindus saponaria</i> L.	0,04	0,15	81,25	8,44	1,73
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	0,01	0,04	30,32	3,15	0,64
<i>Spondias purpurea</i> L.	0,01	0,02	52,85	5,49	1,12
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	0,00	0,01	1,08	0,11	0,02
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	0,03	0,11	82,70	8,59	1,76

Nome Científico	SBC (t/ano)	CO <sub>2</sub> Eq. (t/ano)	EP (m <sup>3</sup> /ano)	Água Intercep. (m <sup>3</sup> /ano)	ESE (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0,09	0,33	151,97	15,79	3,23
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	0,01	0,04	16,62	1,73	0,35
<i>Terminalia catappa</i> L.	0,08	0,31	218,60	22,71	4,65
<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	0,00	0,01	24,36	2,53	0,52
<i>Yucca gigantea</i> Lem.	0,00	0,02	1,17	0,12	0,02
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	0,04	0,16	17,74	1,73	0,35
<i>Adenantha pavonina</i> L.	0,02	0,07	63,69	6,21	1,27
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	0,08	0,30	225,81	22,00	4,49
<i>Annona squamosa</i> L.	0,00	0,00	3,00	0,29	0,06
<i>Averrhoa carambola</i> L.	0,00	0,00	0,73	0,07	0,01
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	0,03	0,12	111,56	10,87	2,22
<i>Bauhinia forficata</i> Link	0,10	0,36	69,69	6,79	1,39
<i>Bauhinia variegata</i> L.	0,09	0,35	40,53	3,95	0,81
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	0,00	0,01	6,03	0,59	0,12
<i>Carica papaya</i> L.	0,01	0,05	4,08	0,40	0,08
<i>Cassia fistula</i> L.	0,08	0,28	154,42	15,05	3,07
<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	0,09	0,34	172,56	16,81	3,43
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	0,00	0,00	0,53	0,05	0,01
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	0,01	0,02	14,54	1,42	0,29
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	0,00	0,01	161,23	15,71	3,21
<i>Cocos nucifera</i> L.	0,01	0,03	8,13	0,79	0,16
<i>Cordia dichotoma</i> G.Forst	0,00	0,01	32,93	3,21	0,66
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	0,01	0,05	8,22	0,80	0,16
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	0,12	0,42	246,99	24,07	4,91
<i>Dyopsis decaryi</i> (Jum.) Beentje & J.Dransf.	0,75	2,74	201,59	19,64	4,01
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,04	0,14	739,42	72,05	14,71
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	0,00	0,00	69,04	6,73	1,37

Nome Científico	SBC (t/ano)	CO <sub>2</sub> Eq. (t/ano)	EP (m <sup>3</sup> /ano)	Água Intercep. (m <sup>3</sup> /ano)	ESE (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Ficus benjamina</i> L.	0,01	0,04	34,29	3,34	0,68
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	0,00	0,00	12,13	1,18	0,24
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0,00	0,00	0,82	0,08	0,02
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,03	0,11	23,75	2,31	0,47
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0,01	0,02	5,04	0,49	0,10
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,24	0,88	253,83	24,73	5,05
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0,00	0,01	2,97	0,29	0,06
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	0,02	0,07	13,95	1,36	0,28
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	0,00	0,00	2,62	0,25	0,05
<i>Inga vera</i> Willd.	0,01	0,03	4,96	0,48	0,10
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	0,01	0,04	66,05	6,44	1,31
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	0,01	0,02	17,35	1,69	0,35
<i>Lagerstroemia speciosa</i> (L.) Pers.	0,00	0,01	3,40	0,33	0,07
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	0,01	0,05	16,12	1,57	0,32
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	0,00	0,01	5,37	0,52	0,11
<i>Malpighia emarginata</i> DC.	0,00	0,00	2,33	0,23	0,05
<i>Mangifera indica</i> L.	0,46	1,69	2017,89	196,62	40,15
<i>Melia azedarach</i> L.	0,01	0,05	13,37	1,30	0,27
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	2,06	7,56	4568,52	445,15	90,90
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0,00	0,02	48,15	4,69	0,96
<i>Morus nigra</i> L.	0,00	0,02	3,86	0,38	0,08
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	0,00	0,01	1,99	0,19	0,04
<i>Nerium oleander</i> L.	0,01	0,02	13,33	1,30	0,27
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0,07	0,25	252,86	24,64	5,03
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	0,05	0,20	91,09	8,88	1,81
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	0,00	0,01	1,40	0,14	0,03
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	0,01	0,03	10,65	1,04	0,21

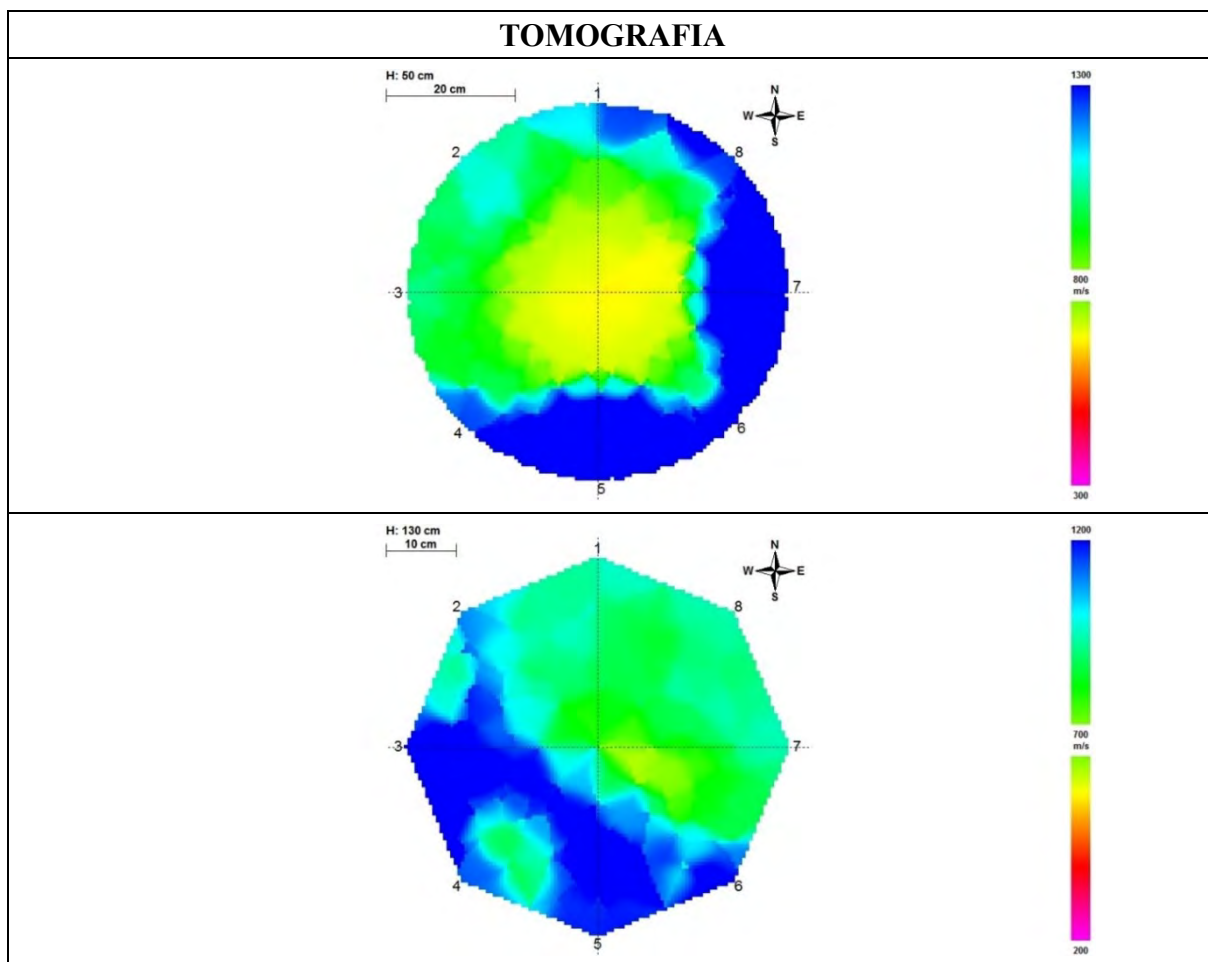
Nome Científico	SBC (t/ano)	CO <sub>2</sub> Eq. (t/ano)	EP (m <sup>3</sup> /ano)	Água Intercep. (m <sup>3</sup> /ano)	ESE (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,00	0,00	0,40	0,04	0,01
<i>Plumeria pudica</i> Jacq.	0,01	0,02	3,23	0,31	0,06
<i>Plumeria rubra</i> L.	0,00	0,00	1,48	0,14	0,03
<i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) Sweet	0,00	0,00	0,57	0,06	0,01
<i>Psidium guajava</i> L.	0,00	0,01	3,46	0,34	0,07
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	0,53	1,93	139,55	13,60	2,78
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	0,09	0,33	11,51	1,12	0,23
<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W.Grimes	0,02	0,07	65,67	6,40	1,31
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	0,00	0,01	9,84	0,96	0,20
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	0,00	0,00	1,16	0,11	0,02
<i>Swietenia macrophylla</i> King	0,02	0,08	74,41	7,25	1,48
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	0,02	0,07	33,35	3,25	0,66
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0,05	0,18	89,05	8,68	1,77
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	0,00	0,01	3,70	0,36	0,07
<i>Terminalia catappa</i> L.	0,06	0,20	71,41	6,96	1,42
<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K.Schum.	0,00	0,01	5,51	0,54	0,11
<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	0,00	0,00	83,49	8,13	1,66



**Apêndice G** – Análise visual da copa, tronco e sistema radicular, tomografia acústica e, quando necessário, Resistografia para árvores urbanas históricas de *Eucalyptus robusta* Sm.



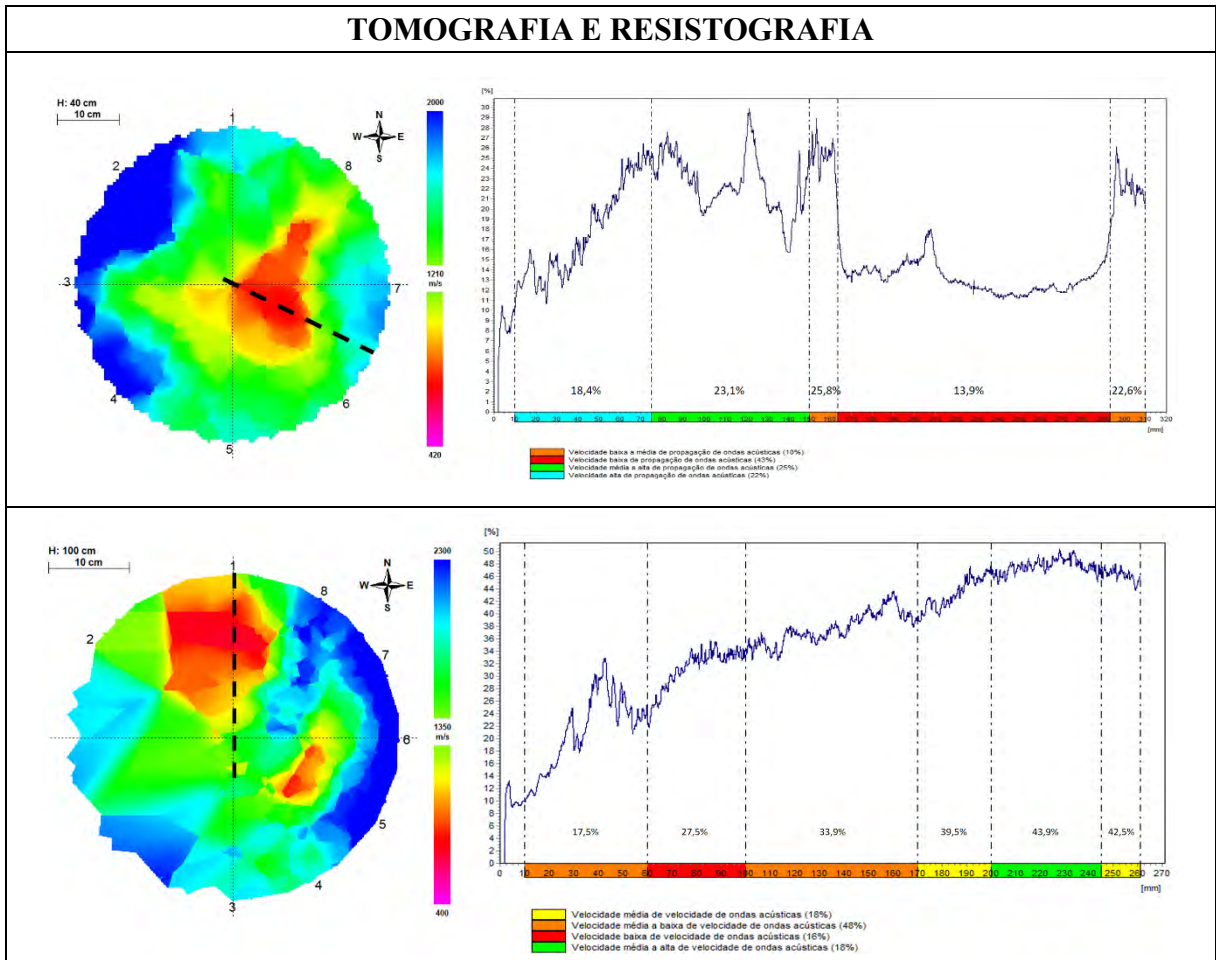
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	1
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	55,39
Diâmetro de copa (m):	12,2
Altura total (m):	20,4
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,7
Data da avaliação:	25/11/2019



OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste sem lesão aparente.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	2
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	47,75
Diâmetro de copa (m):	6,5
Altura total (m):	10,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,3
Data da avaliação:	25/11/2019

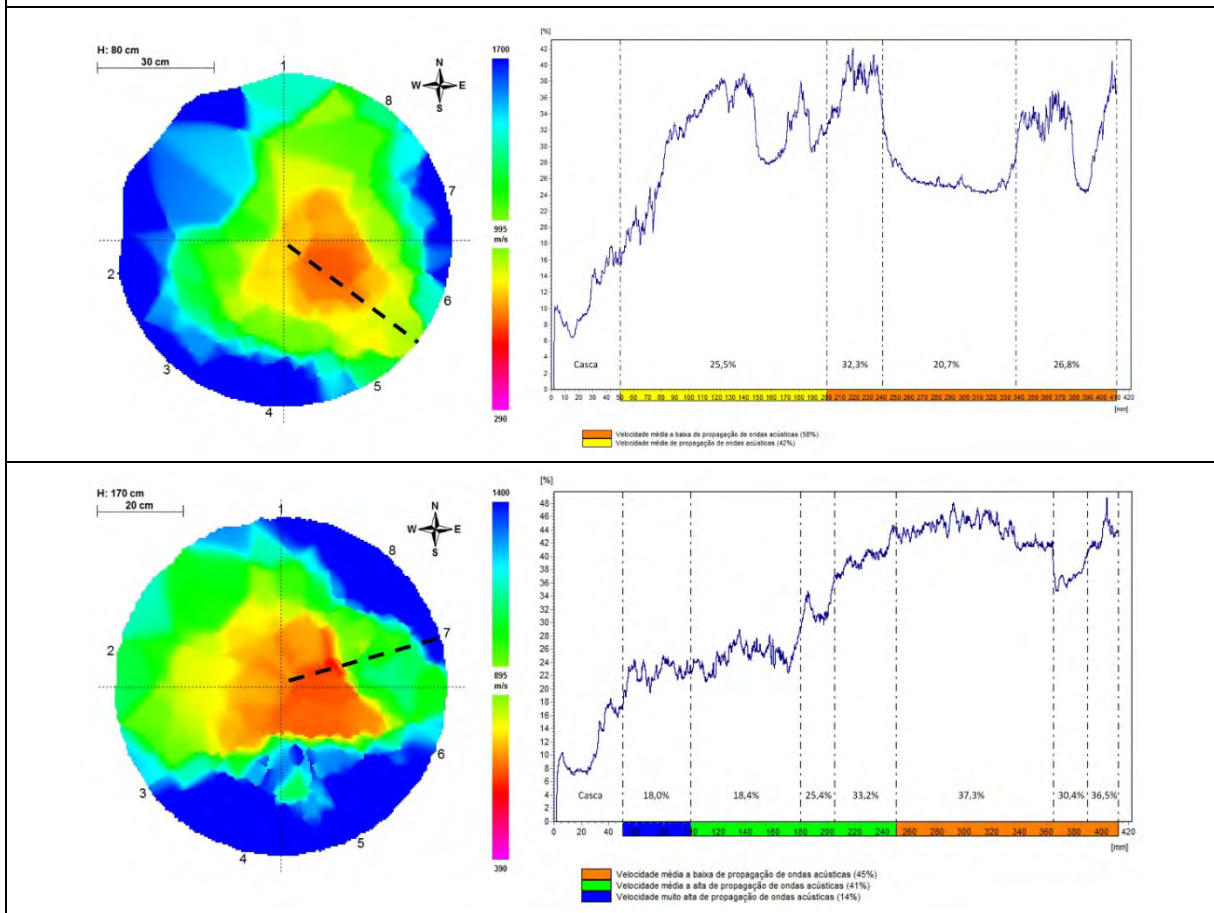


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	3
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	76,39
Diâmetro de copa (m):	10,95
Altura total (m):	13,1
Altura até a 1ª ramificação (m):	3
Data da avaliação:	25/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



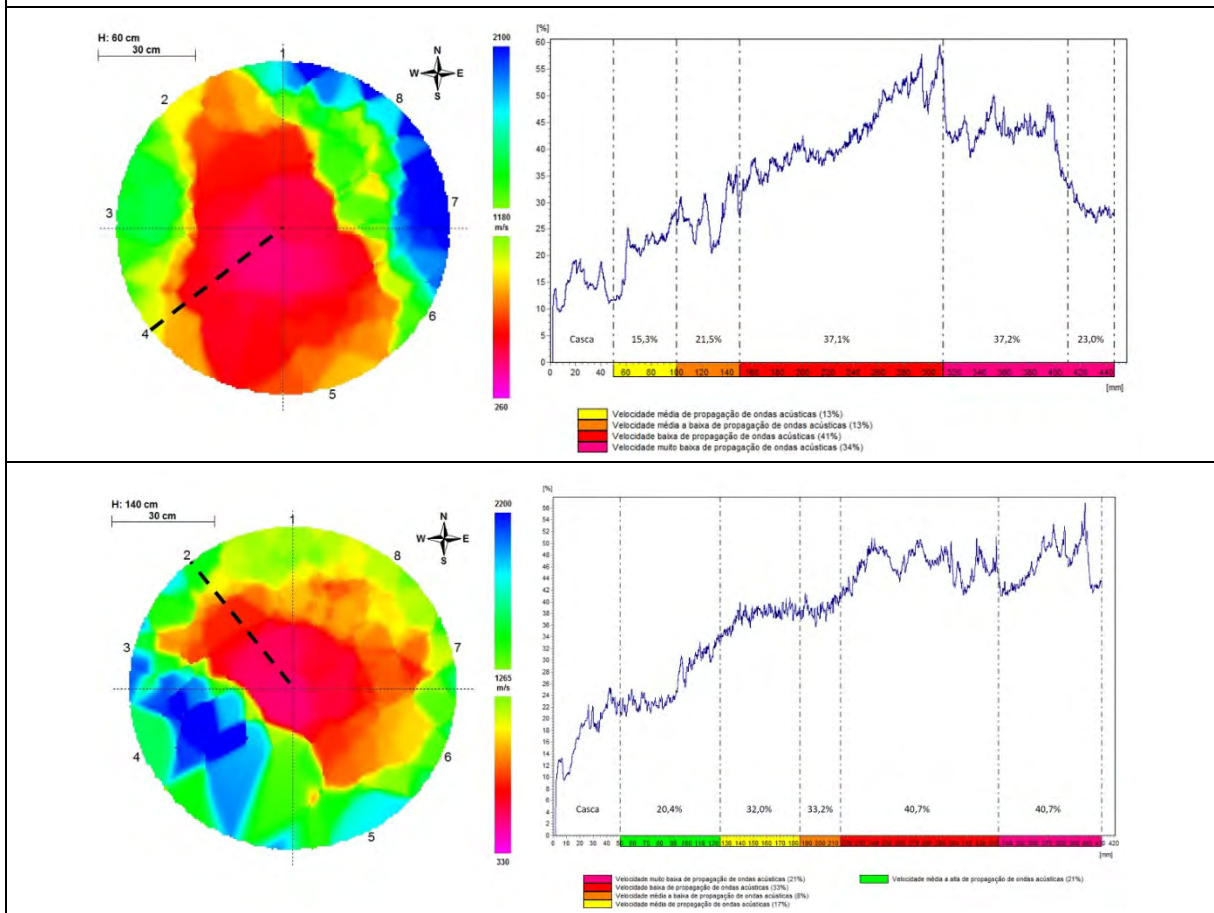
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	4
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	97,08
Diâmetro de copa (m):	12
Altura total (m):	20,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	1,8
Data da avaliação:	25/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



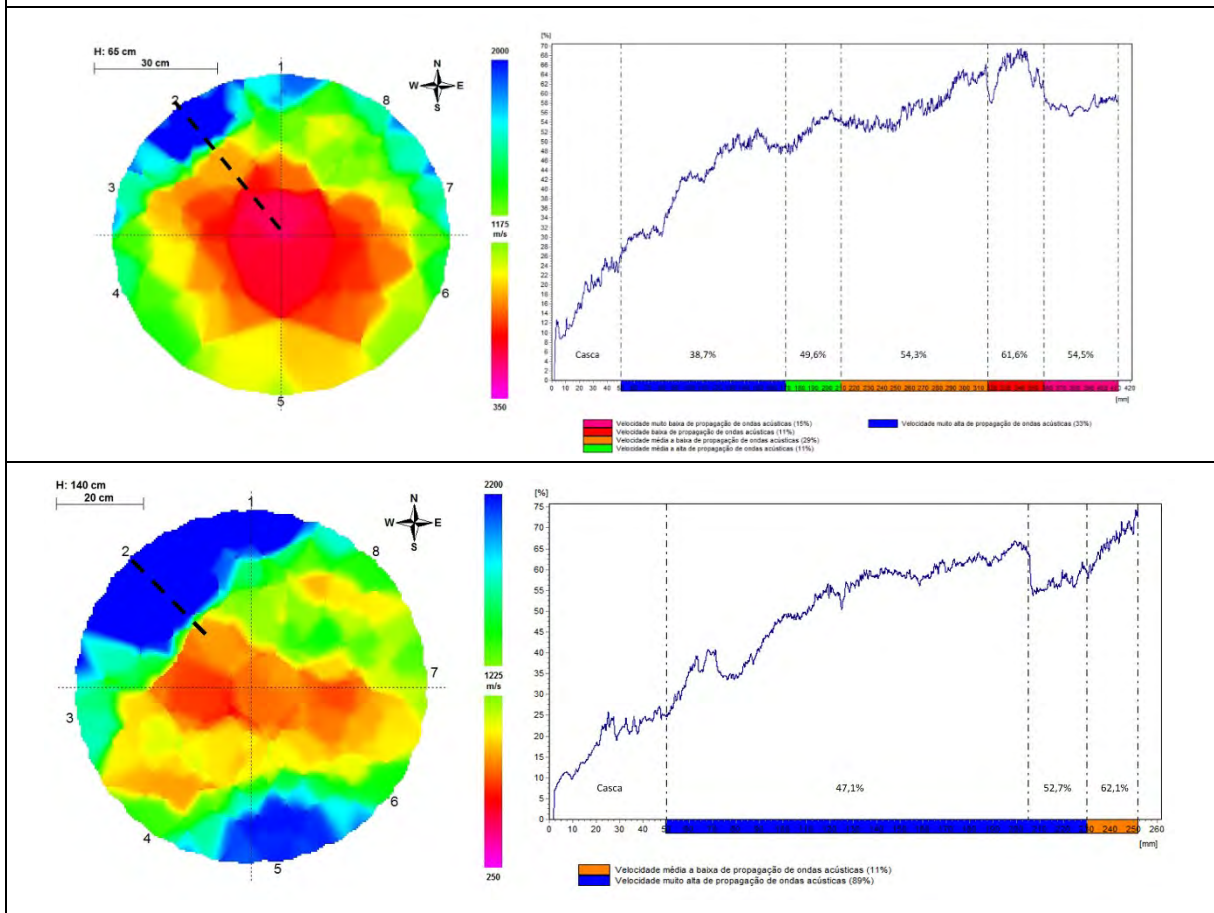
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de podridão; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	5
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	76,39
Diâmetro de copa (m):	8,25
Altura total (m):	17,4
Altura até a 1ª ramificação (m):	7,1
Data da avaliação:	25/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



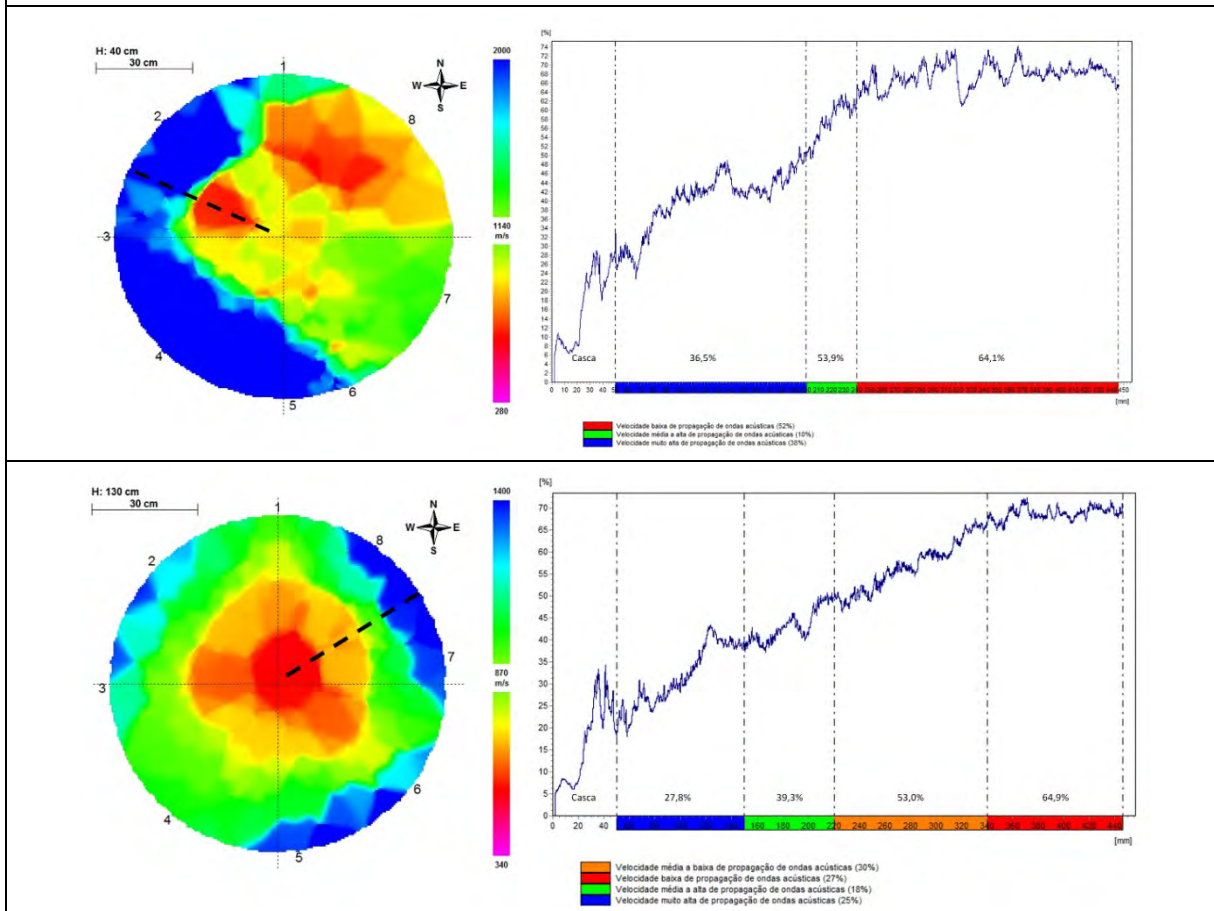
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	6
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	95,49
Diâmetro de copa (m):	17,5
Altura total (m):	34,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	5
Data da avaliação:	25/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

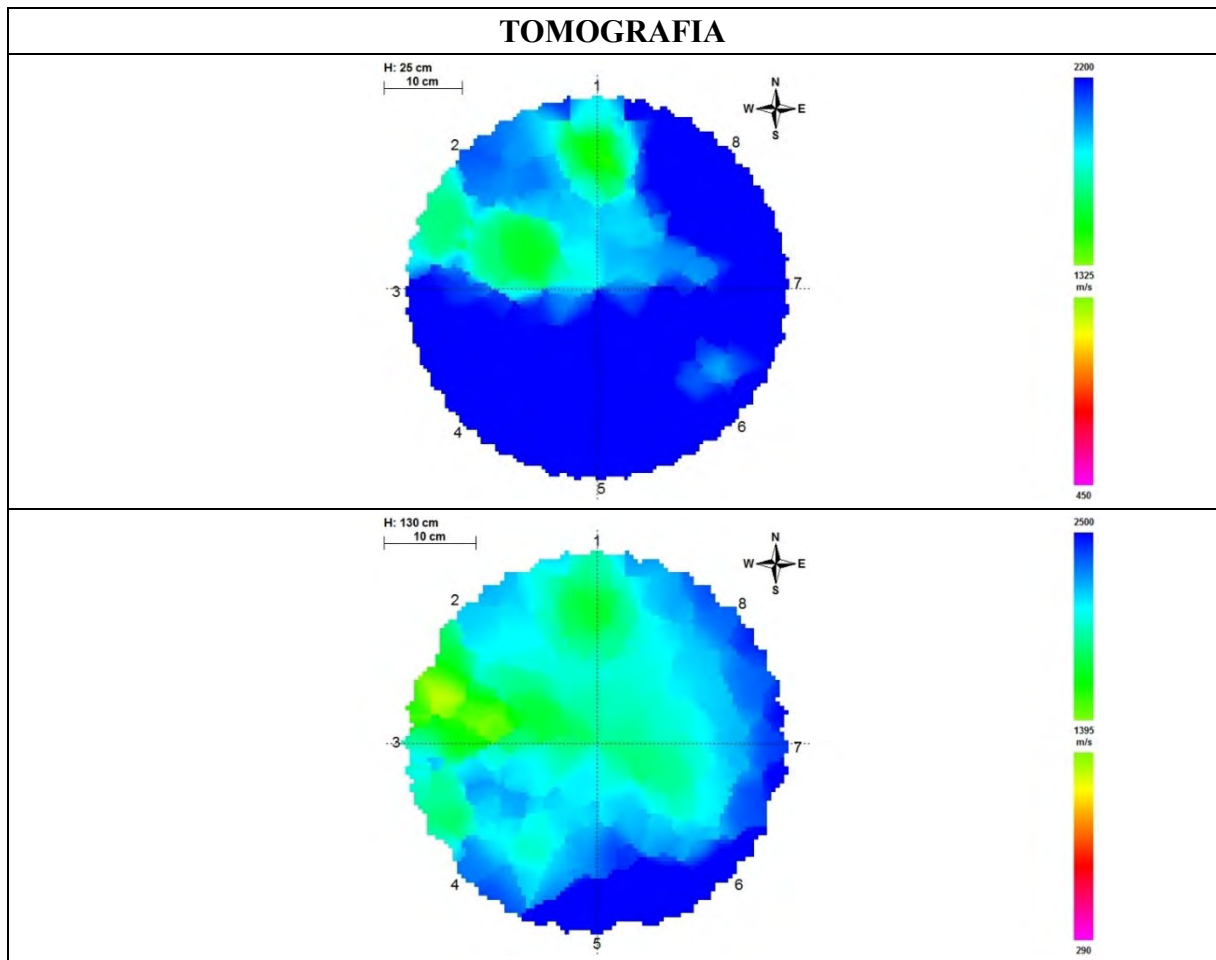


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	7
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	42,65
Diâmetro de copa (m):	13,8
Altura total (m):	19,8
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,1
Data da avaliação:	26/11/2019

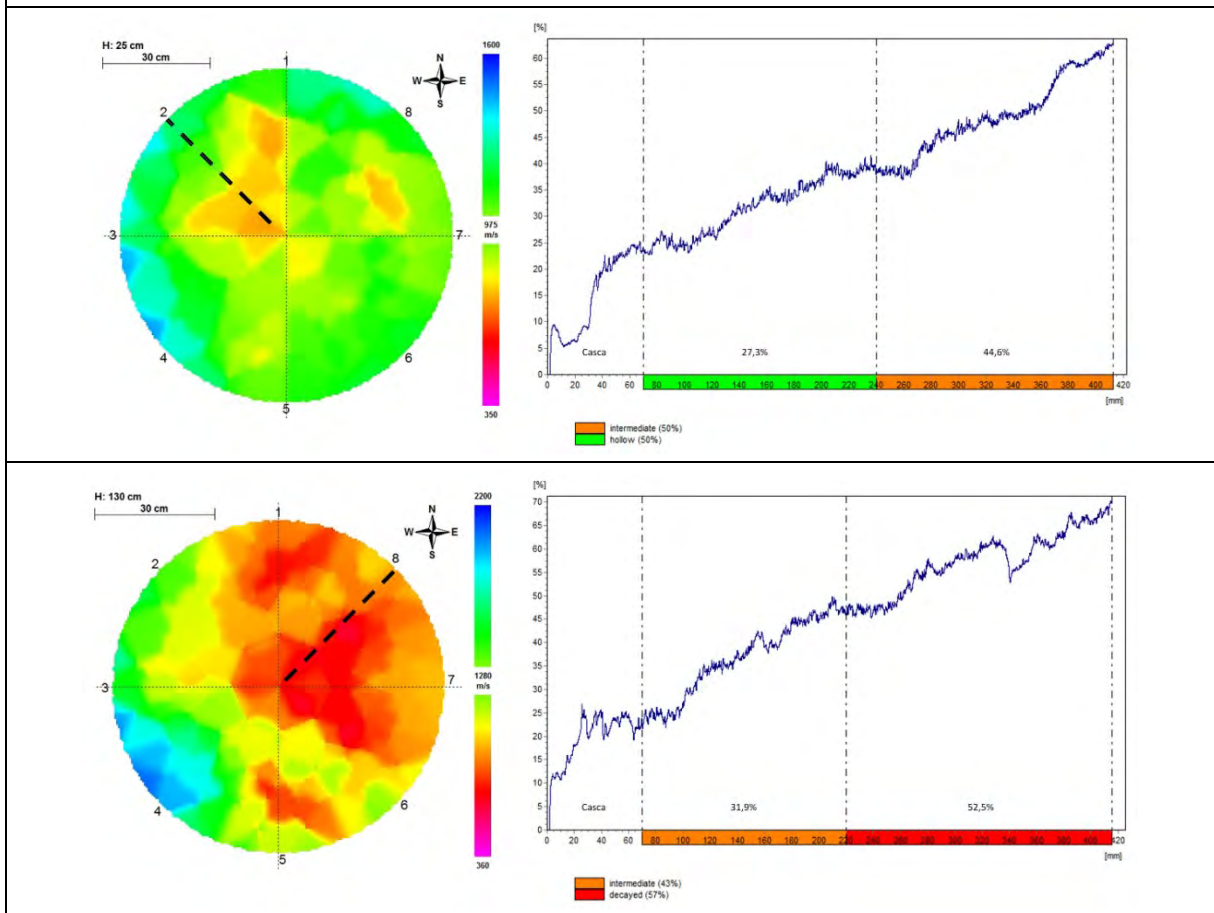


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	8
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	84,35
Diâmetro de copa (m):	13,8
Altura total (m):	26,6
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,1
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



### OBSERVAÇÕES VISUAIS

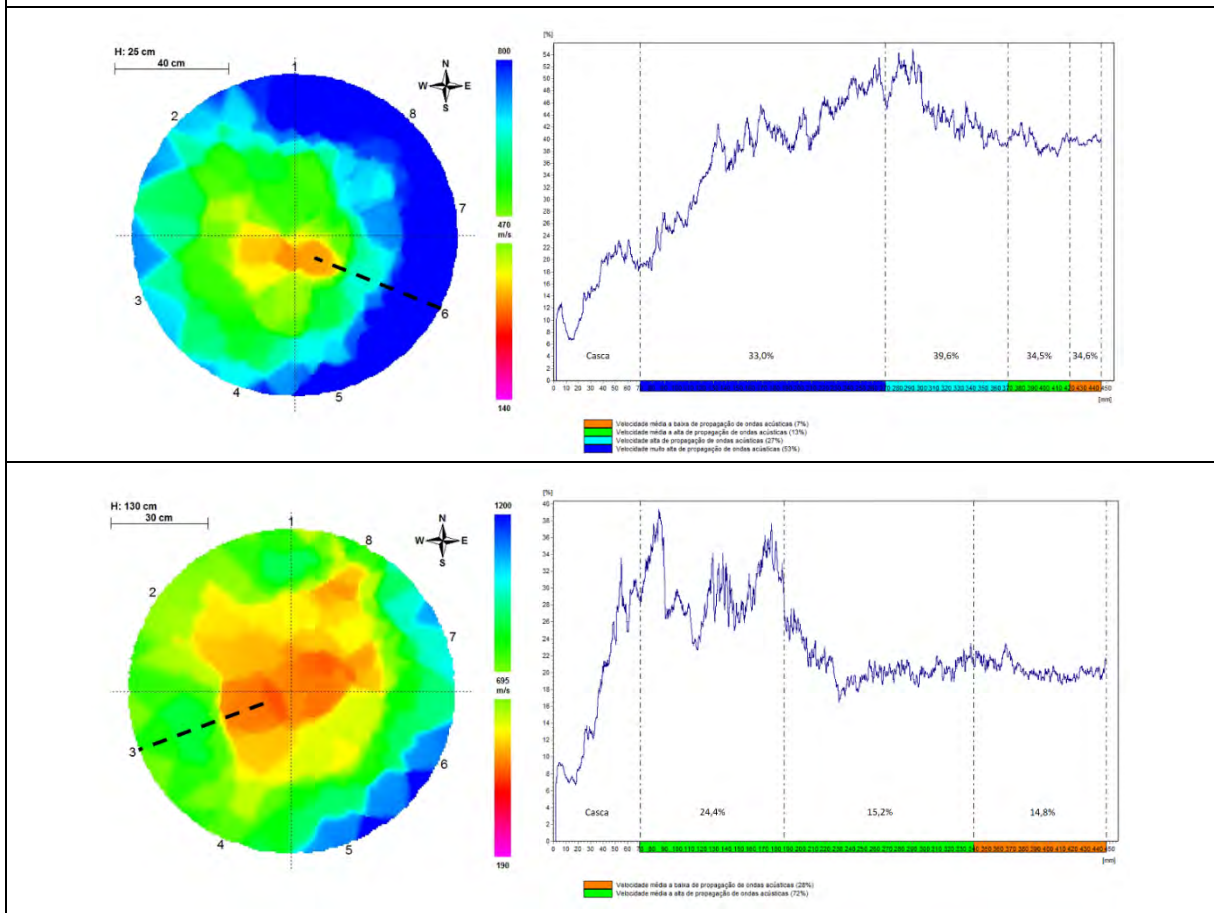
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.





IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	9
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	100,27
Diâmetro de copa (m):	9,75
Altura total (m):	26,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	2,4
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



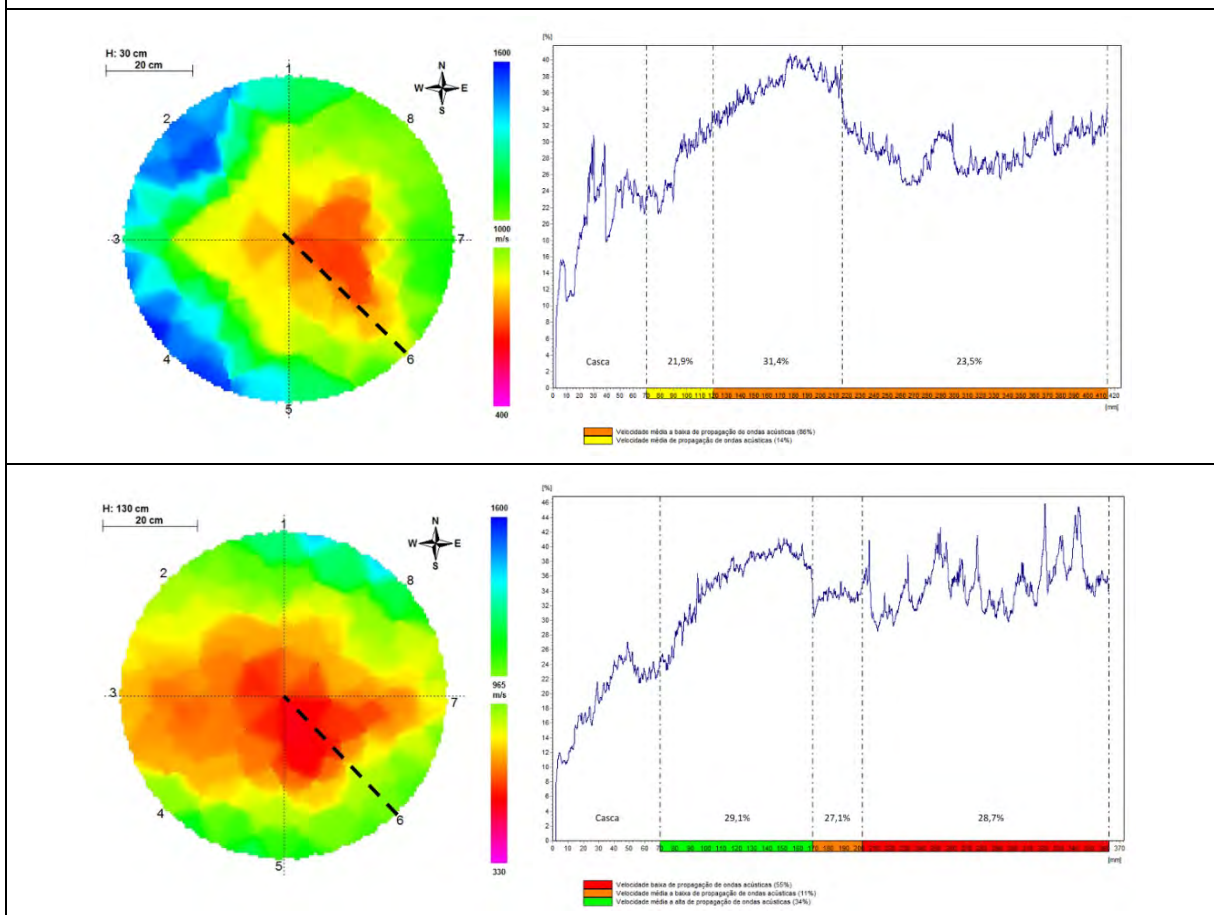
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	10
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	69,07
Diâmetro de copa (m):	13,95
Altura total (m):	21,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	5
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



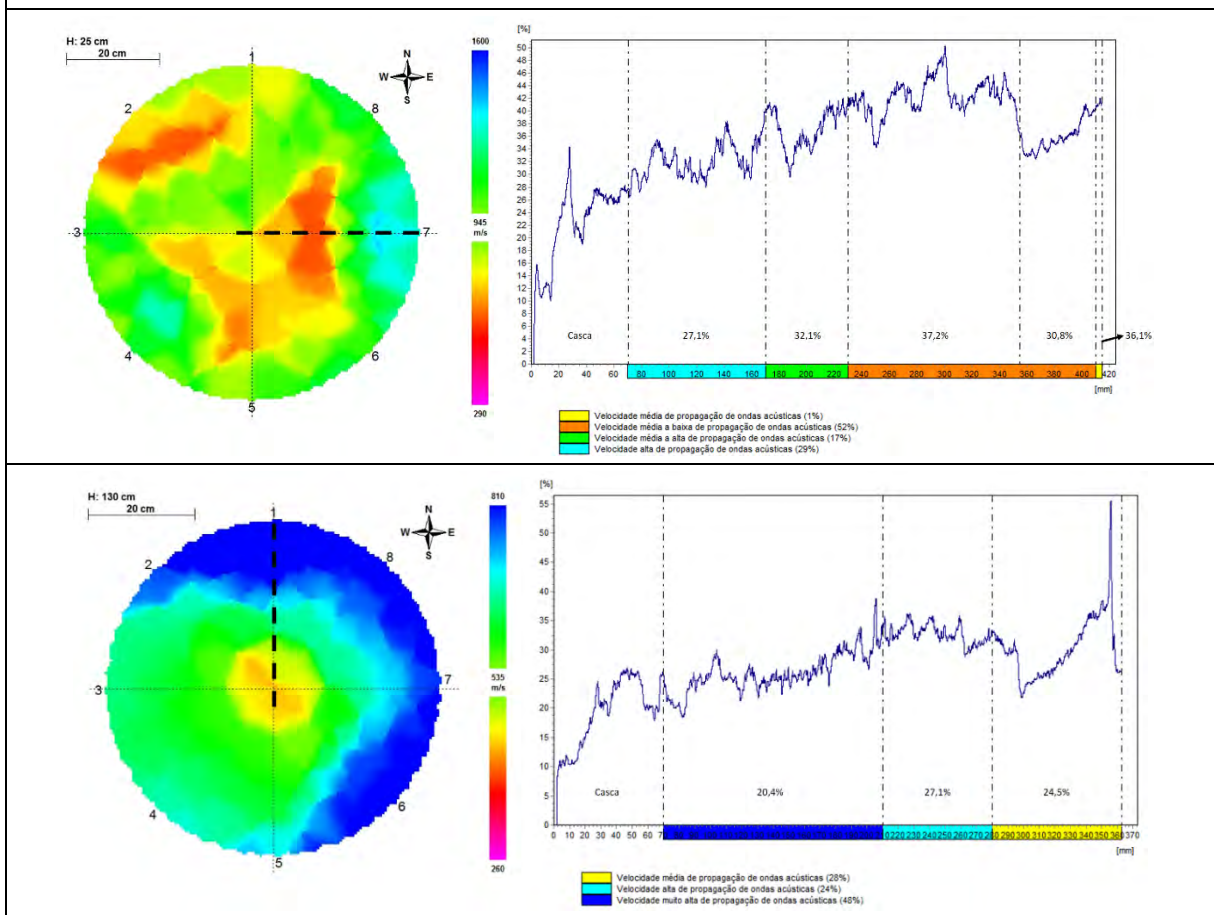
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	11
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	62,39
Diâmetro de copa (m):	12,35
Altura total (m):	20,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	5
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



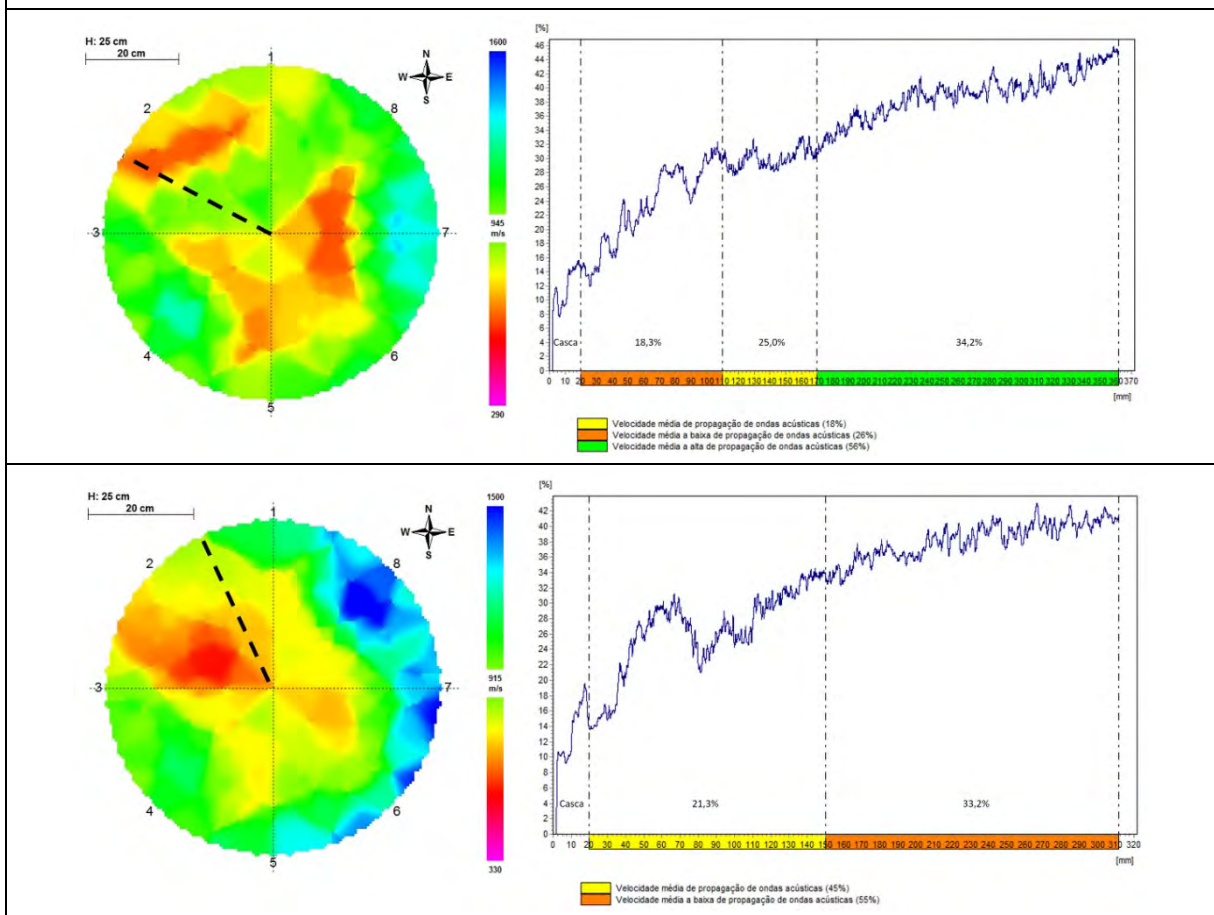
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	12
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	54,11
Diâmetro de copa (m):	9
Altura total (m):	11,2
Altura até a 1ª ramificação (m):	2,6
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



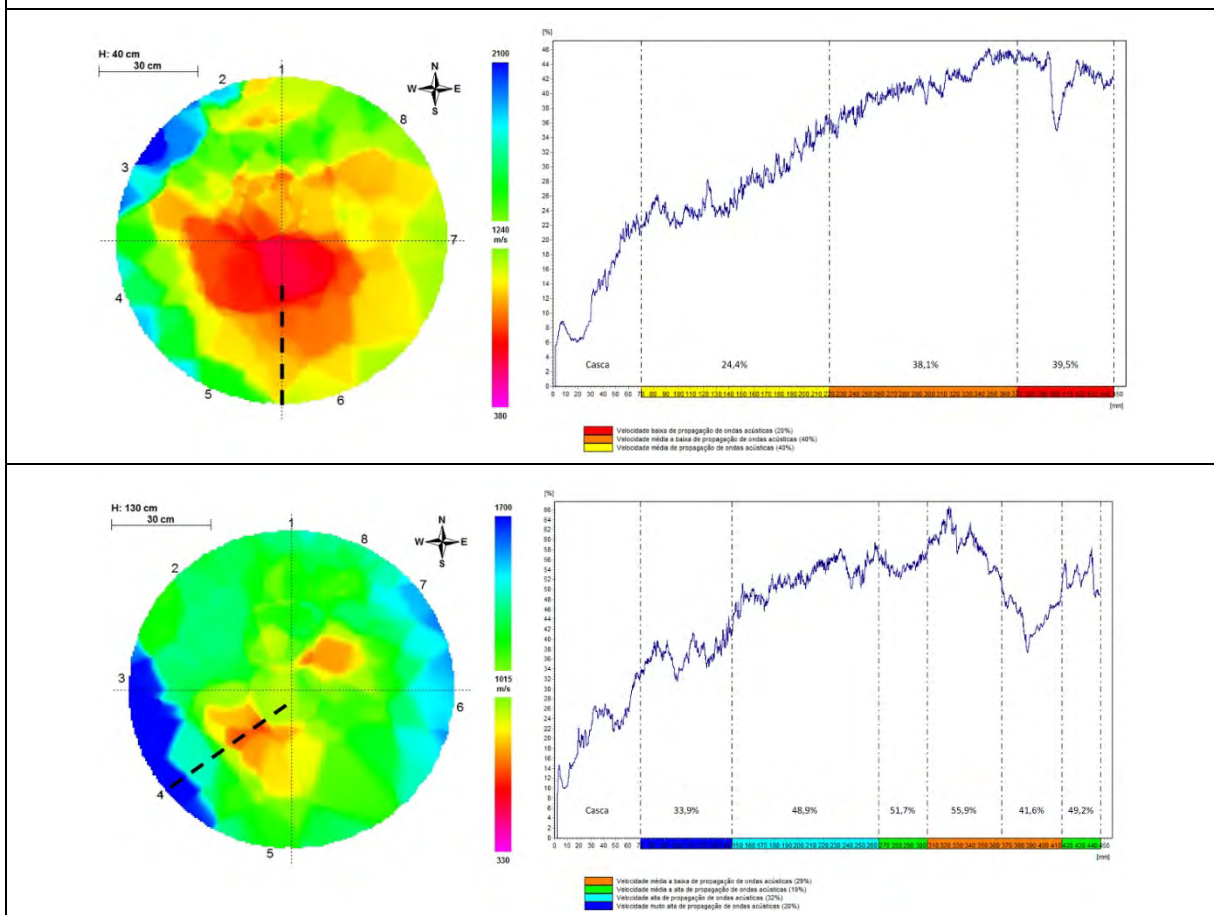
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	13
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	92,31
Diâmetro de copa (m):	9,75
Altura total (m):	24,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	1,9
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

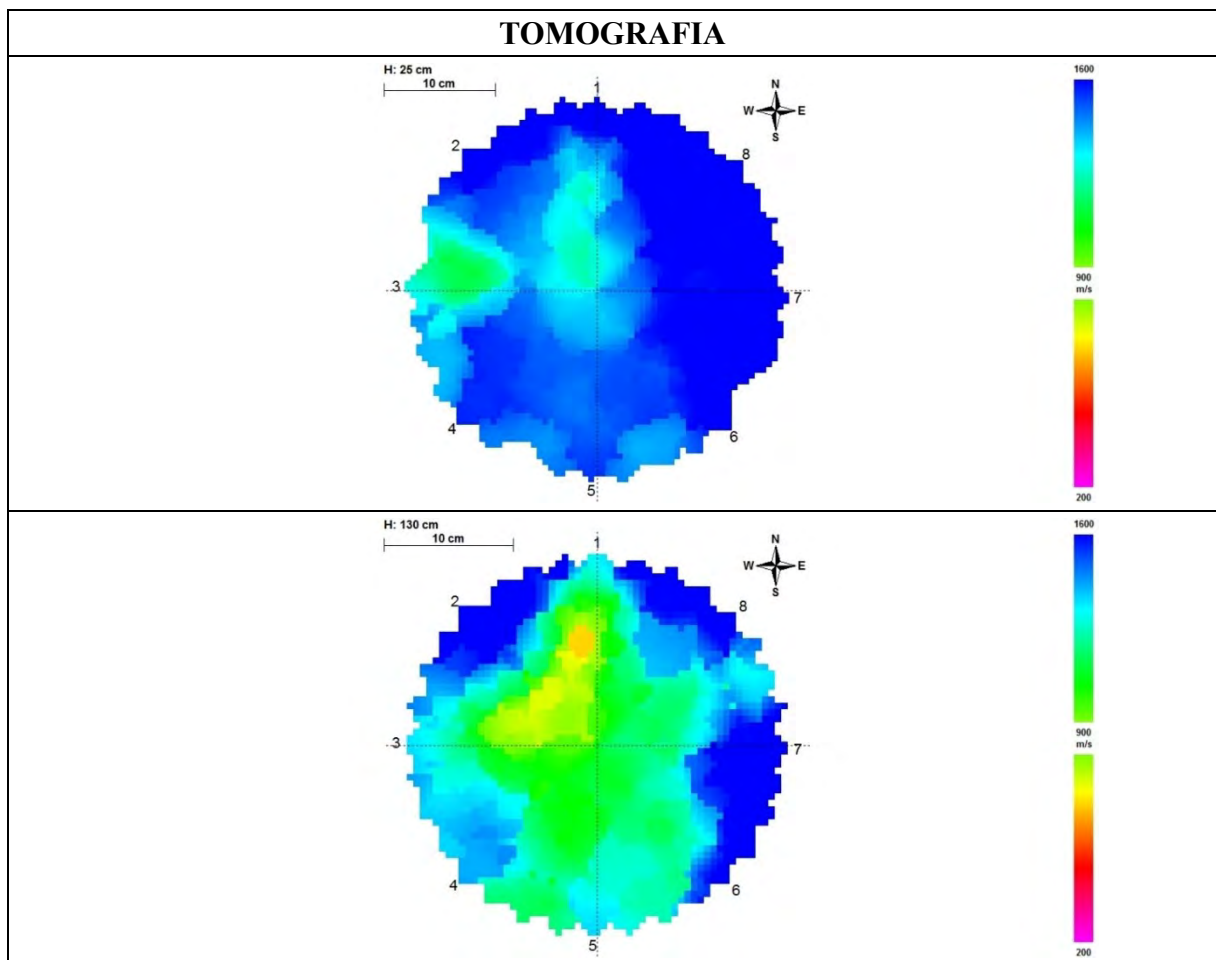


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; má cicatrização de podas anteriores.



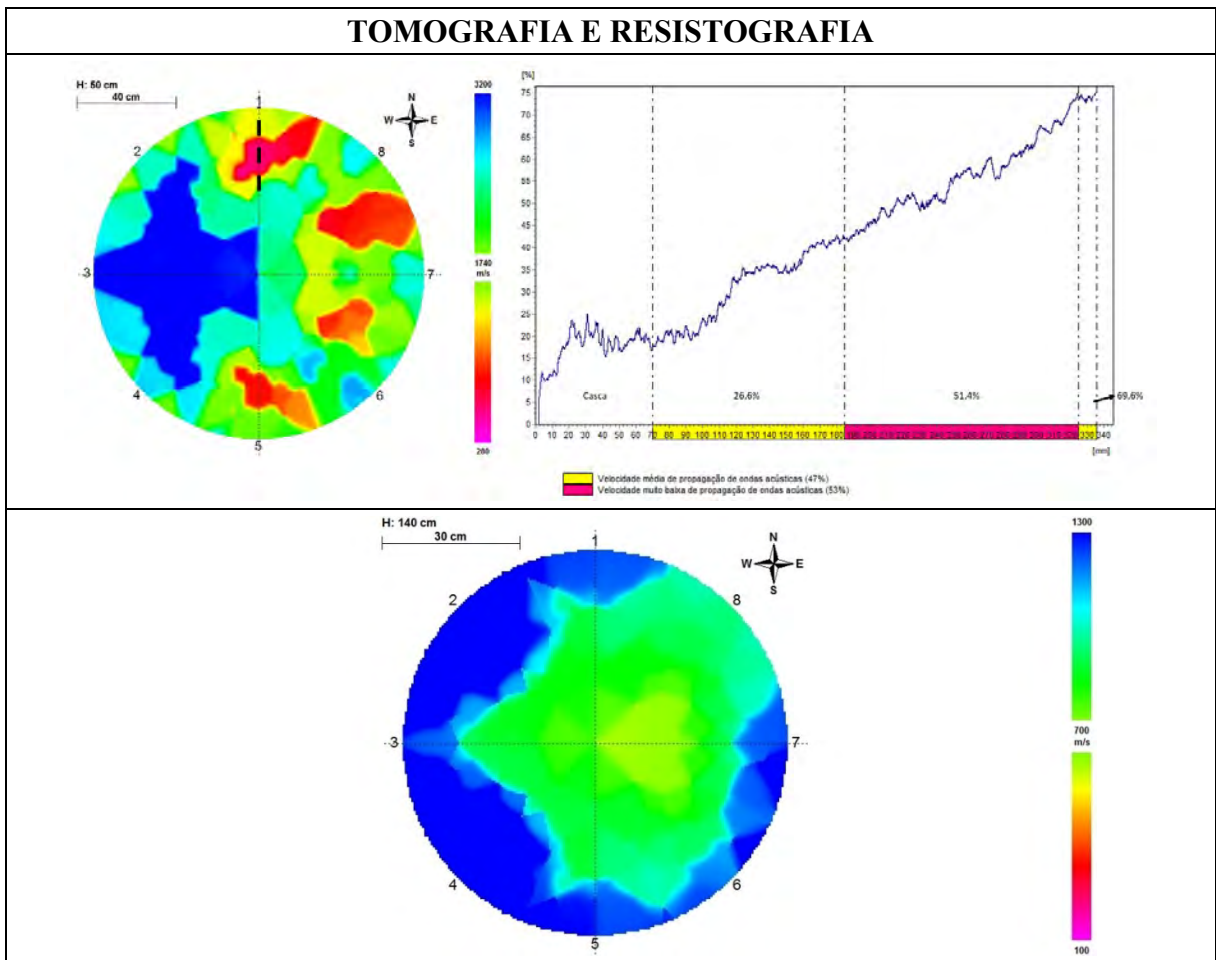
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	14
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	30,24
Diâmetro de copa (m):	12,3
Altura total (m):	18,2
Altura até a 1ª ramificação (m):	2,4
Data da avaliação:	17/12/2019



OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco com presença de galerias e podridão; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	15
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	56,02
Diâmetro de copa (m):	10,95
Altura total (m):	19
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,4
Data da avaliação:	26/11/2019

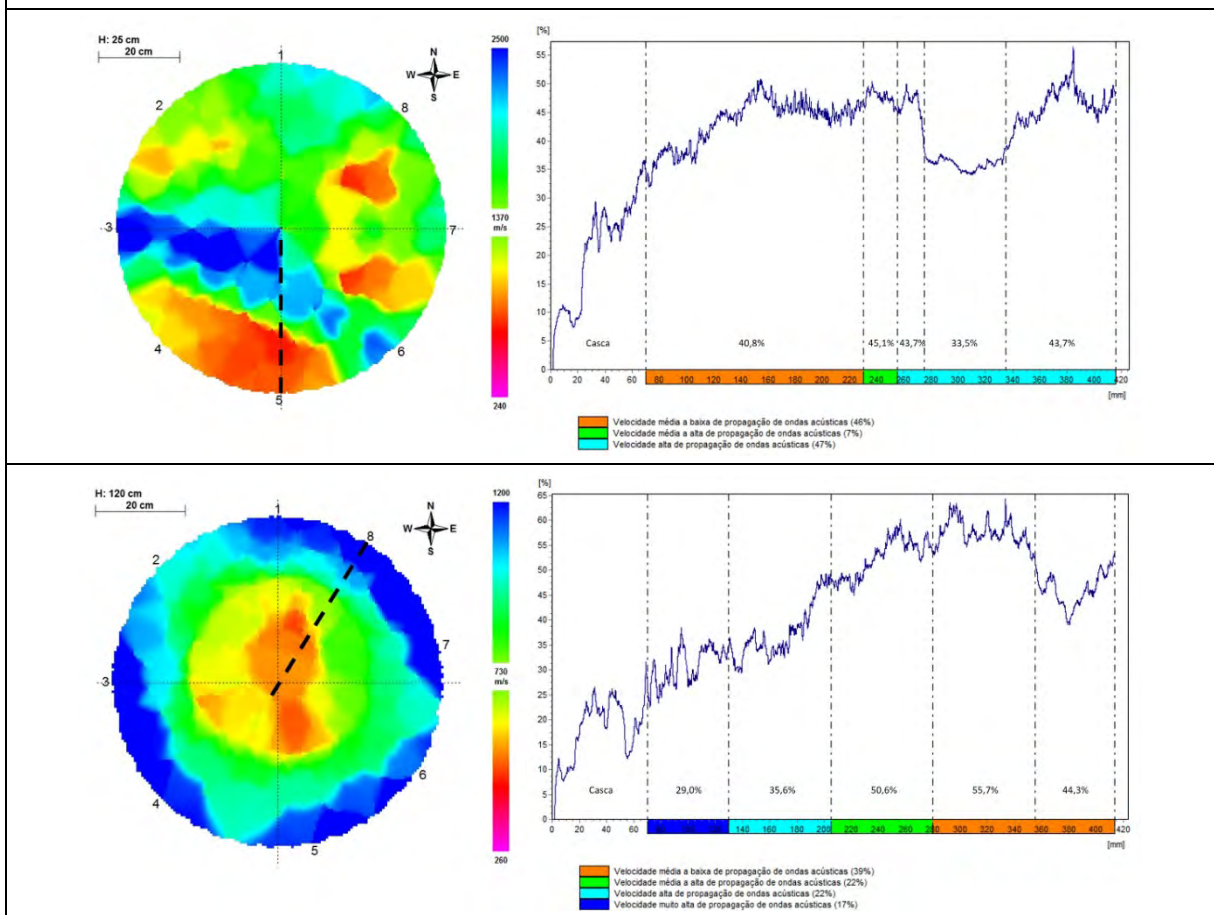


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	16
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	76,39
Diâmetro de copa (m):	12,45
Altura total (m):	20,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,6
Data da avaliação:	26/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



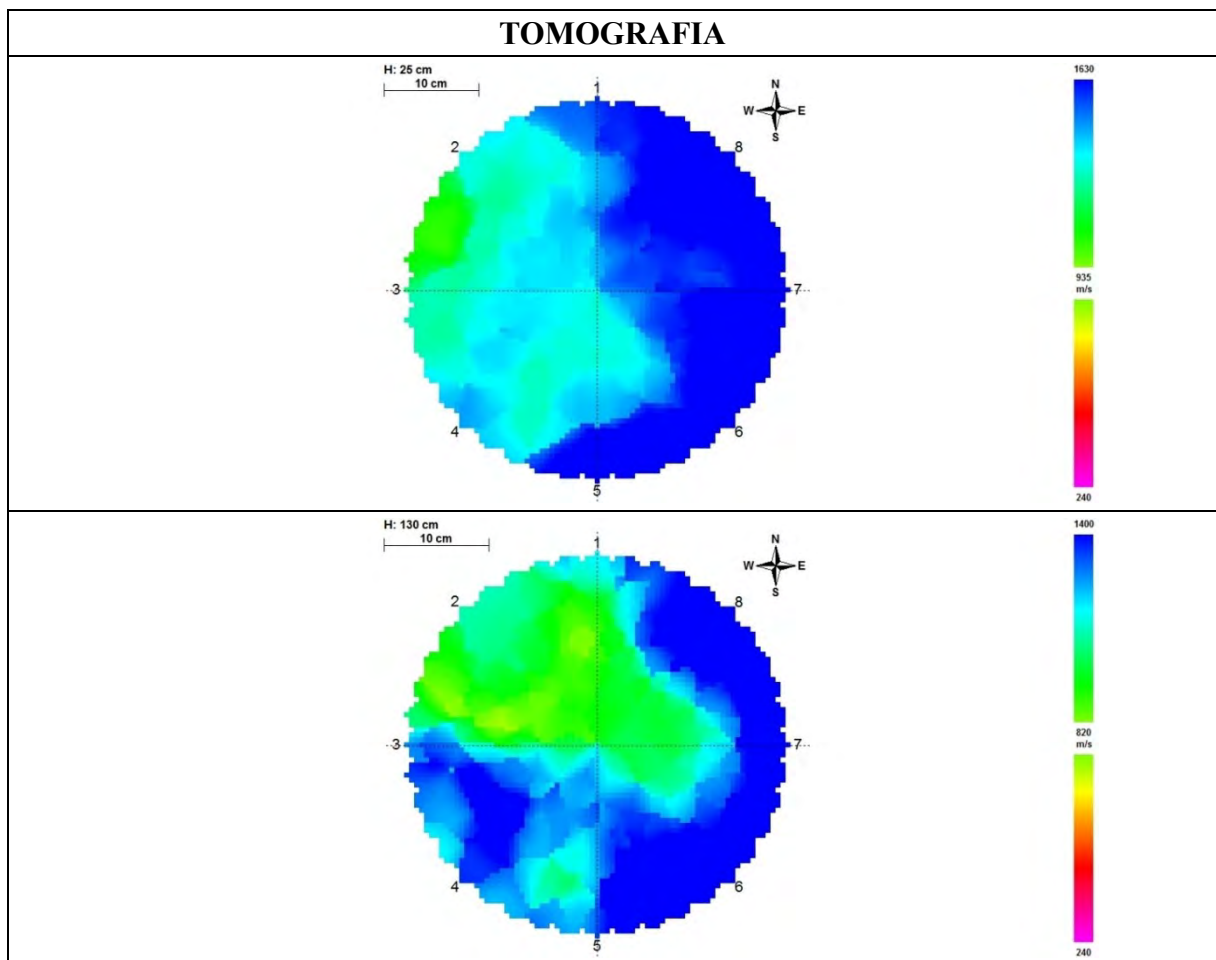
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; má cicatrização de podas anteriores.





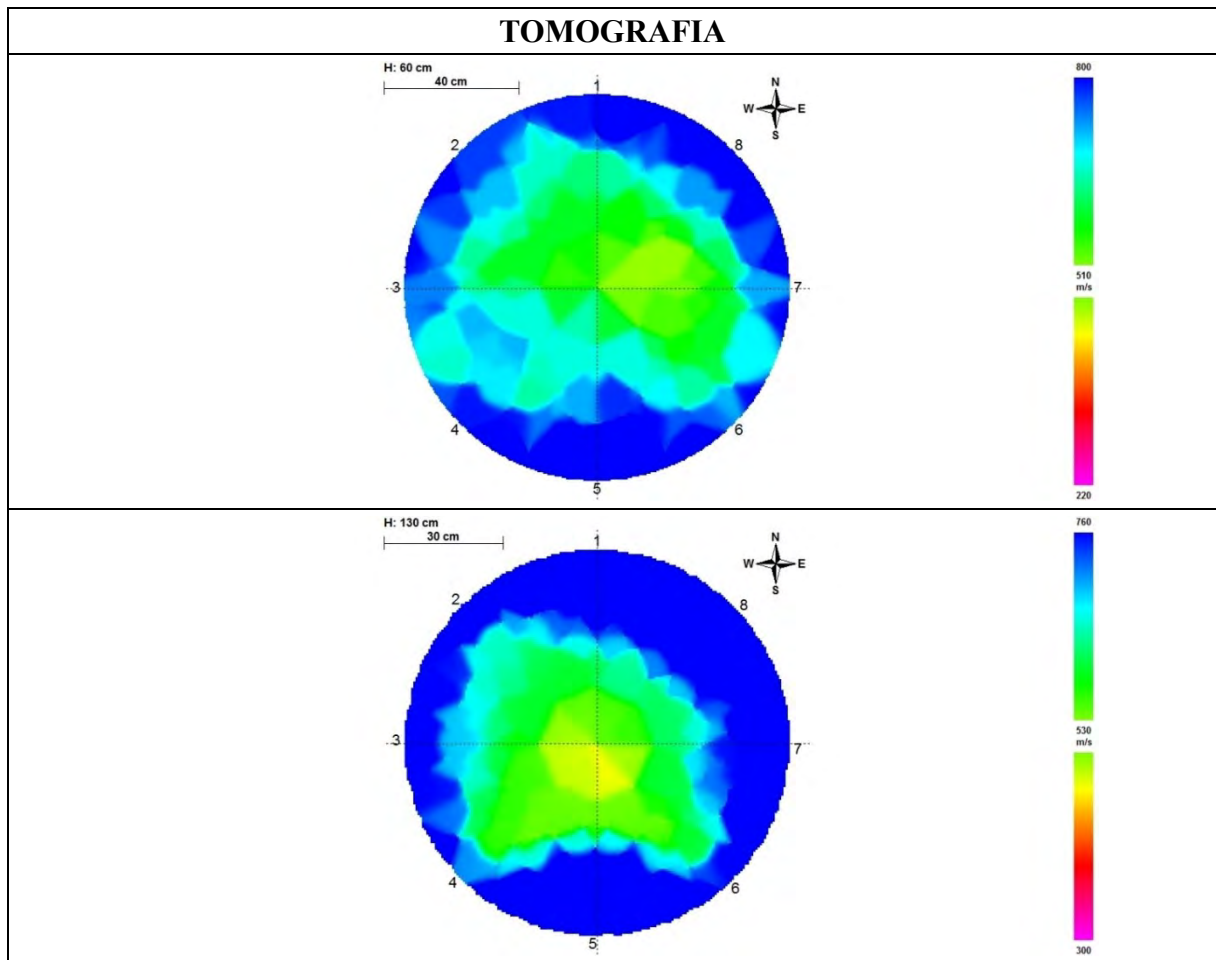
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	17
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	37,56
Diâmetro de copa (m):	10,25
Altura total (m):	15,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,8
Data da avaliação:	26/11/2019



OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; má cicatrização de podas anteriores.



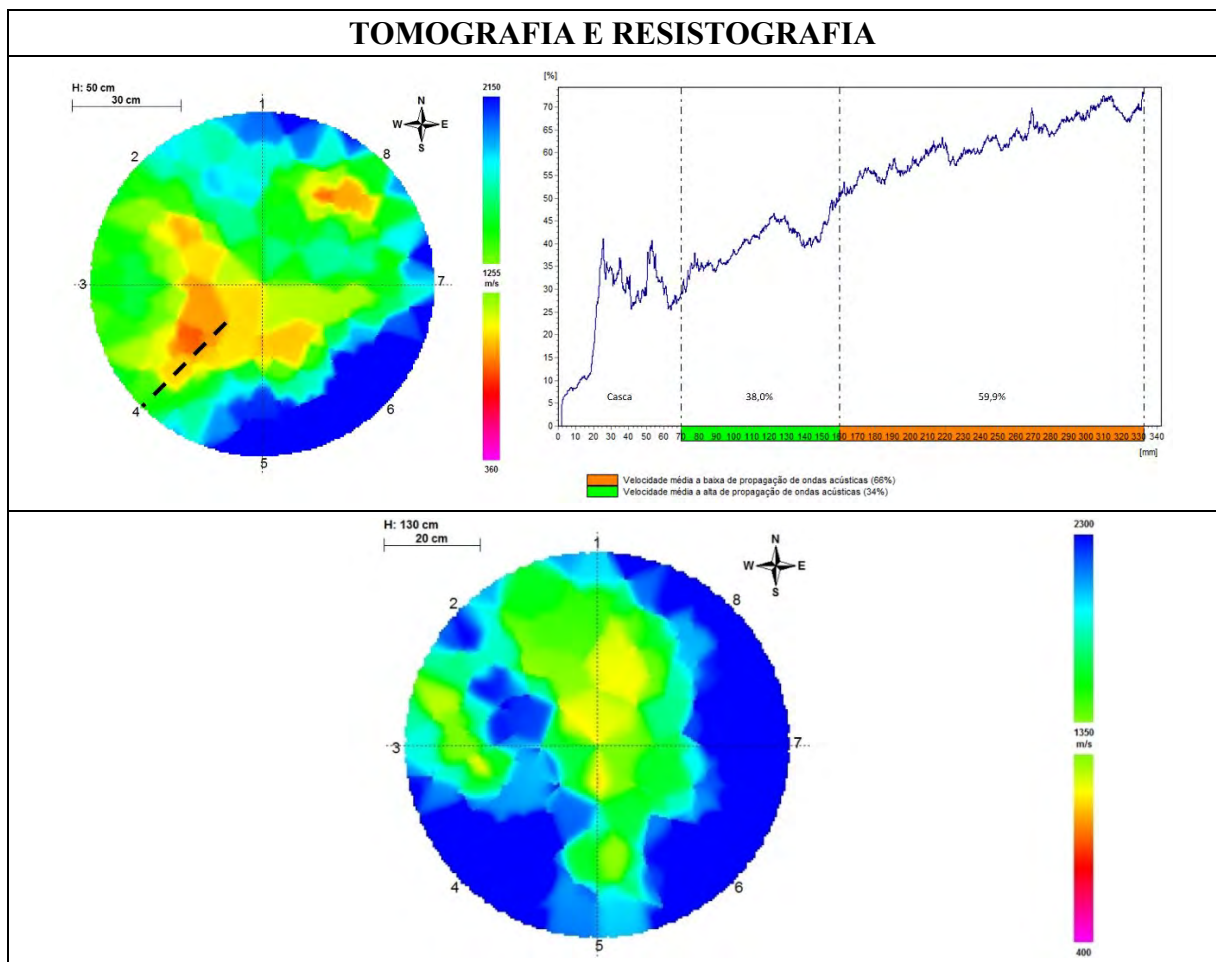
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
<b>Árvore:</b>	18
<b>Nome científico:</b>	<i>Eucalyptus robusta</i>
<b>DAP (cm):</b>	98,68
<b>Diâmetro de copa (m):</b>	19
<b>Altura total (m):</b>	37,8
<b>Altura até a 1ª ramificação (m):</b>	2,4
<b>Data da avaliação:</b>	17/12/2019



OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	19
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	81,17
Diâmetro de copa (m):	16
Altura total (m):	38,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,2
Data da avaliação:	17/12/2019

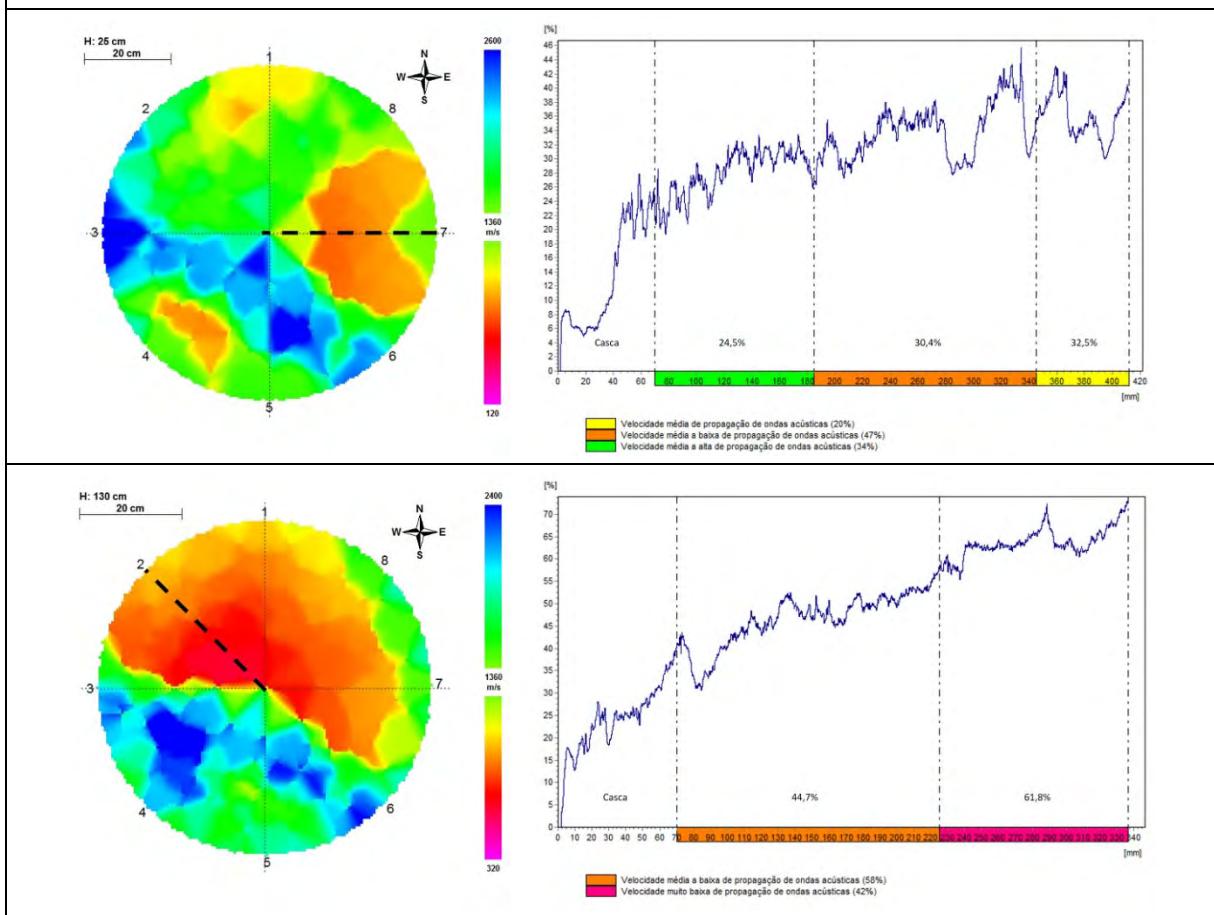


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	20
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	66,85
Diâmetro de copa (m):	15
Altura total (m):	32,4
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,7
Data da avaliação:	17/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



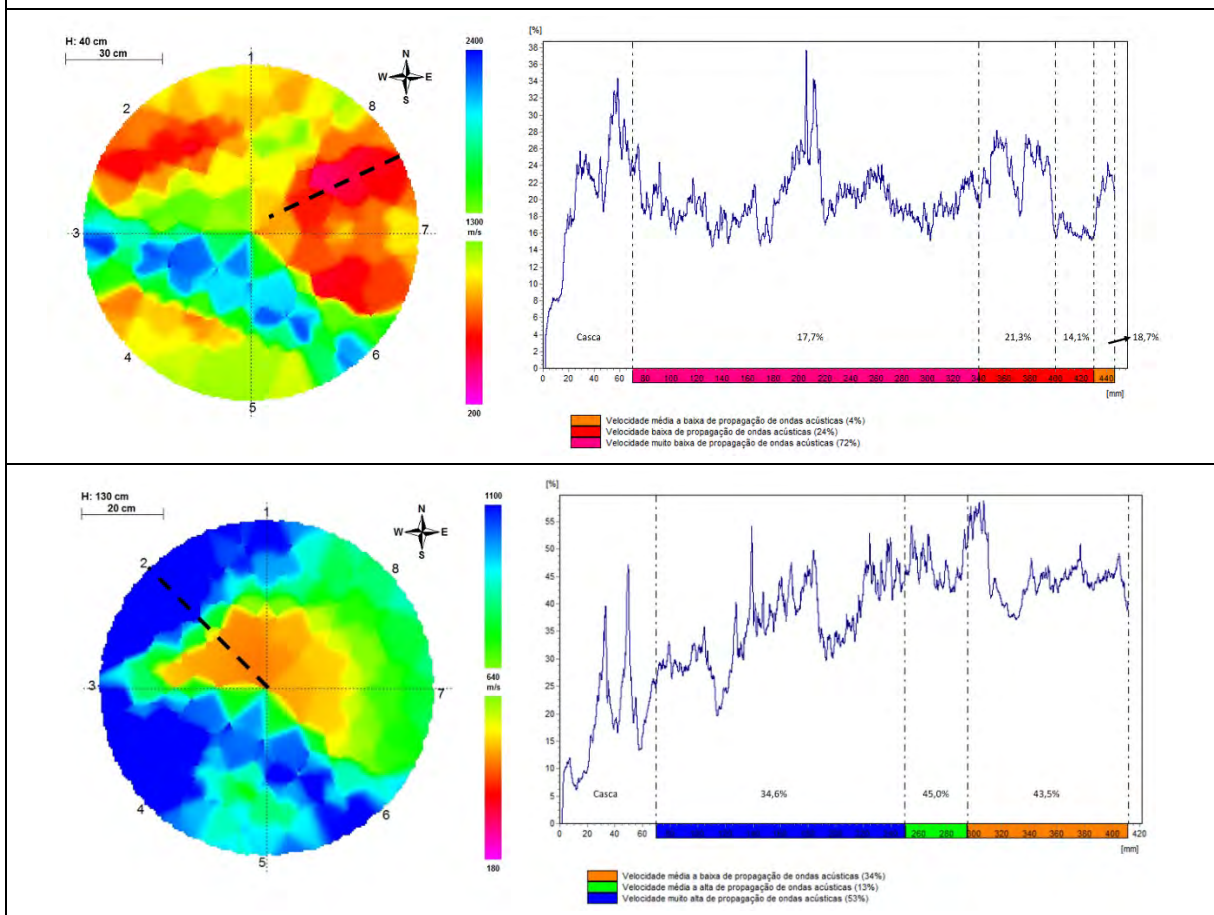
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de podridão; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	21
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	81,81
Diâmetro de copa (m):	14,75
Altura total (m):	24,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,8
Data da avaliação:	17/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



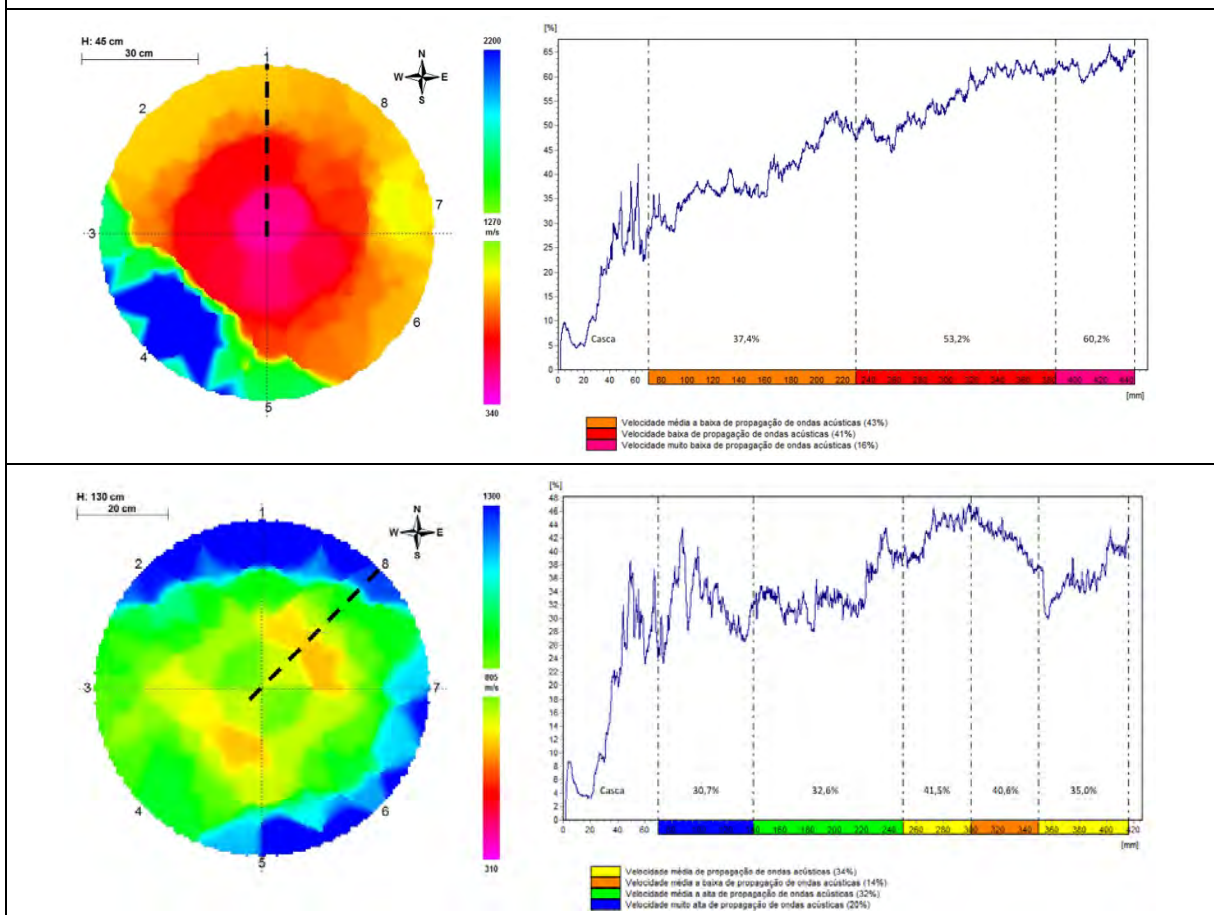
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	22
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	74,8
Diâmetro de copa (m):	14
Altura total (m):	21,6
Altura até a 1ª ramificação (m):	1,9
Data da avaliação:	17/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



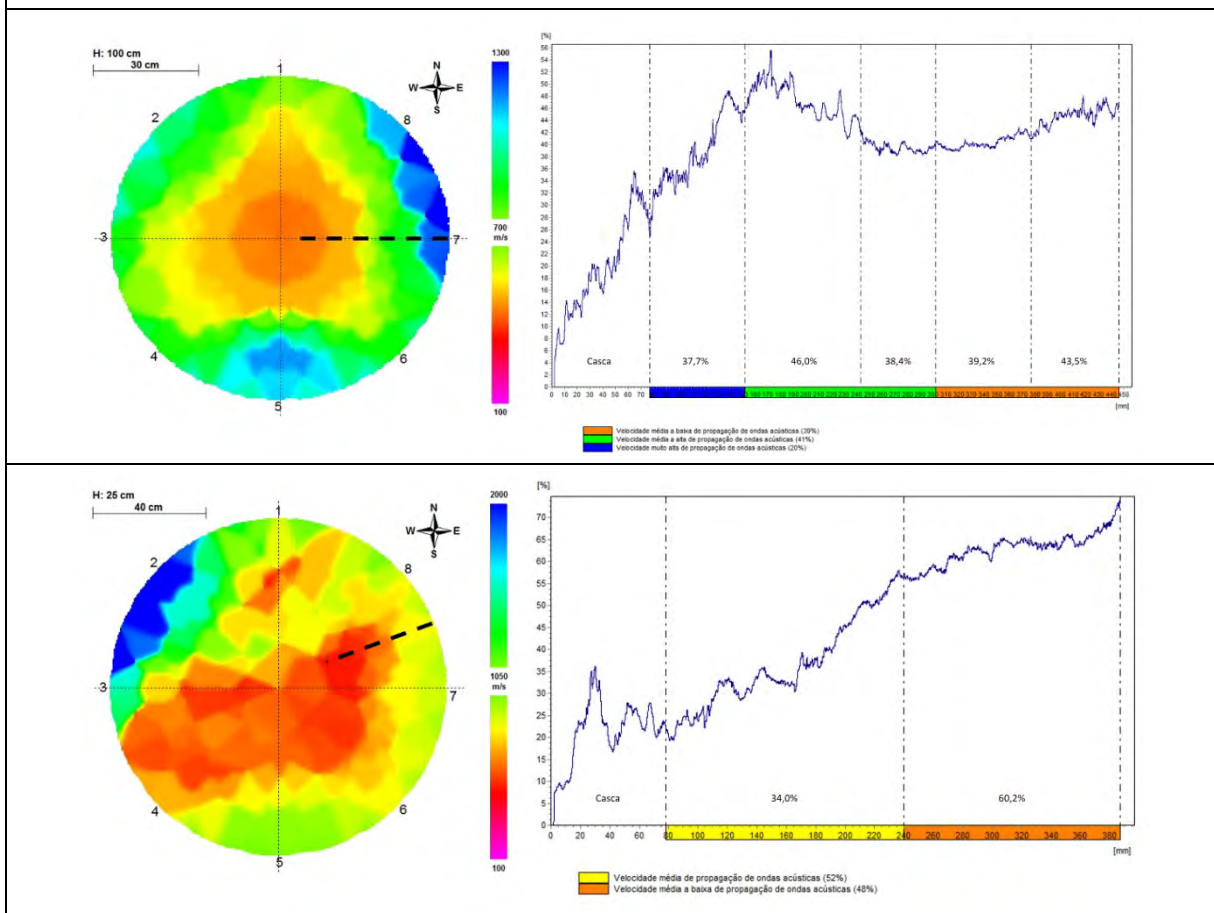
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	23
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	108,23
Diâmetro de copa (m):	25,2
Altura total (m):	31,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	5
Data da avaliação:	17/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



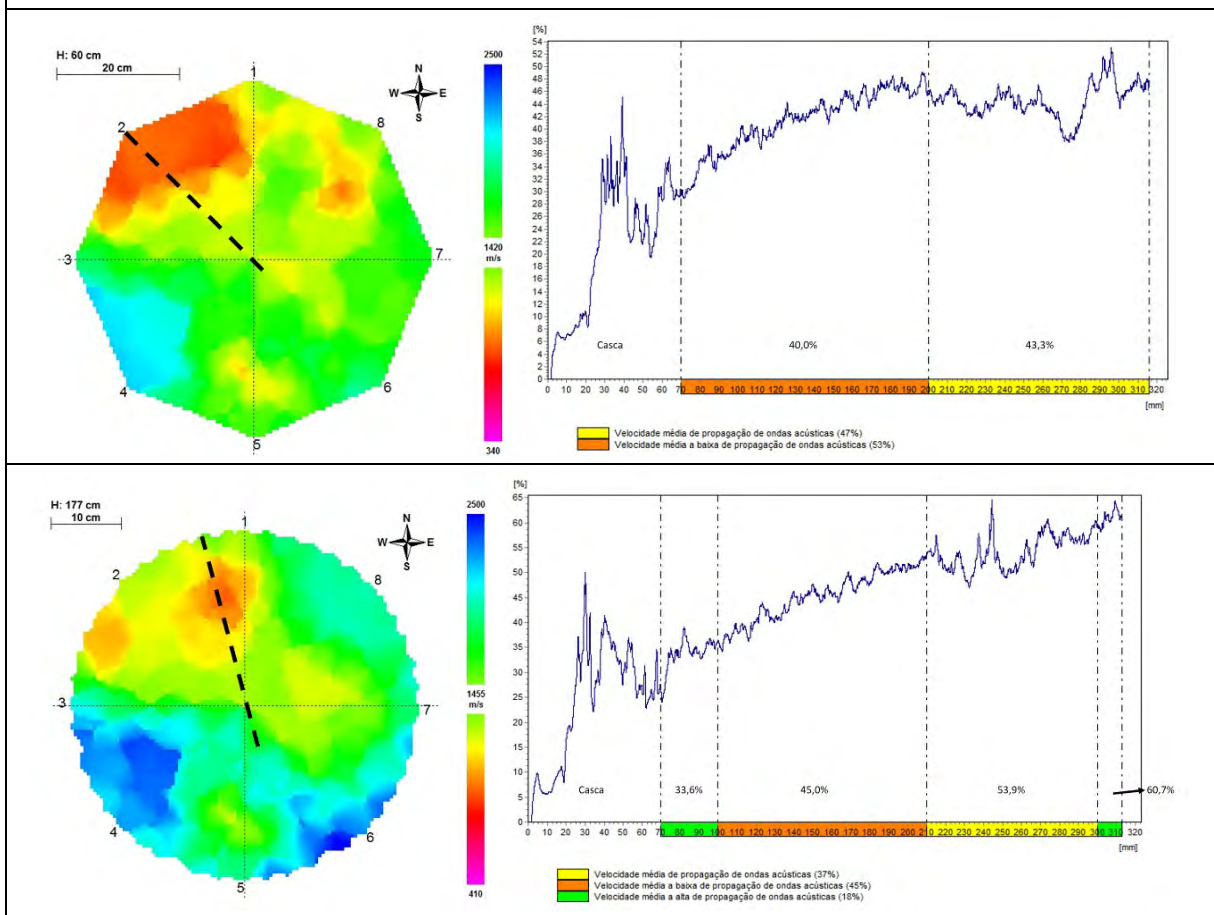
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	24
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	49,1
Diâmetro de copa (m):	17,9
Altura total (m):	22,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,3
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



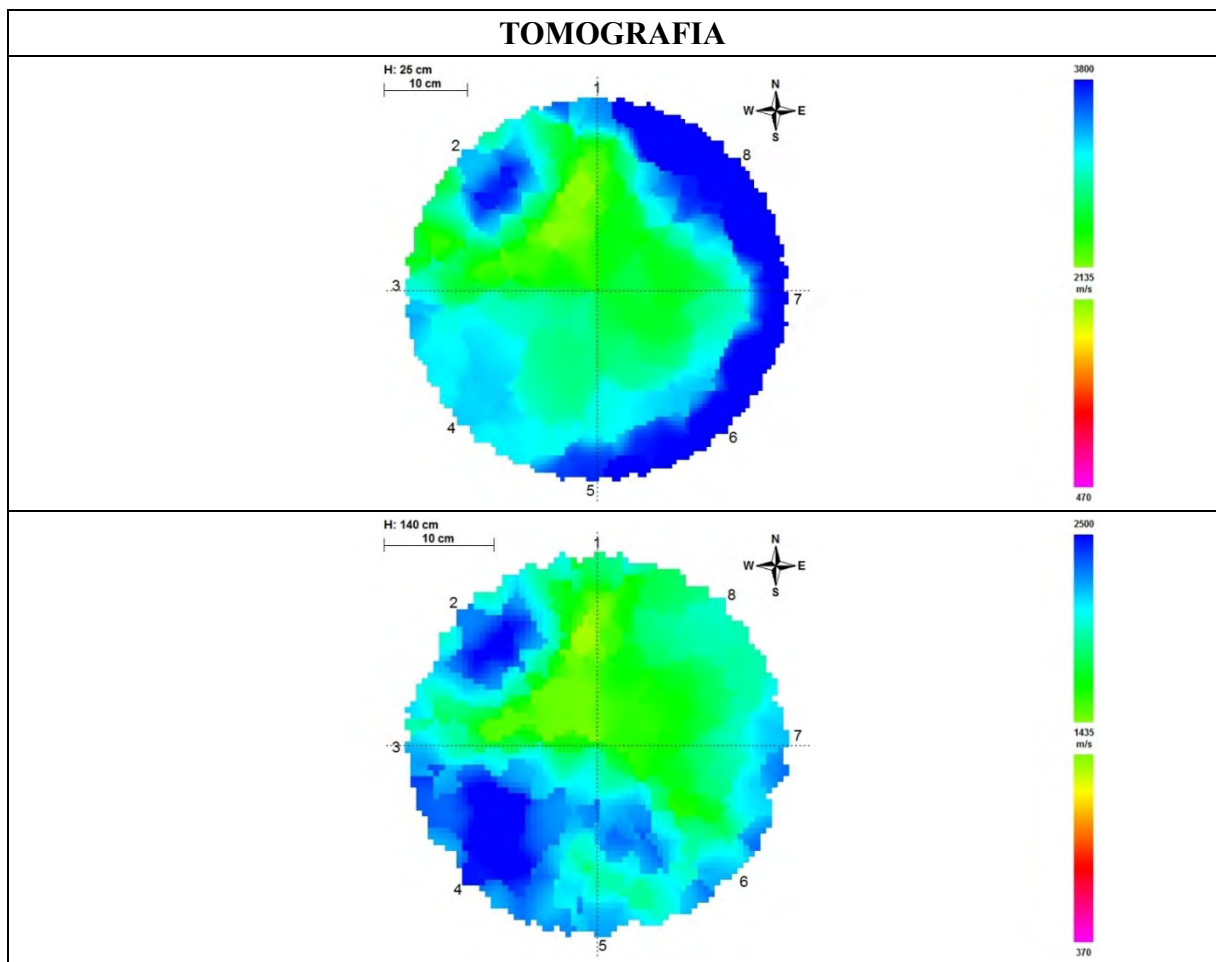
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias e podridão; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.





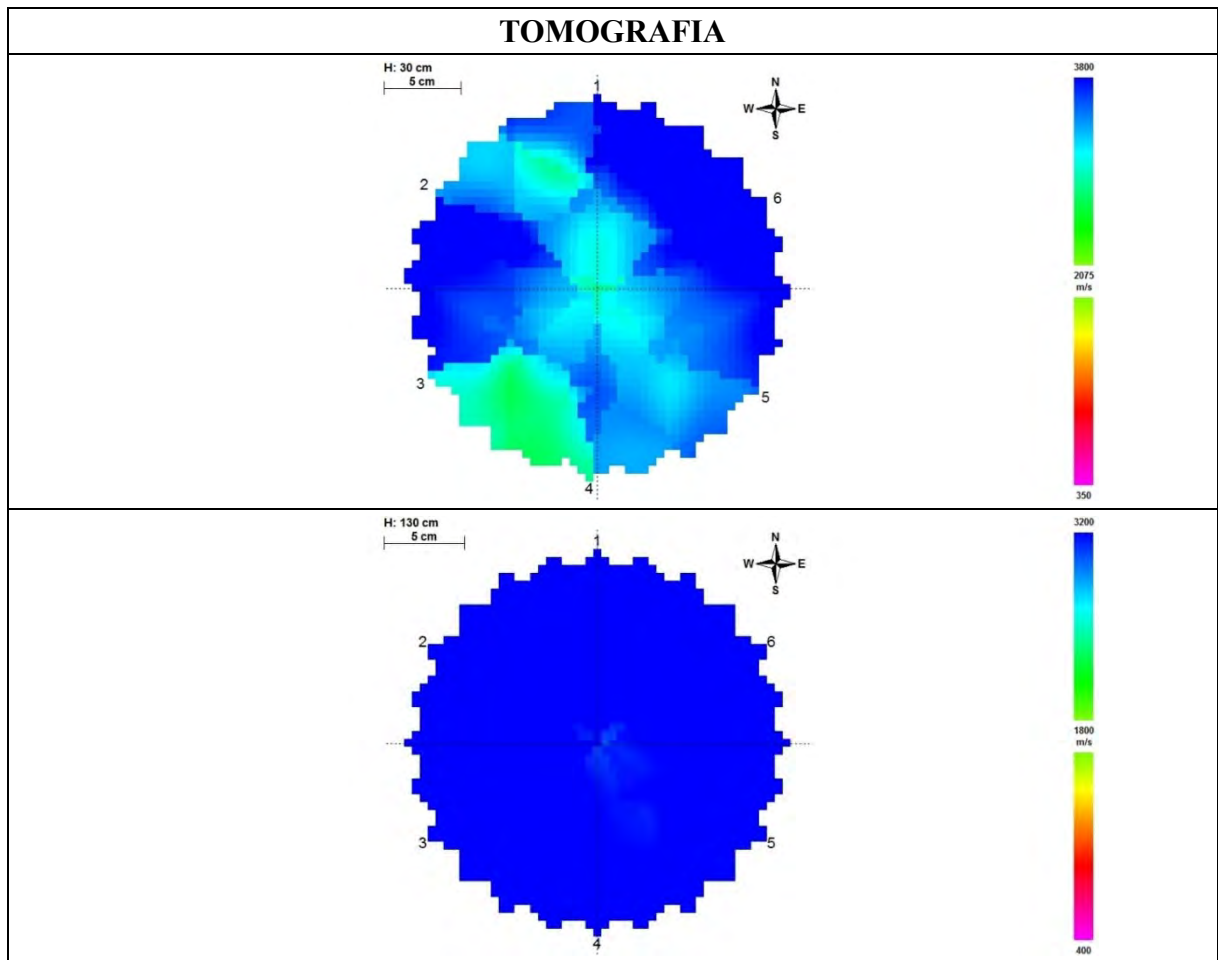
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	25
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	33,1
Diâmetro de copa (m):	13
Altura total (m):	20,9
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,6
Data da avaliação:	16/12/2019



OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	26
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	24,51
Diâmetro de copa (m):	7,5
Altura total (m):	22,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	5
Data da avaliação:	16/12/2019

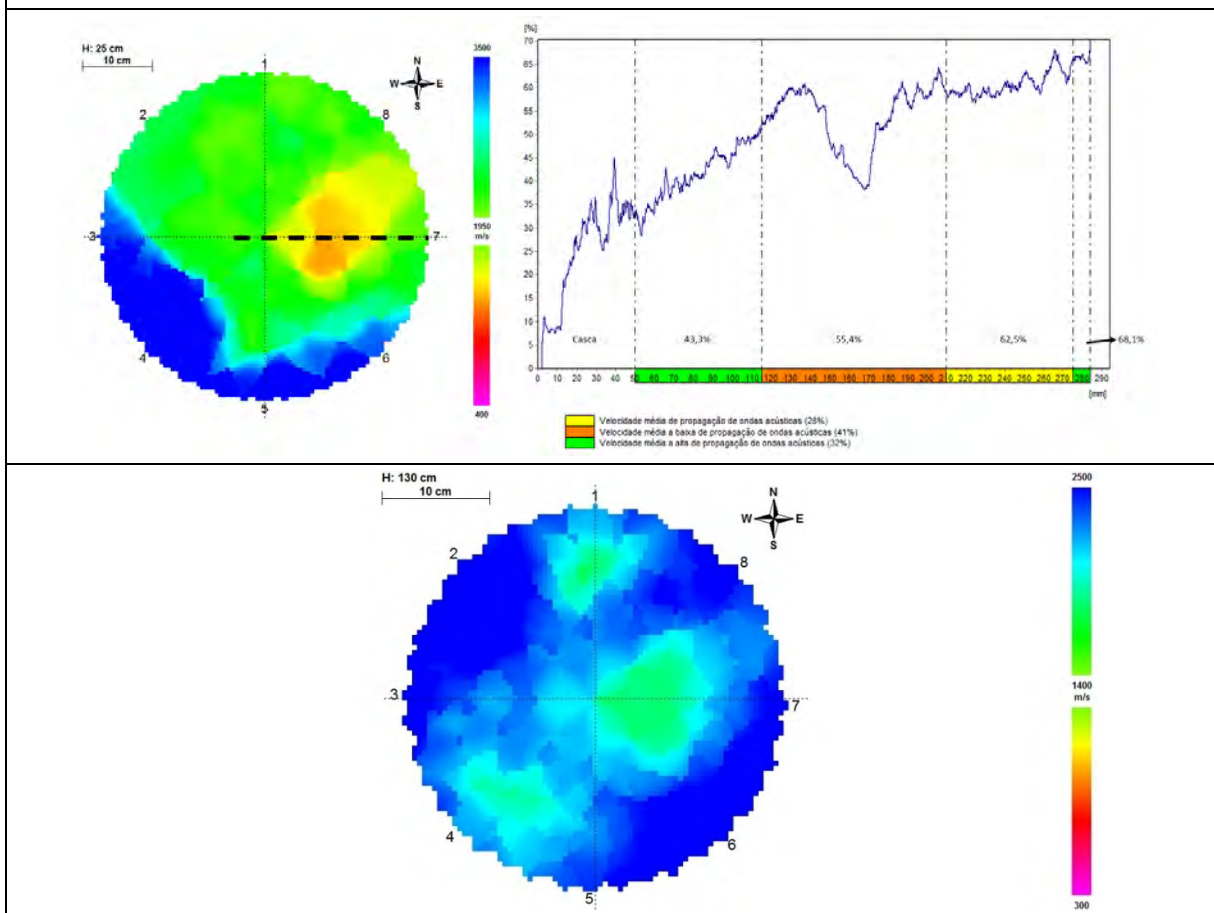


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Ausência de patógenos; fuste sem lesão aparente.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	27
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	37,56
Diâmetro de copa (m):	11
Altura total (m):	25,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	3
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

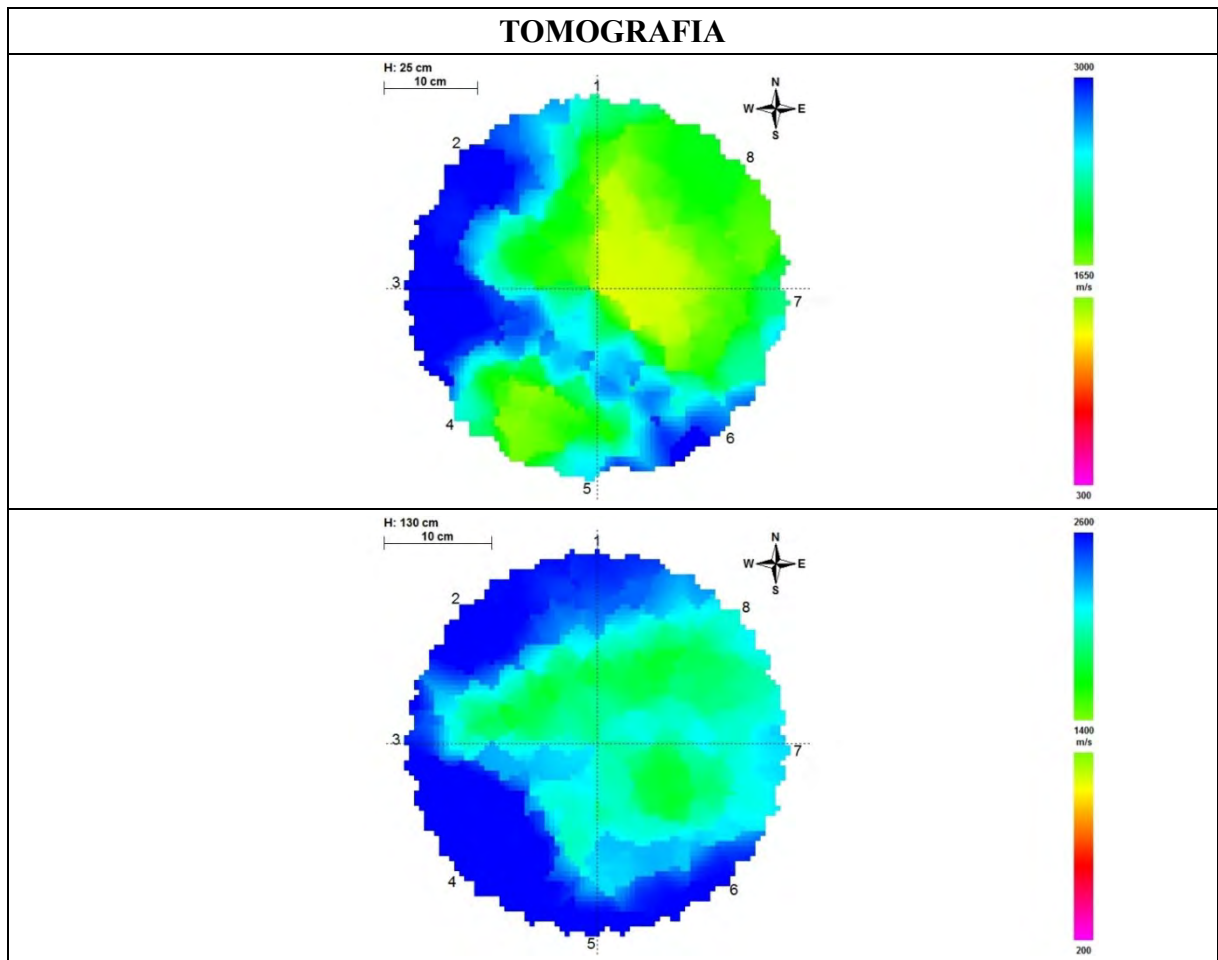


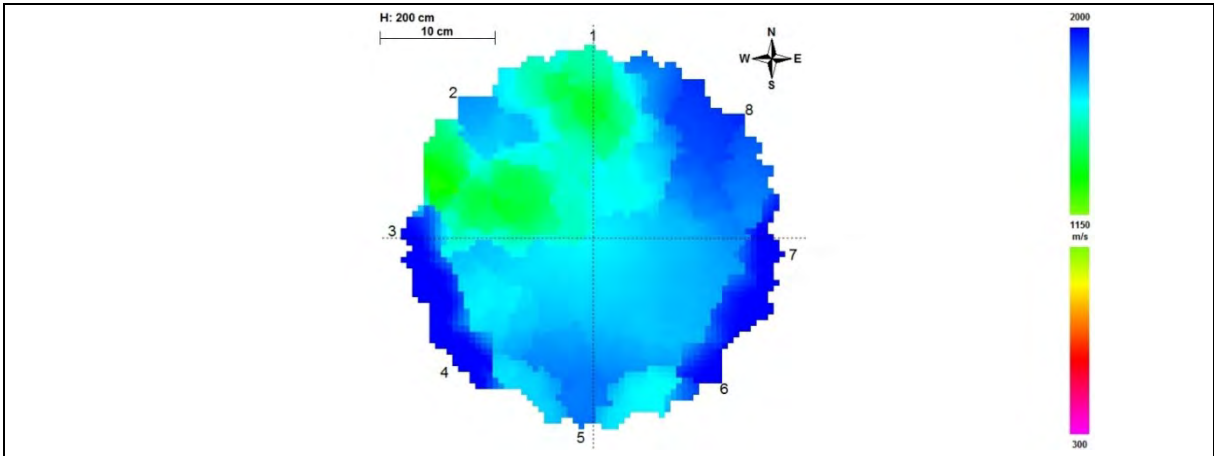
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	28
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	35,65
Diâmetro de copa (m):	13
Altura total (m):	21,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	6,3
Data da avaliação:	16/12/2019

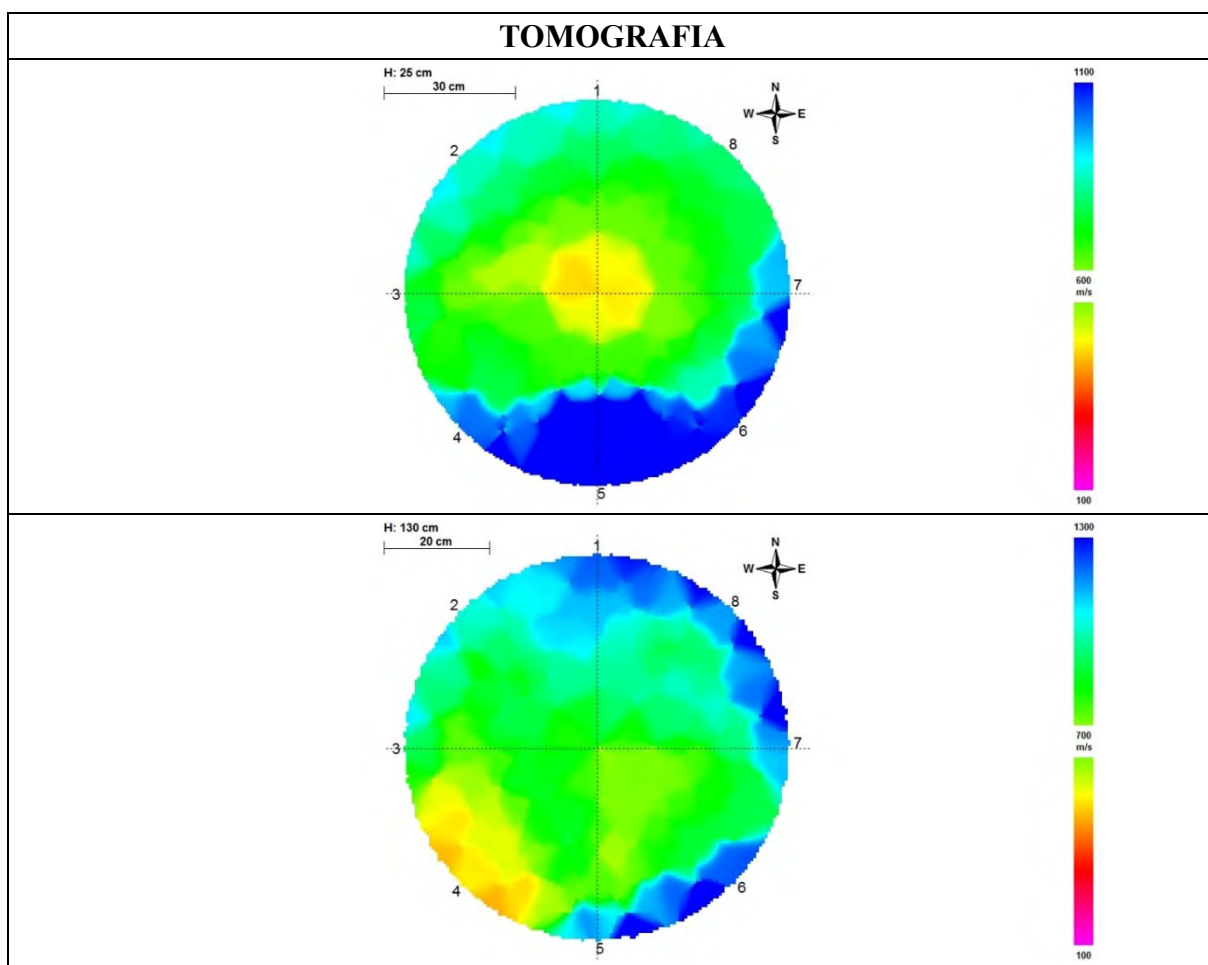




<b>OBSERVAÇÕES VISUAIS</b>	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	29
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	75,76
Diâmetro de copa (m):	15
Altura total (m):	23,1
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,6
Data da avaliação:	16/12/2019

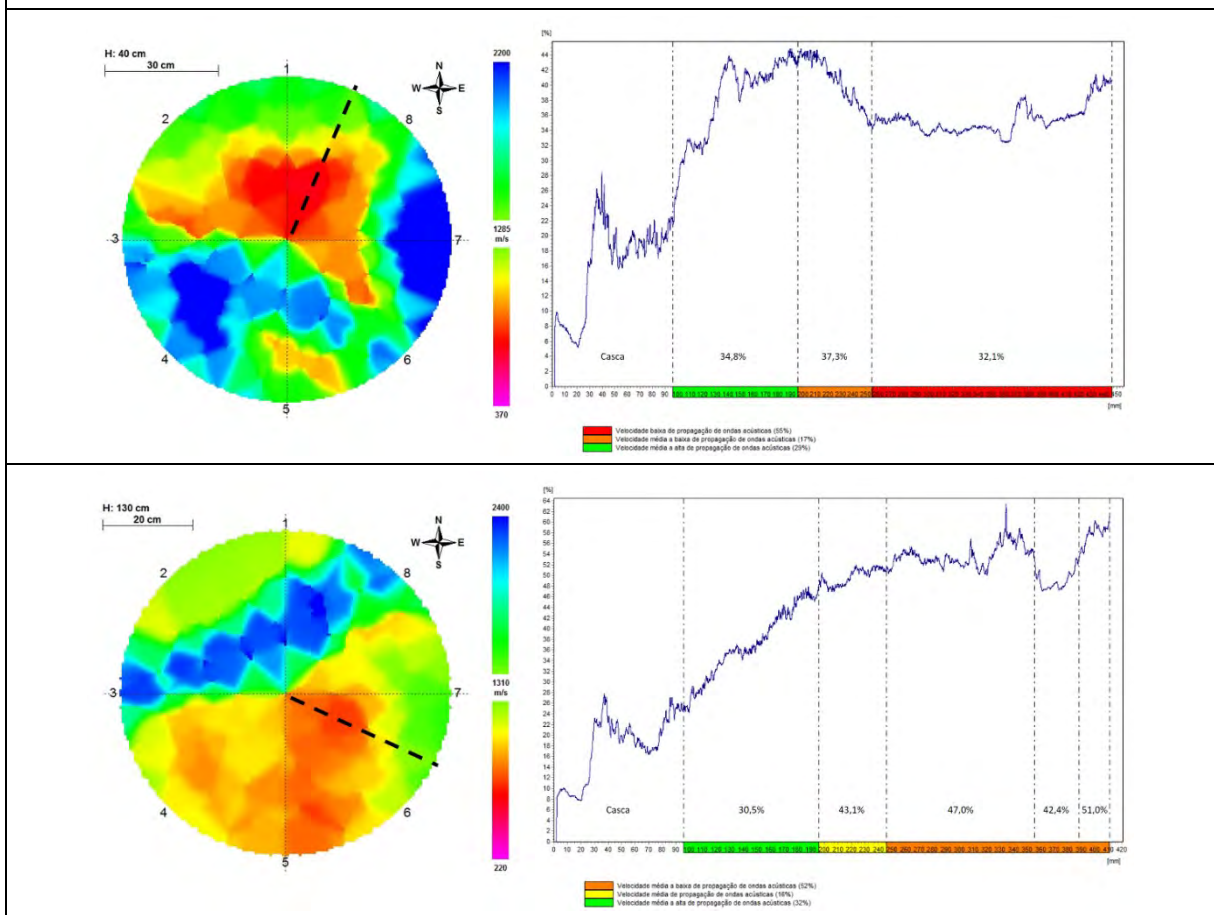


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	30
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	74,8
Diâmetro de copa (m):	12,25
Altura total (m):	30,4
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,3
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

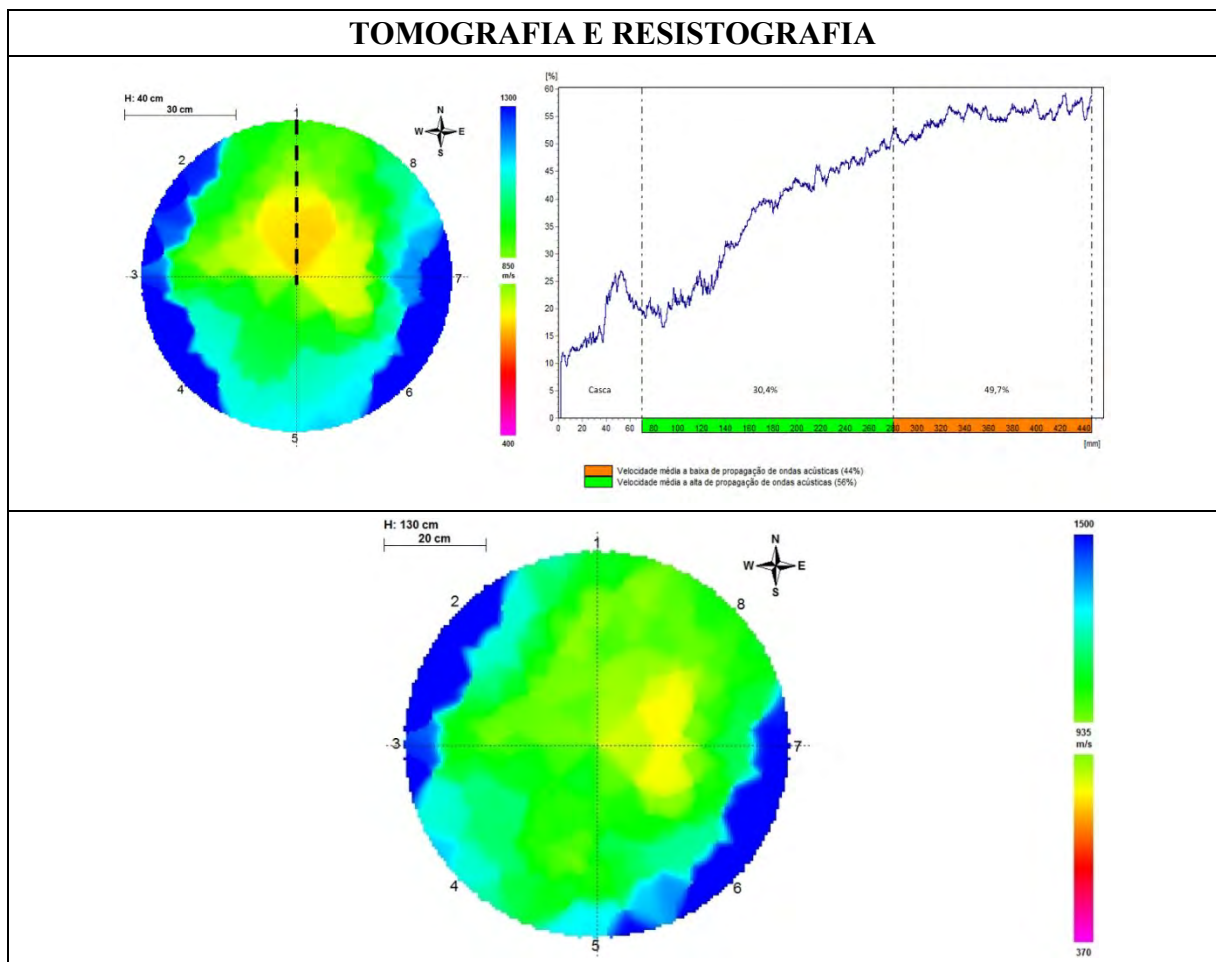


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	31
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	77,99
Diâmetro de copa (m):	15,6
Altura total (m):	29
Altura até a 1ª ramificação (m):	5,8
Data da avaliação:	16/12/2019



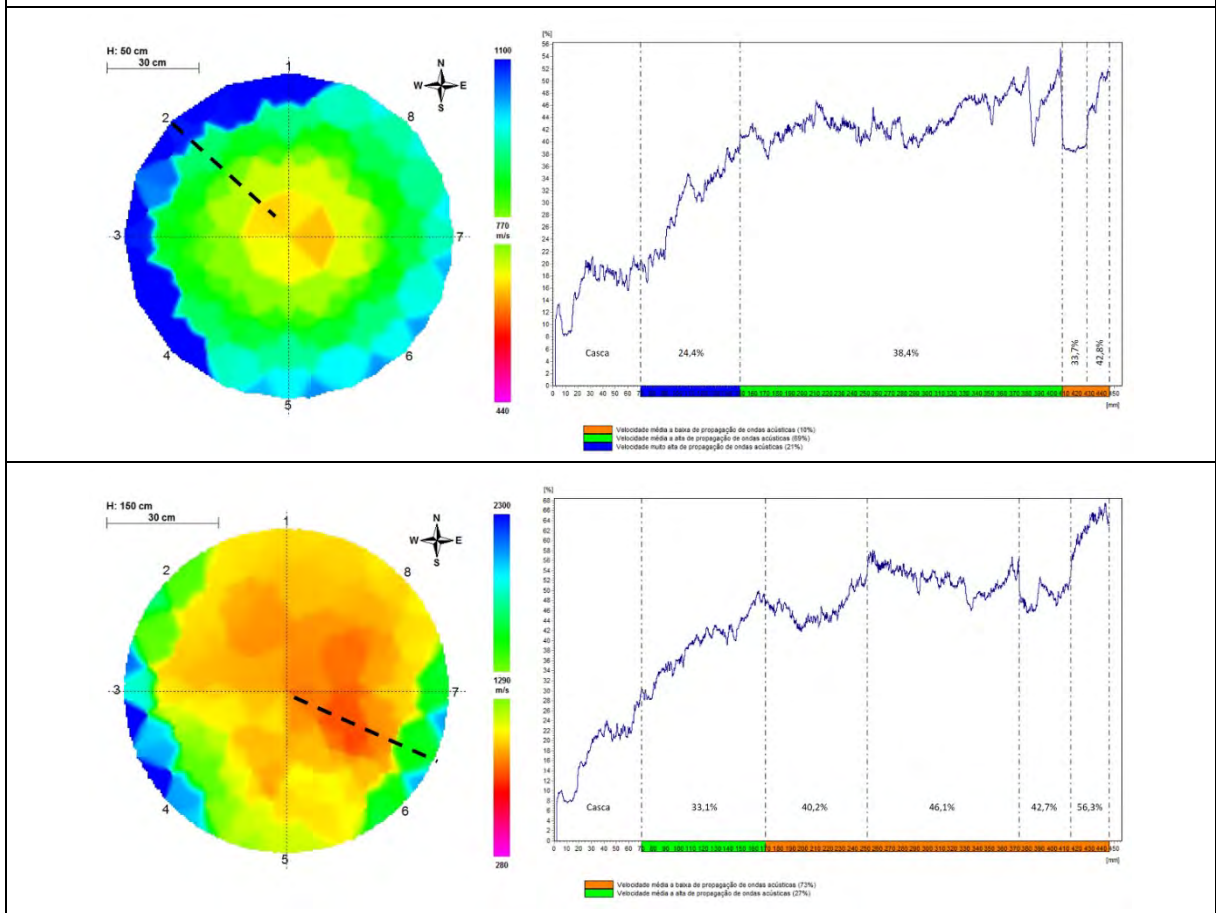
OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.





IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	32
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	88,49
Diâmetro de copa (m):	7,85
Altura total (m):	15,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	1,5
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



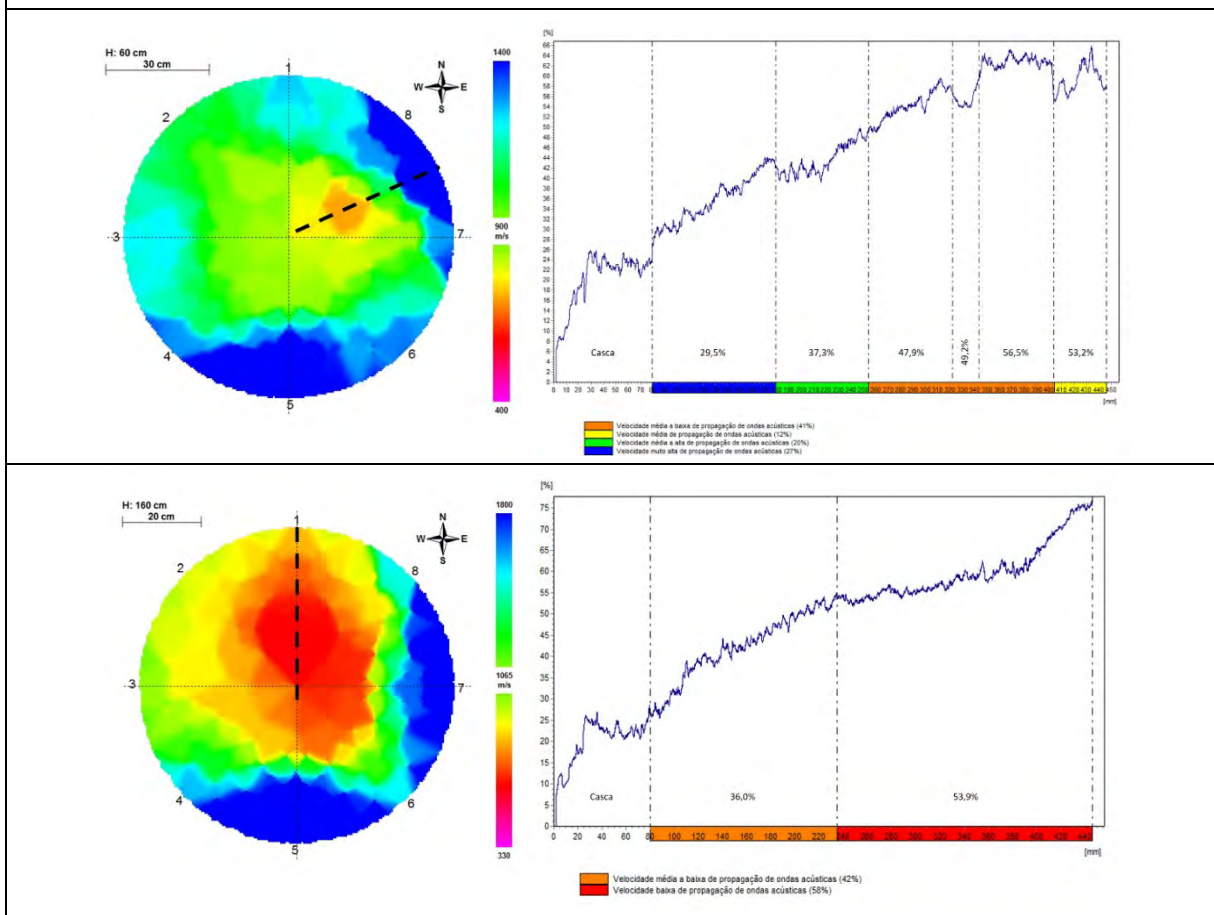
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	33
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	82,76
Diâmetro de copa (m):	16
Altura total (m):	24,6
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,2
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



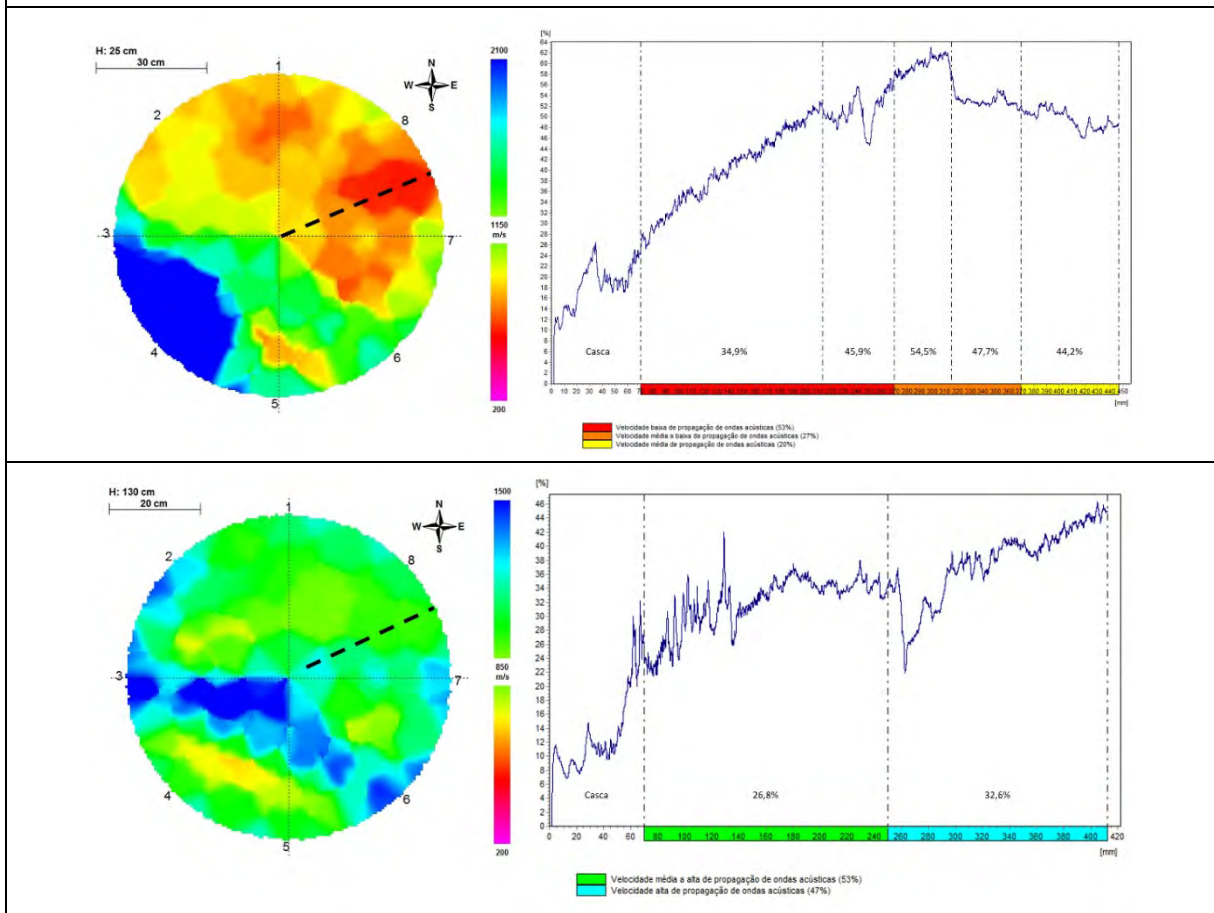
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	34
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	71,94
Diâmetro de copa (m):	9,25
Altura total (m):	15,8
Altura até a 1ª ramificação (m):	3
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



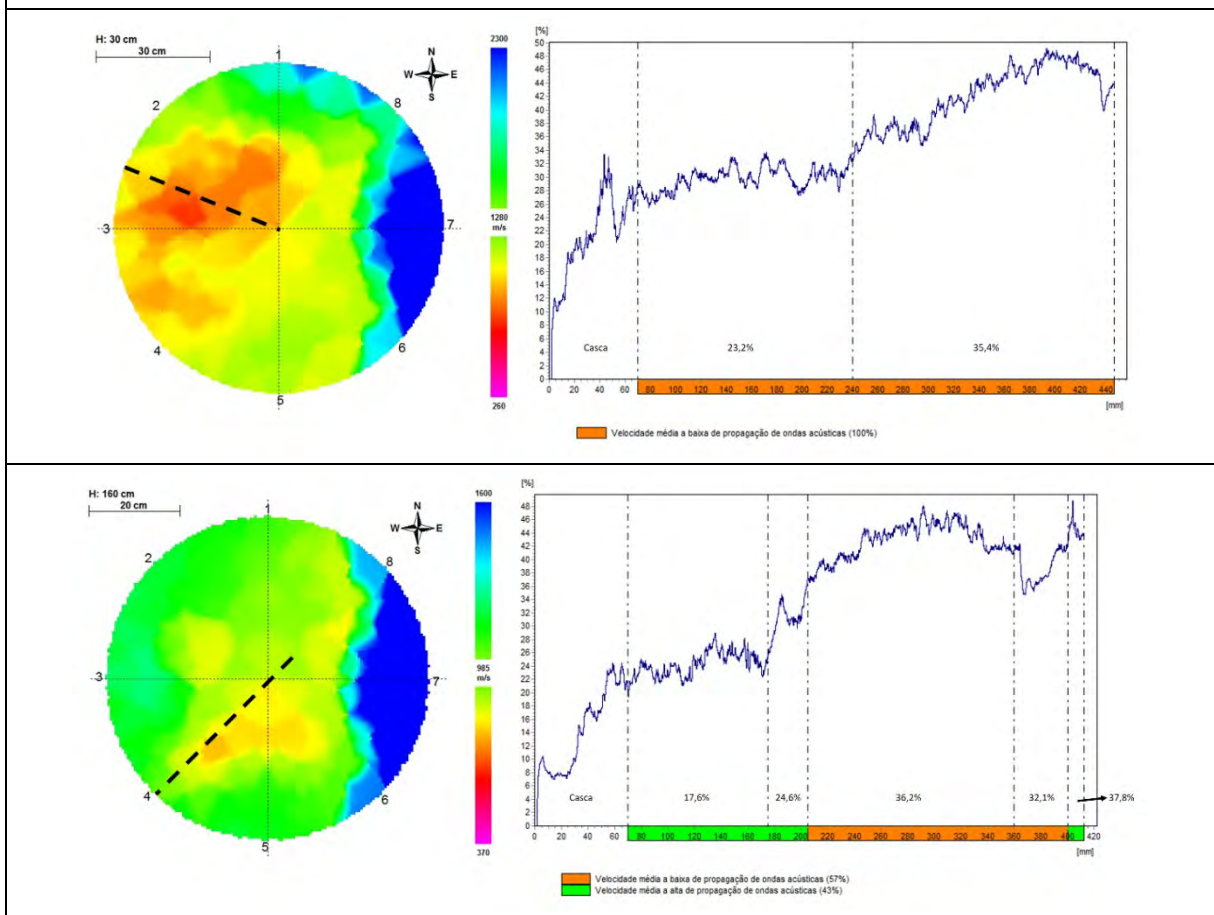
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado por podas anteriores; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	35
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	73,21
Diâmetro de copa (m):	14,5
Altura total (m):	25,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	8,5
Data da avaliação:	16/12/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

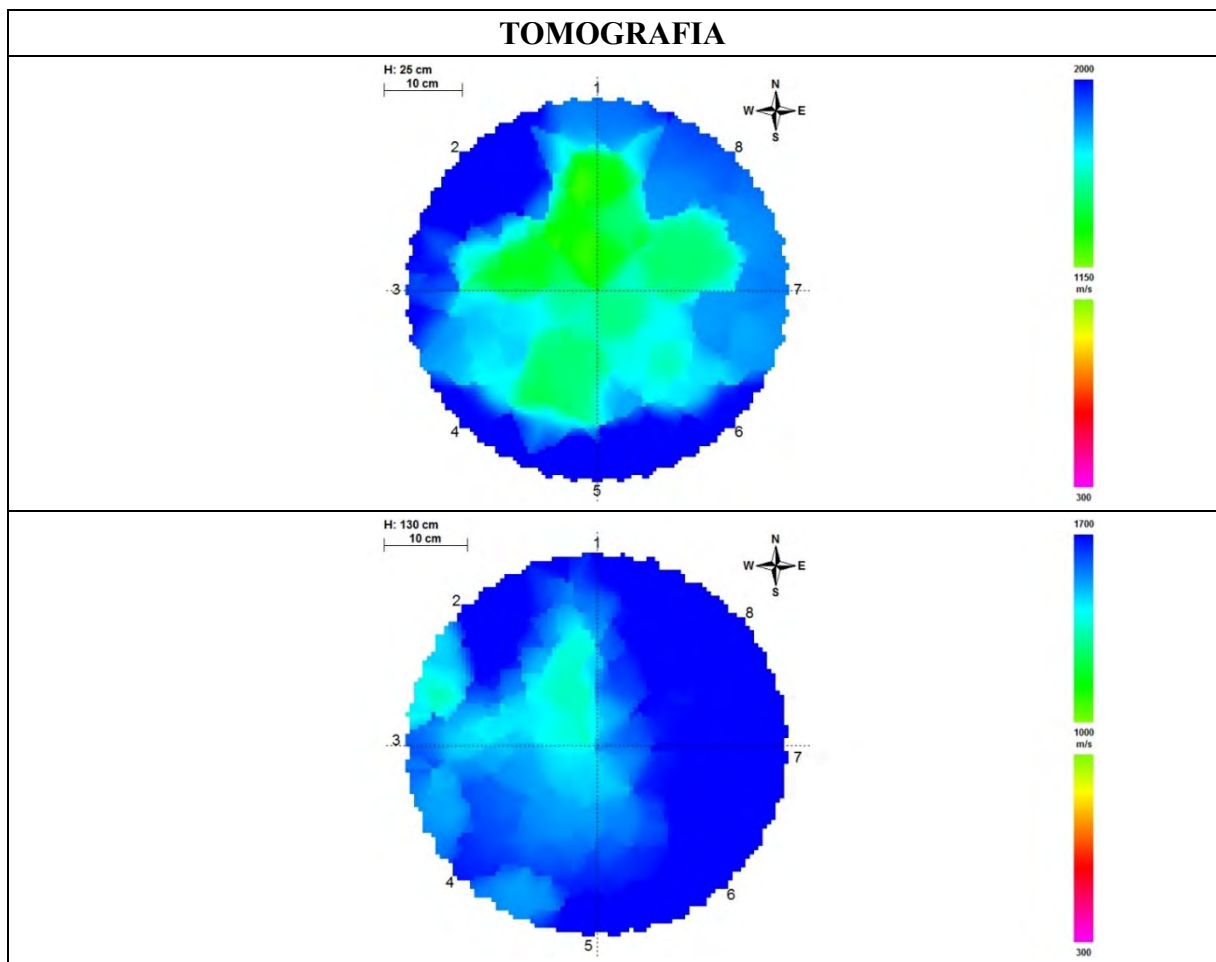


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; má cicatrização de podas anteriores.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	36
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	47,75
Diâmetro de copa (m):	11
Altura total (m):	16,2
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,4
Data da avaliação:	16/12/2019

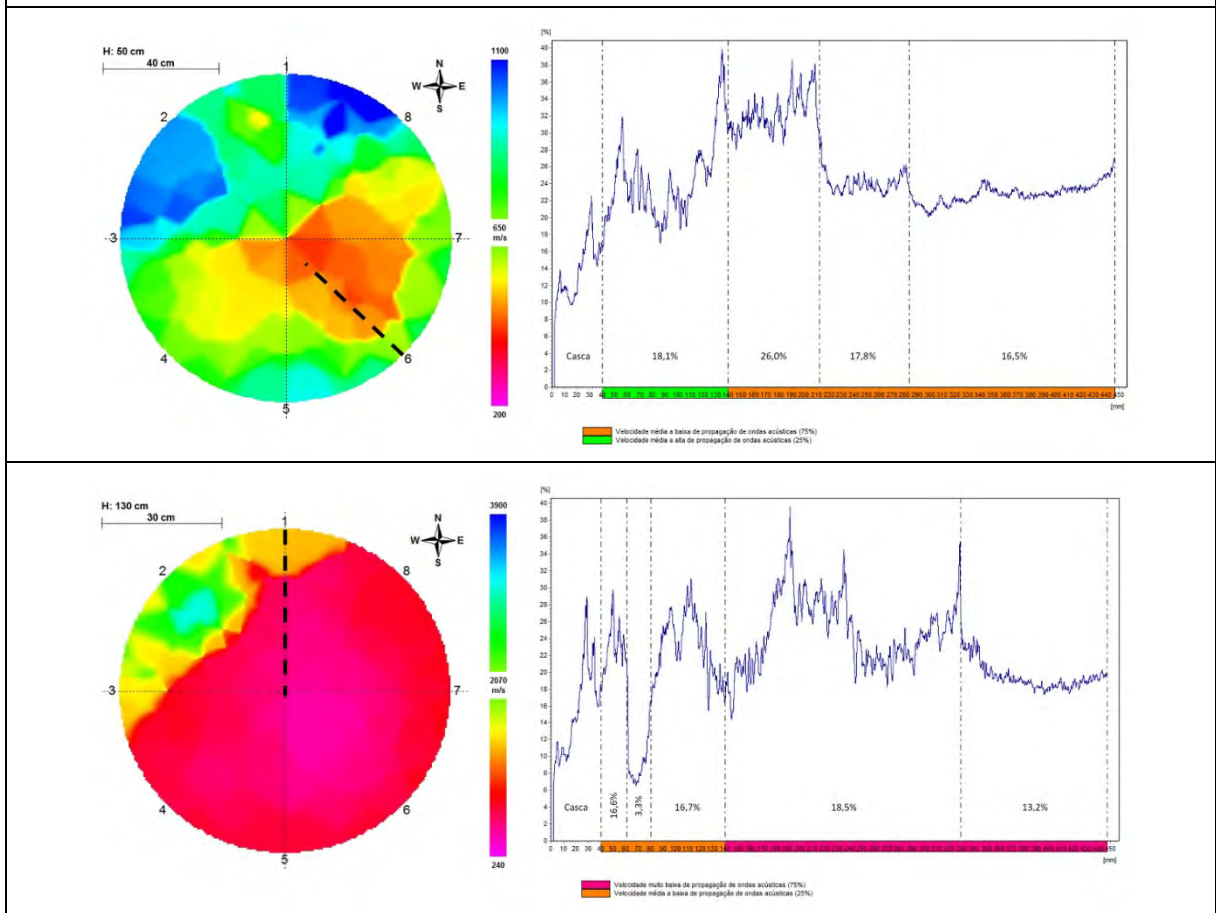


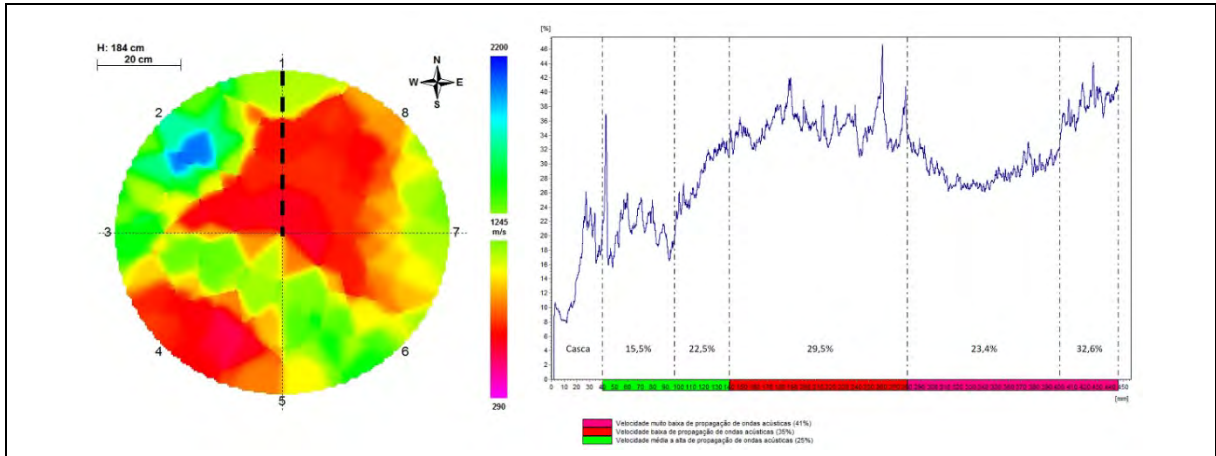
OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado com presença de galerias; fuste com lesão moderada.
<b>Copa:</b>	Presença de brotações epicórmicas; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	37
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	82,76
Diâmetro de copa (m):	14,5
Altura total (m):	23,3
Altura até a 1ª ramificação (m):	6,3
Data da avaliação:	19/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA





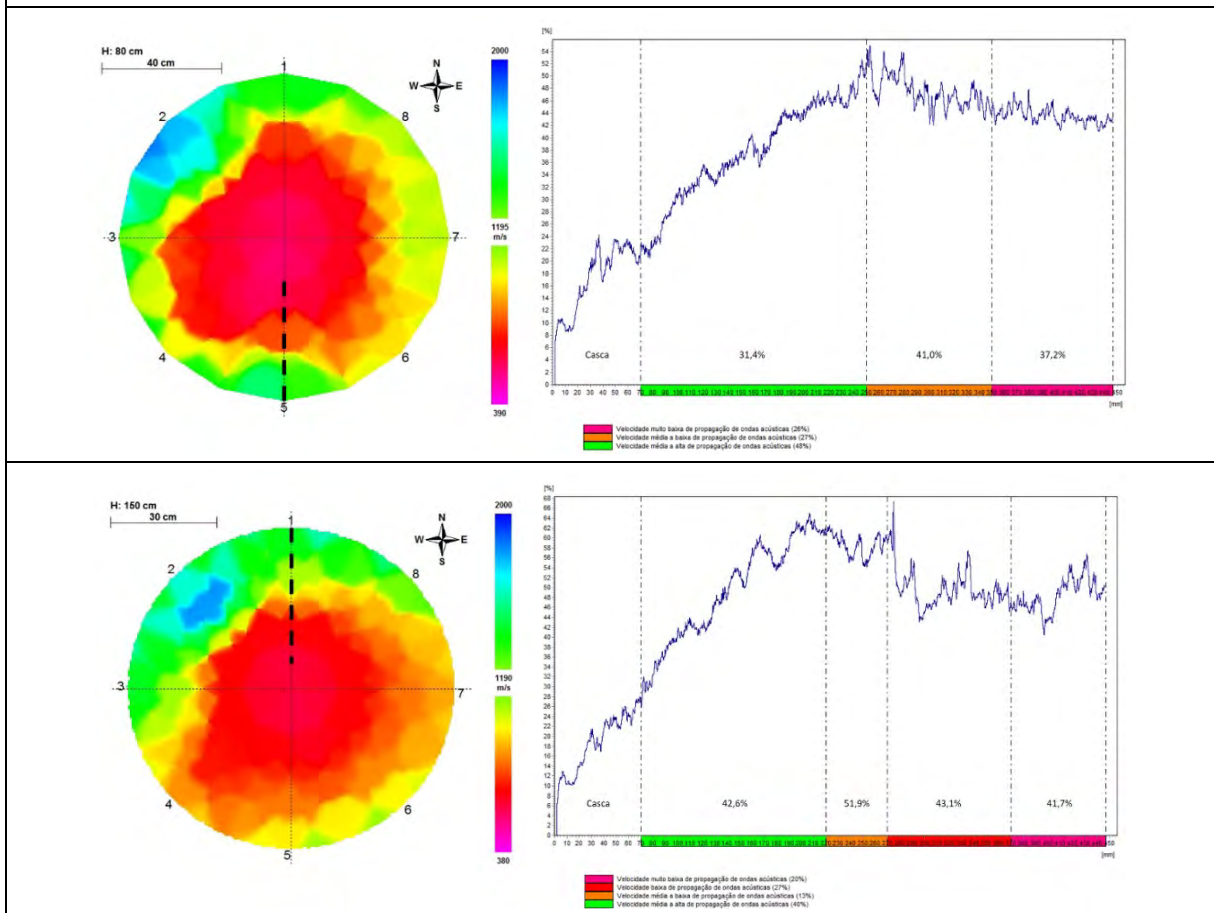
### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	38
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	92,31
Diâmetro de copa (m):	12
Altura total (m):	15,5
Altura até a 1ª ramificação (m):	4,5
Data da avaliação:	19/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



### OBSERVAÇÕES VISUAIS

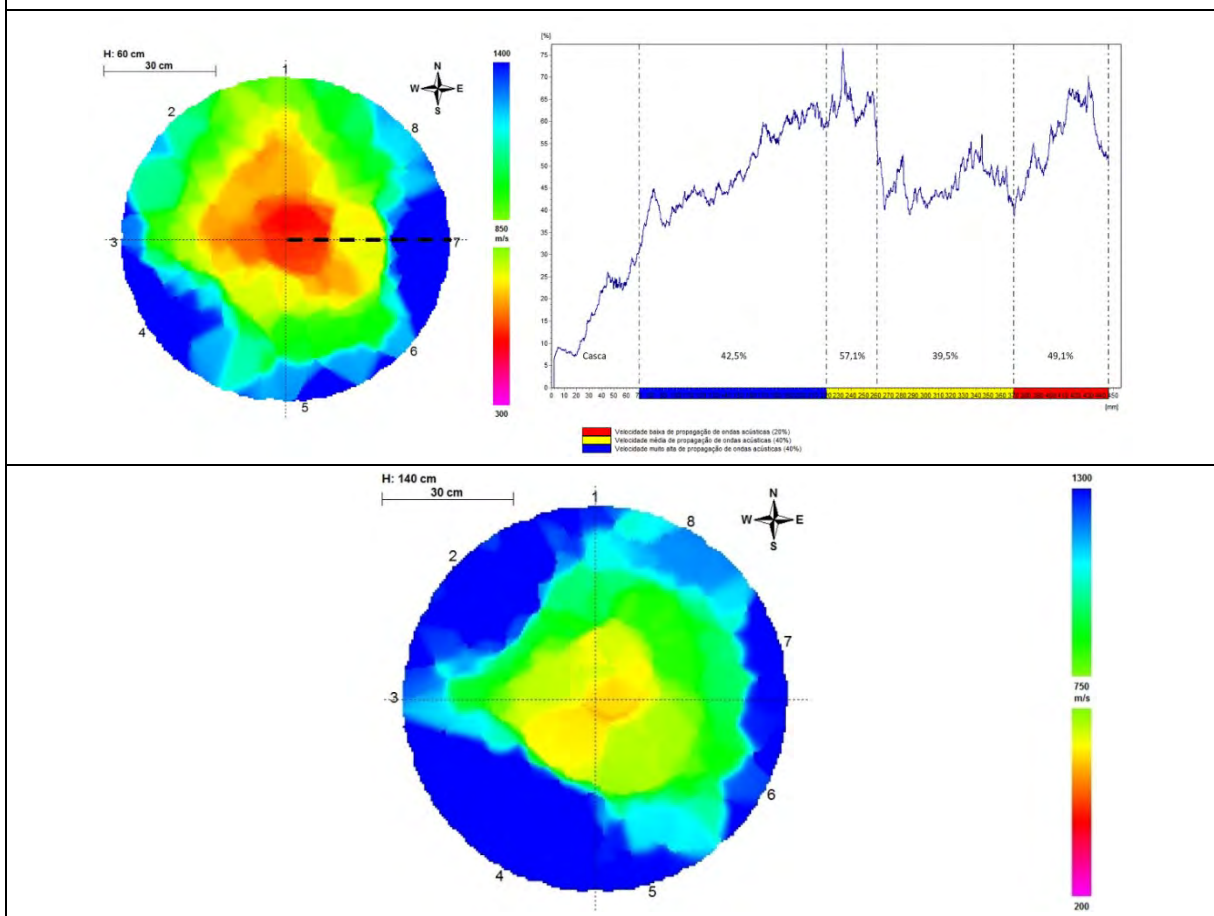
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.





IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	39
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	82,76
Diâmetro de copa (m):	23
Altura total (m):	24,8
Altura até a 1ª ramificação (m):	6,6
Data da avaliação:	19/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

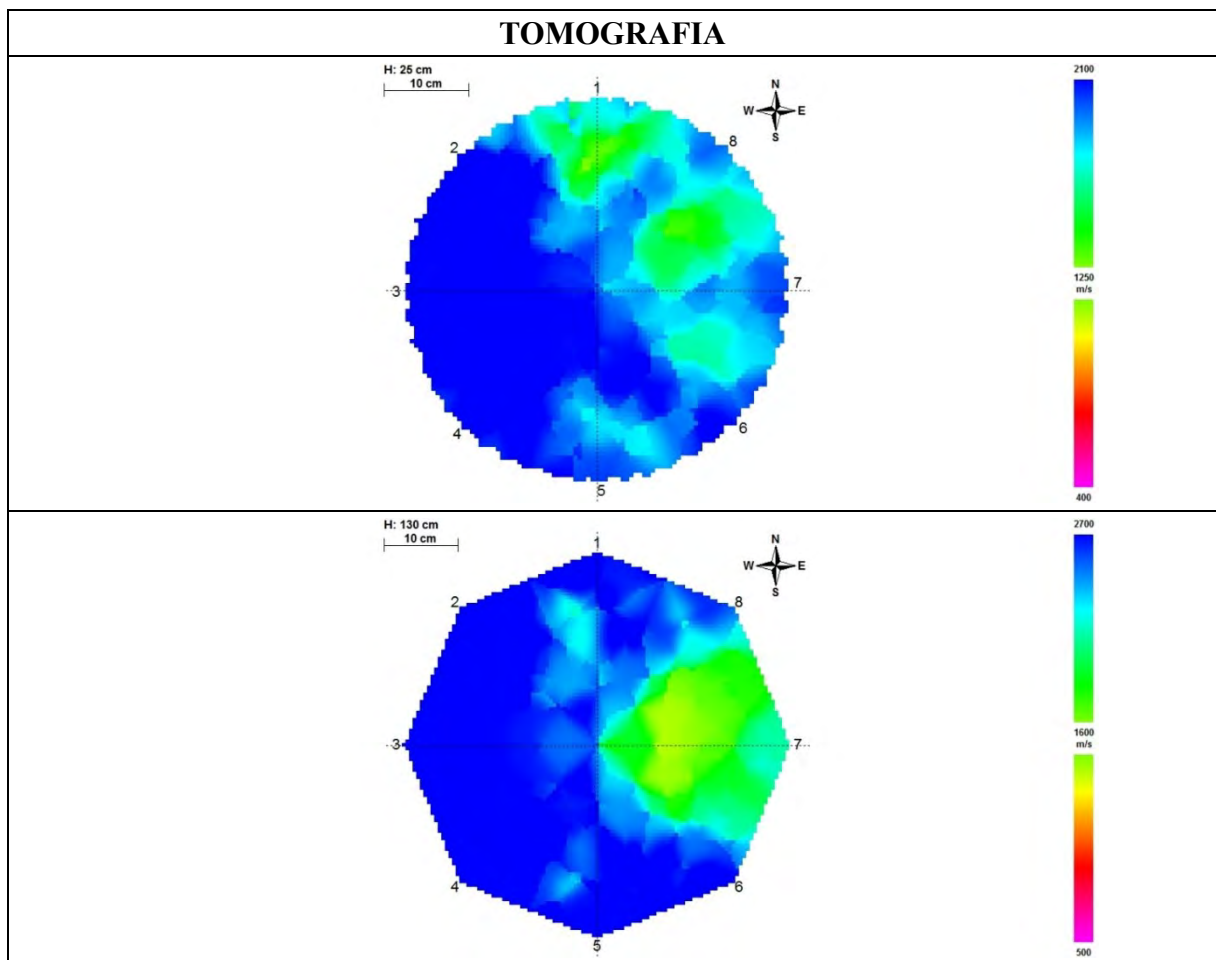


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste sem lesão aparente.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	40
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	52,84
Diâmetro de copa (m):	16
Altura total (m):	15,2
Altura até a 1ª ramificação (m):	2,3
Data da avaliação:	19/11/2019

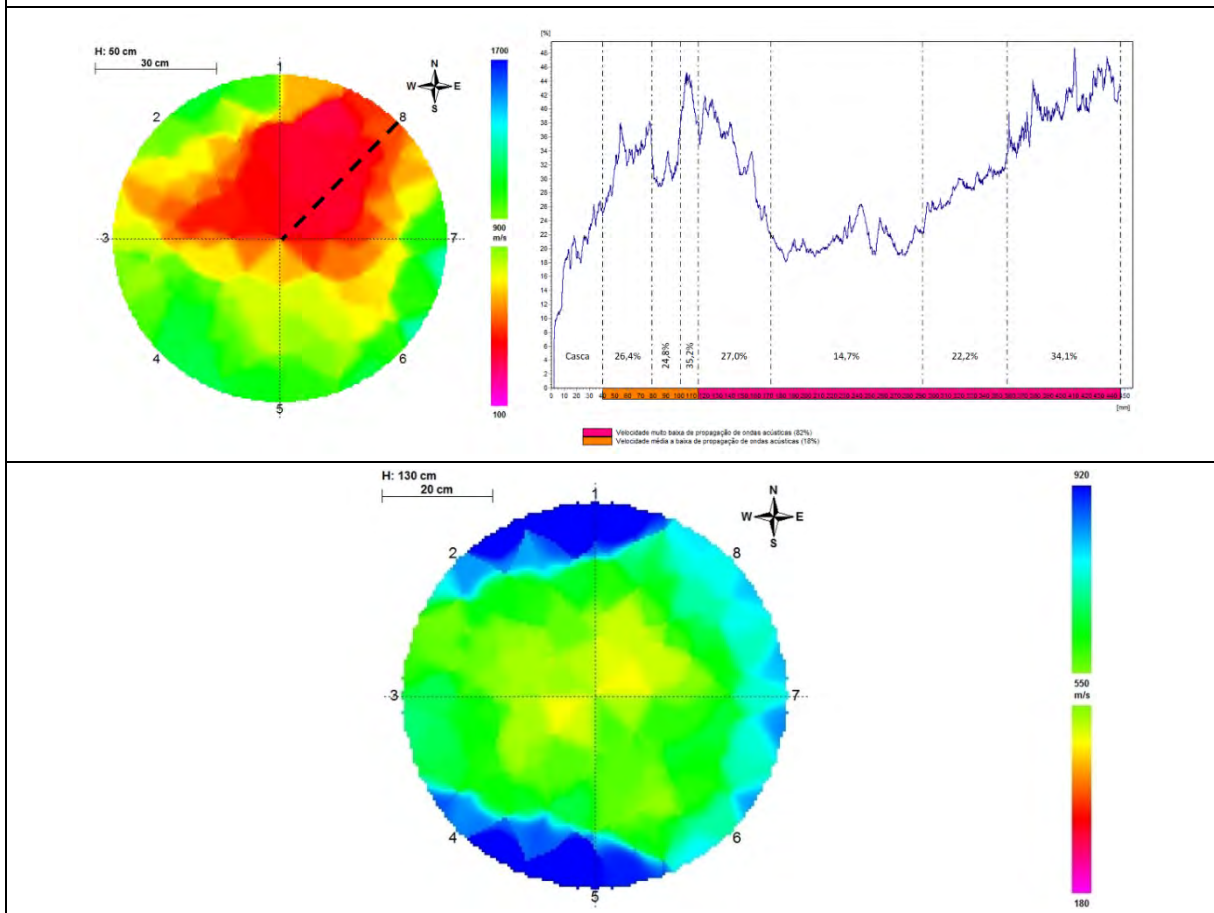


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco com presença de galerias; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	41
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	70,03
Diâmetro de copa (m):	16
Altura total (m):	20,7
Altura até a 1ª ramificação (m):	7,7
Data da avaliação:	19/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

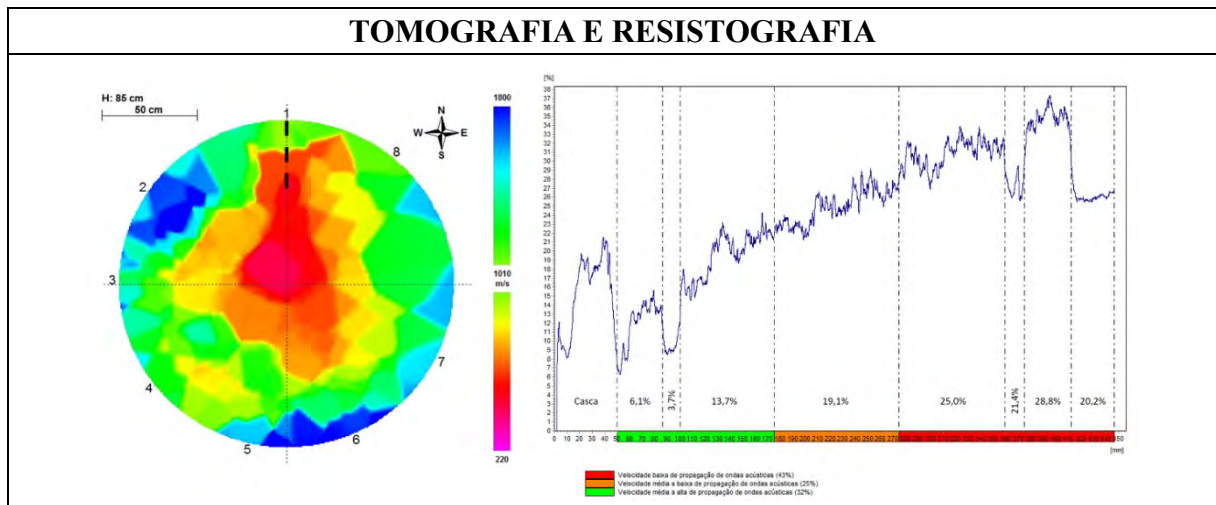


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	42
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	168,7
Diâmetro de copa (m):	21
Altura total (m):	28,8
Altura até a 1ª ramificação (m):	3,3
Data da avaliação:	19/11/2019

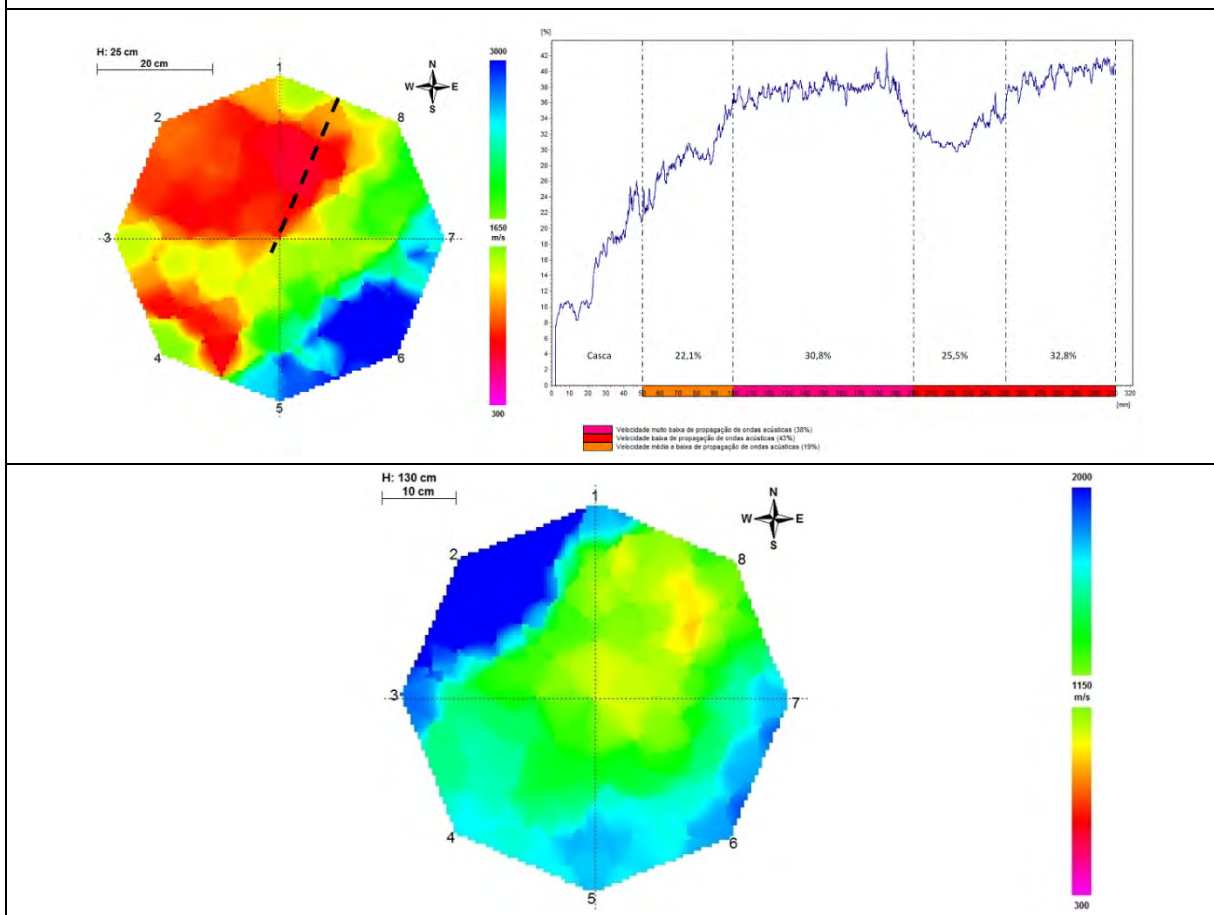


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado; fuste com lesão grave.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



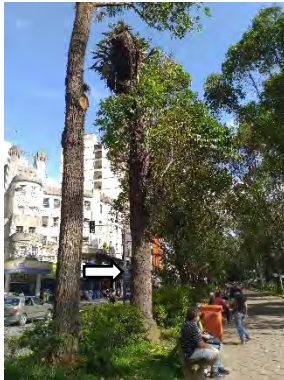
IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	43
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	53,79
Diâmetro de copa (m):	13
Altura total (m):	25,6
Altura até a 1ª ramificação (m):	1,6
Data da avaliação:	18/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA

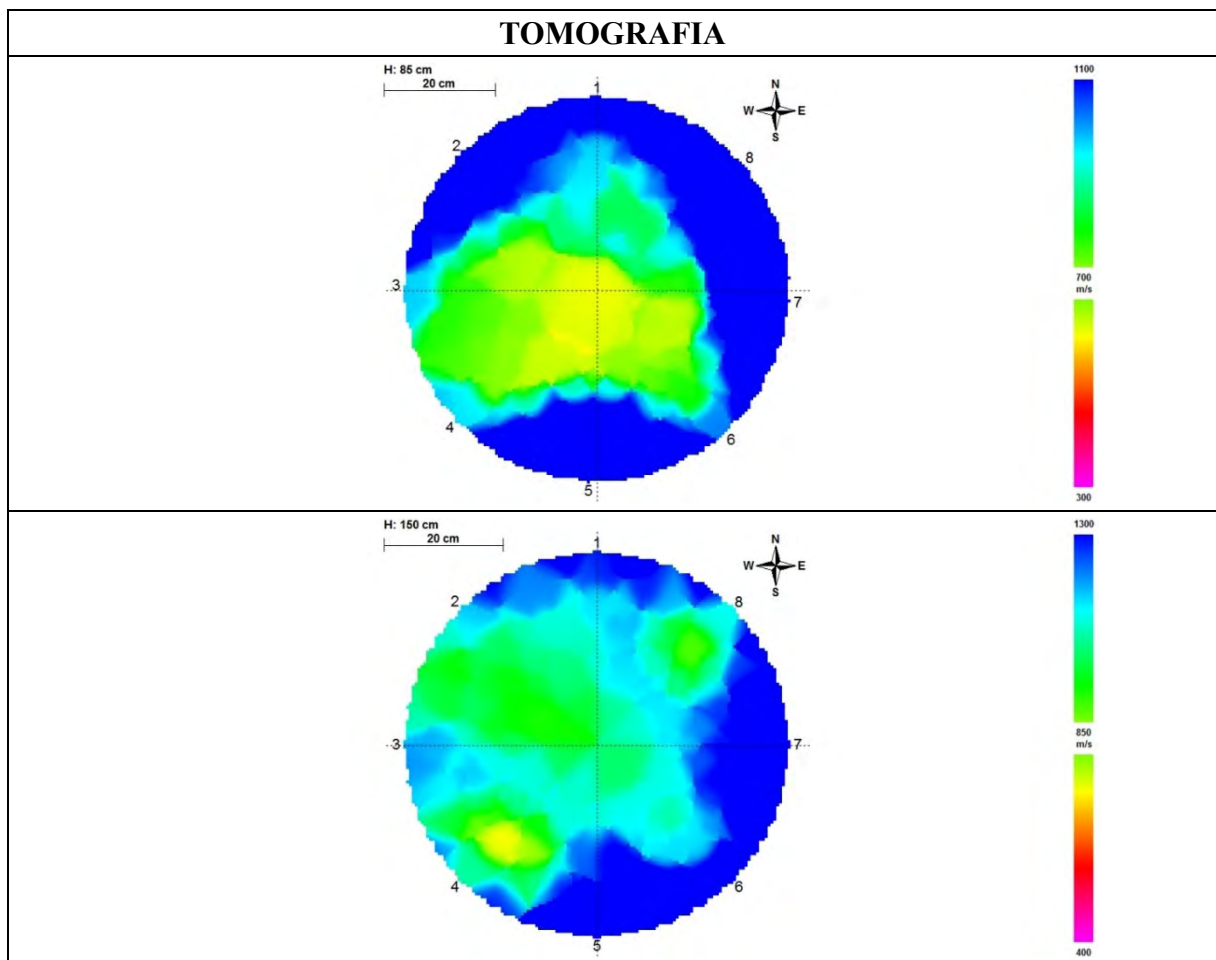


### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; podas anteriores com boa cicatrização, sem descaracterização da arquitetura da espécie.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	44
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	66,85
Diâmetro de copa (m):	8
Altura total (m):	13,4
Altura até a 1ª ramificação (m):	5,2
Data da avaliação:	19/11/2019

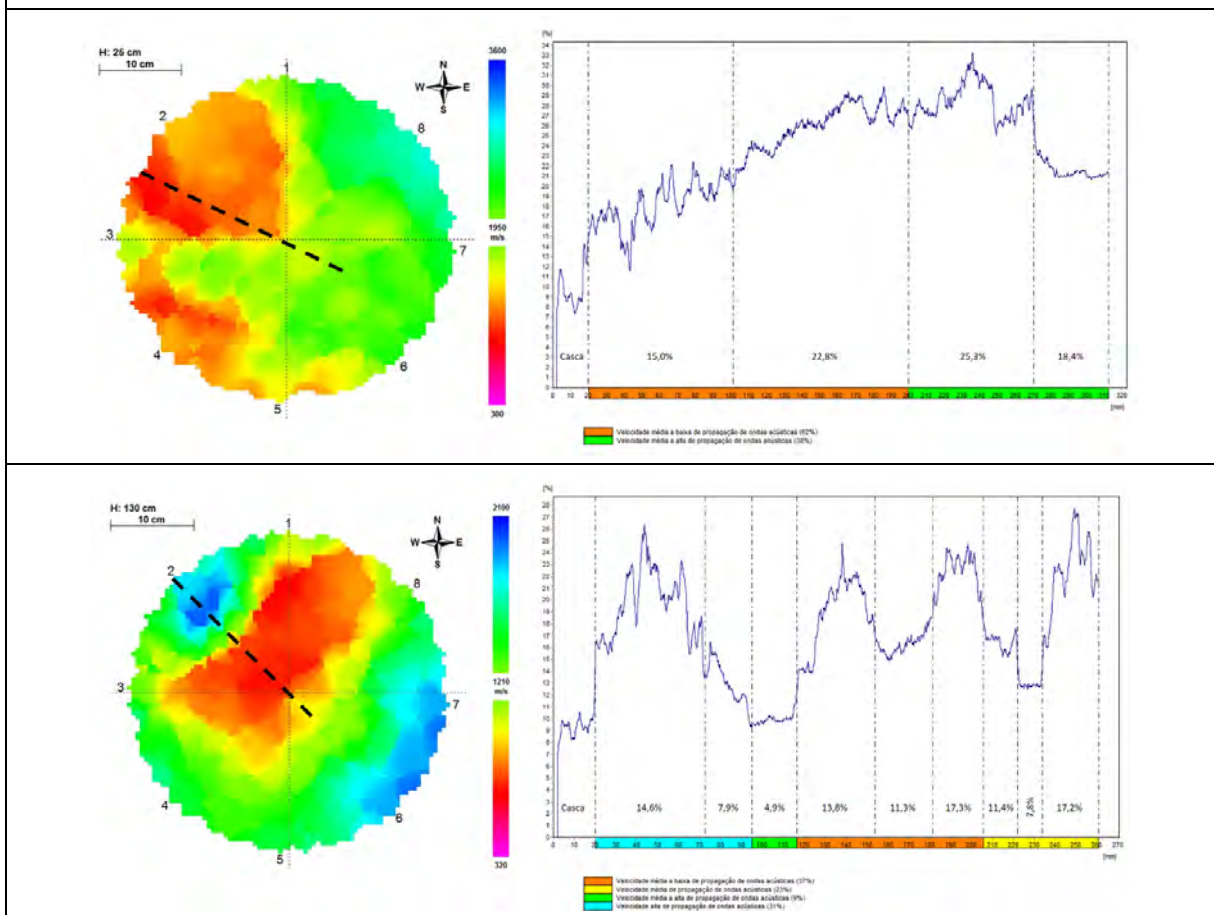


OBSERVAÇÕES VISUAIS	
<b>Sistema radicular visível:</b>	Apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; tronco injuriado; fuste com lesão leve.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.



IDENTIFICAÇÃO E DADOS DENDROMÉTRICOS	
Árvore:	45
Nome científico:	<i>Eucalyptus robusta</i>
DAP (cm):	34,52
Diâmetro de copa (m):	6,5
Altura total (m):	15,8
Altura até a 1ª ramificação (m):	14,5
Data da avaliação:	25/11/2019

### TOMOGRAFIA E RESISTOGRAFIA



### OBSERVAÇÕES VISUAIS

<b>Sistema radicular visível:</b>	Não apresenta afloramento de raízes.
<b>Tronco:</b>	Presença de patógenos; fuste sem lesão aparente.
<b>Copa:</b>	Presença de galhos mortos e/ou danificados devido a podas anteriores; poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.