



Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade - PPGCS

ELISIANE OLIVEIRA TEIXEIRA LACERDA

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL NO SUL DO
BRASIL**

TEIXEIRA DE FREITAS - BA

2025

ELISIANE OLIVEIRA TEIXEIRA LACERDA

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL NO SUL DO
BRASIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade da Universidade Federal do Sul da Bahia, como parte das exigências para obtenção do título de mestre(a) em Ciências e Sustentabilidade.

Orientador(a): Prof Dr. Gerson Dos Santos Lisboa

Coorientador: Prof Dr. Luciano Farinha
Watzlawick

Coorientador: Prof Dr. Thiago Floriani Stepka

TEIXEIRA DE FREITAS -BA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia
Sistema de Bibliotecas

L131p	Lacerda, Elisiane Oliveira Teixeira. Projeção diamétrica em remanescente de floresta ombrófila mista aluvial no sul do Brasil / Elisiane Oliveira Teixeira Lacerda. Teixeira de Freitas, 2026. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Paulo Freire, Centro de Formação e Desenvolvimento Territorial, Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade, 2026. Orientador: Prof. Dr. Gerson dos Santos Lisboa. 1. Modelagem florestal. 2. Projeção diamétrica. 3. Sul do Brasil (País). I. Título. II. Lisboa, Gerson dos Santos. CDD – 634.9
-------	---

ELISIANE OLIVEIRA TEIXEIRA LACERDA

PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL NO SUL DO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade da Universidade Federal do Sul da Bahia, como parte das exigências para obtenção do título de mestre(a) em Ciências e Sustentabilidade.

Orientador(a): Prof Dr. Gerson Dos Santos Lisboa
Coorientador: Prof Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Coorientador: Prof Dr. Thiago Floriani Stepka

Este trabalho foi submetido à avaliação e julgado aprovado em: 31/ Outubro/ 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GERSON DOS SANTOS LISBOA**
Data: 25/05/2026 14:34:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Gerson dos Santos Lisboa
UFG

Documento assinado digitalmente
 **JOAO BATISTA LOPES DA SILVA**
Data: 26/05/2026 18:17:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Batista Lopes da Silva
UFSB

Documento assinado digitalmente
 **VAGNER ALEX PESCK**
Data: 26/05/2026 15:12:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Vagner Alex Pesck
UNICENTRO

Documento assinado digitalmente
 **LUANNA CHACARA PIRES**
Data: 26/05/2026 15:31:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Luanna Chácara Pires
UFSB

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL HENRIQUE DE FREITAS NORONHA**
Data: 25/05/2026 14:46:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rafael Henrique de Freitas Noronha
UFSB

TEIXEIRA DE FREITAS -BA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela força e pelas oportunidades concedidas ao longo desta caminhada.

À minha família, especialmente ao meu esposo, ao meu filho, aos meus pais e aos meus irmãos, por todo amor, apoio e compreensão durante este período de tantos desafios e aprendizados. Iniciei o mestrado com meu filho ainda bebê, em um momento delicado de adaptação e recomeço, e foi o carinho deles que me sustentou quando o cansaço parecia maior que a vontade de continuar. Agradeço, em especial, à minha mãe, que sempre me incentivou a estudar e a acreditar que o conhecimento é um caminho de transformação e liberdade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gerson dos Santos Lisboa, pela dedicação, paciência e confiança depositada em mim. Agradeço por todas as orientações e por não permitir que eu desistisse nos momentos mais difíceis.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick e Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka, pela valiosa contribuição científica e por ampliarem minha visão sobre a pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade da Universidade Federal do Sul da Bahia (PPGCS/UFSB), pelo espaço de aprendizado e diálogo entre diferentes saberes, e ao coordenador Prof. João Batista Lopes da Silva, pelo incentivo e atenção constantes.

Ao campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela disponibilização do banco de dados que tornou possível o desenvolvimento deste trabalho, e à equipe do software MataNativa pela cessão da licença para as análises do inventário florestal.

Sou grata também ao Escritório de Projetos da Suzano – Bahia, ao meu coordenador Francisco Colli, local onde exerço minha profissão, pela compreensão e apoio durante todo o percurso, especialmente pela flexibilidade que me permitiu conciliar as atividades profissionais com as acadêmicas.

Desde a graduação, minha trajetória profissional foi construída em espaços dedicados à conservação ambiental, ao fortalecimento da agricultura familiar e ao desenvolvimento territorial sustentável. Atuei em projetos voltados à organização de comunidades locais, ao apoio a políticas públicas e à implementação de ações práticas de sustentabilidade — desde o trabalho em viveiros de mudas e coleta de sementes, no Arboretum e no IPEF, até a execução

de projetos junto a associações e movimentos sociais, promovendo oficinas, formações e estratégias de gestão, produção e comercialização.

Essas experiências moldaram meu olhar sobre o território e despertaram em mim o desejo de compreender, também pela pesquisa, os processos ecológicos e sociais que sustentam as florestas e as pessoas que delas dependem. Este trabalho é, portanto, fruto de uma caminhada que une ciência, afeto e compromisso com o desenvolvimento sustentável.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta jornada se tornasse possível, deixo aqui meu mais sincero e afetuoso agradecimento.

“Olhar uma floresta é enxergar passado, presente e futuro convivendo no mesmo espaço.”

Niro Higuchi

LACERDA, Elisiane Oliveira Teixeira. **Projeção diamétrica em remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no Sul do Brasil**. Orientador: Gerson dos Santos Lisboa. Coorientadores: Luciano Farinha Watzlawick; Thiago Floriani Stepka. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências e Sustentabilidade) – Universidade Federal do Sul da Bahia, Teixeira de Freitas, 2025.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a acuracidade das projeções da distribuição diamétrica e caracterizar a composição florística de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial (FOMA), localizado no Sul do Brasil, no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava – PR, utilizando os modelos da Matriz de Transição (Cadeias de Markov) e da Razão de Movimentação. As análises foram realizadas com base em três períodos de monitoramento do Inventário Florestal Contínuo (2013, 2018 e 2024), em um fragmento de aproximadamente 11,5 hectares, composto por 31 parcelas permanentes de 10×10 m (0,01 ha), totalizando 0,31 ha de área amostrada. Foram mensurados todos os indivíduos arbóreos com $DAP \geq 5$ cm, devidamente identificados, plaqueteados e georreferenciados. A composição florística revelou diversidade elevada e estrutura heterogênea, com presença de espécies de afinidade tropical e temperada, como *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea* spp., *Casearia decandra* e *Nectandra grandiflora*. Os grupos ecológicos apontaram predominância de espécies secundárias iniciais e tardias, caracterizando um remanescente em estágio sucessional intermediário, com regeneração ativa e variações estruturais ao longo dos inventários. A área basal aumentou de $27,84 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (2013) para $29,32 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (2024), evidenciando incremento estrutural moderado. A estrutura diamétrica foi organizada em classes de amplitude variável, sendo adotados intervalos de 3 cm para o inventário de 2013 e de 4 cm para os inventários de 2018 e 2024, visando melhor ajuste à distribuição dos dados e à dinâmica observada ao longo do período, e a intensidade amostral atingiu 2,69%, com erro médio de amostragem entre 11,9% e 13,5%, demonstrando precisão adequada para o conjunto analisado. A acuracidade das projeções foi avaliada pelos testes de Kolmogorov–Smirnov, Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE). Embora o teste K–S tenha indicado ausência de aderência formal, os modelos apresentaram coerência ecológica, especialmente a Matriz de Transição, que resultou em menores discrepâncias entre valores observados e estimados. As simulações indicaram estabilidade estrutural relativa, baixa migração para classes superiores e predominância de indivíduos jovens, comportamento característico de florestas inequidâneas em regeneração contínua. Os resultados reforçam a importância da integração entre análises florísticas e modelagem estrutural para compreender a dinâmica da FOMA Aluvial e subsidiar estudos futuros sobre sua evolução, conservação e comportamento estrutural ao longo do tempo.

Palavras-chave: Floresta Ombrófila Mista; Composição Florística; Modelagem Florestal; Cadeias de Markov; Distribuição Diamétrica.

LACERDA, Elisiane Oliveira Teixeira. **Diameter projection in a remnant of Alluvial Mixed Ombrophilous Forest in Southern Brazil**. Advisor: Gerson dos Santos Lisboa. Co-advisors: Luciano Farinha Watzlawick; Thiago Floriani Stepka. 2025. Dissertation (Master's Degree in Science and Sustainability) – Federal University of Southern Bahia, Teixeira de Freitas, 2025.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the accuracy of diameter distribution projections and to characterize the floristic composition of a remnant of Alluvial Mixed Ombrophilous Forest (AMOF), located in southern Brazil, on the CEDETEG campus of the State University of the Central-West (UNICENTRO), in Guarapuava, Paraná, using the Transition Matrix (Markov Chains) and Movement Ratio models. Analyses were based on three monitoring periods of the Continuous Forest Inventory (2013, 2018, and 2024), in a fragment of approximately 11.5 hectares composed of 31 permanent plots measuring 10×10 m (0.01 ha), totaling 0.31 ha of sampled area. All arboreal individuals with DBH ≥ 5 cm were measured, properly identified, tagged, and georeferenced. The floristic composition revealed high diversity and a heterogeneous structure, with the presence of species of tropical and temperate affinity, such as *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea* spp., *Casearia decandra*, and *Nectandra grandiflora*. Ecological groups indicated a predominance of early and late secondary species, characterizing a remnant in an intermediate successional stage, with active regeneration and structural variations across inventories. Basal area increased from $27.84 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (2013) to $29.32 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (2024), indicating moderate structural increment. The diameter structure was organized into classes of variable width, adopting 3 cm intervals for the 2013 inventory and 4 cm intervals for the 2018 and 2024 inventories, aiming at better adjustment to data distribution and the dynamics observed over time. Sampling intensity reached 2.69%, with mean sampling error between 11.9% and 13.5%, demonstrating adequate precision for the analyzed dataset. Projection accuracy was assessed using the Kolmogorov–Smirnov test, Root Mean Square Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE). Although the K–S test indicated a lack of formal goodness-of-fit, the models showed ecological coherence, particularly the Transition Matrix, which resulted in smaller discrepancies between observed and estimated values. Simulations indicated relative structural stability, low migration to upper diameter classes, and a predominance of young individuals—behavior characteristic of uneven-aged forests under continuous regeneration. The results reinforce the importance of integrating floristic analyses and structural modeling to understand the dynamics of Alluvial AMOF and to support future studies on its evolution, conservation, and structural behavior over time.

Keywords: Mixed Ombrophilous Forest; Floristic Composition; Forest Modeling; Markov Chains; Diameter Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	34
Figura 2 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2013.....	73
Figura 3 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2018.....	75
Figura 4 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2024.....	76
Figura 5 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2013.....	79
Figura 6 Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2013	79
Figura 7 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2018.....	80
Figura 8 Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2018.	81
Figura 9 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2024.....	82
Figura 10 Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2024.	83
Figura 11 Resultado da Distribuição das Parcelas, por Grupo para os Anos de 2013, 2018 e 2024.....	83
Figura 12 Comparação entre os valores observados em 2013 e os valores estimados para 2018 pelo modelo de transição diamétrica.....	95
Figura 13 Comparação entre os valores observados em 2018 e os valores estimados para 2024 pelo modelo de transição diamétrica.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Análise estatística da amostragem nos inventários de 2013, 2018 e 2024.....	48
Tabela 2 Estrutura Horizontal em 2013.	54
Tabela 3 Estrutura Horizontal em 2018.	55
Tabela 4 Estrutura Horizontal em 2024.	56
Tabela 5 - Índices de diversidade ecológica (N, S, ln(S), H', C, J e QM) nos inventários de 2013, 2018 e 2024.	57
Tabela 8 Resultado da florística realizada em 2013.....	59
Tabela 9 Resultado da florística realizada em 2018.....	60
Tabela 10 Resultado da florística realizada em 2024.....	61
Tabela 11 Análise dos Padrões de Distribuição Espacial em 2013.	63
Tabela 12 Análise dos Padrões de Distribuição Espacial em 2018.	64
Tabela 13 Análise Estatística da Estrutura Diamétrica (2013, 2018 e 2024).....	67
Tabela 14 Estrutura Diamétrica para o ano de 2013.	69
Tabela 15 Estrutura Diamétrica para o ano de 2018.	70
Tabela 16 Estrutura Diamétrica para o ano de 2024.	71
Tabela 17 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2013.....	73
Tabela 18 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2013.	73
Tabela 19 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2018.....	74
Tabela 20 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2018.	75
Tabela 21 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2024.....	76
Tabela 22 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2024	76
Tabela 23 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2013.....	78
Tabela 24 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2018.....	80
Tabela 25 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2024.....	82
Tabela 26 Resultado da Matriz de Transição Diamétrica para os anos de 2013 a 2018.....	85
Tabela 27 Resultado da Matriz de Transição para os Anos de 2013-2018.....	87
Tabela 28 Resultado da Prognose do Número de Indivíduos.	88
Tabela 29 Resultado do Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	89
Tabela 30 Resultado da Matriz de Transição Diamétrica para os anos de 2018 a 2024.....	91
Tabela 31 Resultado da Matriz de Transição para os Anos de 2018-2024.....	93
Tabela 32 Resultado da Prognose do Número de Indivíduos.	94
Tabela 33 Resultado do Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	95
Tabela 34 Razão de movimentação de 2013 para 2018.....	98
Tabela 35 Razão de movimentação de 2018 para 2024.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Área Basal
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	Área de Proteção Ambiental
CAP	Circunferência à Altura do Peito
C	Coeficiente de Uniformidade
CV	Coeficiente de Variação
DA	Densidade Absoluta
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DBH	Diameter at Breast Height (Diâmetro à Altura do Peito)
DoA	Dominância Absoluta
DoR	Dominância Relativa
EMC	Estimativa Mínima de Confiança
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FA	Frequência Absoluta
Fe(x)	Função de Distribuição Acumulada Esperada
Fo(x)	Função de Distribuição Acumulada Observada
FOM	Floresta Ombrófila Mista
FOMA	Floresta Ombrófila Mista Aluvial
FR	Frequência Relativa
GPS	Global Positioning System
ha	hectare
H'	Índice de Diversidade de Shannon-Wiener
H0	Hipótese Nula
H1	Hipótese Alternativa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFC	Inventário Florestal Contínuo

IGA	Índice de MacGuinness
IC	Intervalo de Confiança
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPMd	Incremento Periódico Médio em Diâmetro
IVI	Índice de Valor de Importância
J	Equitabilidade de Pielou
Ki	Índice de Fracker e Brischle
K-S	Kolmogorov–Smirnov
ln	Logaritmo natural
Ln(Ni)	Logaritmo natural do número de indivíduos por classe
MAE	Mean Absolute Error (Erro Médio Absoluto)
n	Número de unidades amostrais observadas
N	Número total de indivíduos ou unidades amostrais
p	Probabilidade
Pi	Índice de Payandeh
PPGCS	Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade
PR	Paraná
QM	Coeficiente de Mistura de Jentsch
RM	Razão de Movimentação
RMSE	Root Mean Square Error (Raiz do Erro Quadrático Médio)
S	Riqueza de Espécies
SI	Secundária Inicial
Sn(x)	Função de Distribuição Empírica Observada
ST	Secundária Tardia
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
UFSB	Universidade Federal do Sul da Bahia
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro-Oeste
UTM	Universal Transverse Mercator
VC	Valor de Cobertura

VI	Valor de Importância
α (alfa)	Nível de significância estatística

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Parâmetro de posição (na função Meyer Tipo II)
a_i, b_i, c_i, m_i	Probabilidades de transição entre classes (permanência, avanço, salto e mortalidade)
b	Parâmetro de escala da função Weibull
B	Parâmetro de declividade do modelo de Meyer
c	Parâmetro de forma da função Weibull
d	Distância Euclidiana
D	Índice de dominância de Simpson
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
Dcalc	Valor calculado da estatística de Kolmogorov-Smirnov
Dn	Ponto de máxima divergência entre as funções Fo(x) e Fe(x)
d_i	Diâmetro médio da i-ésima classe
e	Base dos logaritmos naturais ($\approx 2,71828$)
E	Erro máximo admitido
f	Fração amostral (n/N)
f(x)	Função densidade de probabilidade
F(x)	Função de distribuição acumulada
Fe(x)	Função de distribuição acumulada esperada (teórica)
Fo(x)	Função de distribuição acumulada observada (empírica)
G	Matriz de probabilidade de transição
H'	Índice de diversidade de Shannon-Wiener
I	Vetor de ingresso (recrutamento)
J'	Índice de equabilidade de Pielou
K	Parâmetro do modelo de Meyer
K-S	Estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov
λ	Parâmetro da distribuição exponencial
ln	Logaritmo natural

MAE	Mean Absolute Error (Erro médio absoluto)
N	Tamanho da população total (número total de unidades ou indivíduos)
N_i	Número de indivíduos na i-ésima classe de diâmetro
n	Tamanho da amostra (número de unidades amostrais)
O	Índice de riqueza de Odum
p	Probabilidade
p_i	Proporção de indivíduos da i-ésima espécie
RMSE	Root Mean Square Error (Raiz do erro quadrático médio)
S	Riqueza de espécies (número total de espécies)
Sx²	Variância da média amostral
t	Valor da distribuição t de Student, associado ao nível de confiança
x_i, y_i	Coordenadas espaciais dos pontos amostrados
Y_t	Vetor de frequência de árvores no tempo t
α	Nível de significância estatística (erro tipo I)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa	20
2. OBJETIVO GERAL	22
2.1 Objetivos Específicos	22
2.3 Hipótese	22
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial	23
3.2 Manejo Florestal Sustentável	23
3.3 Dinâmica de Espécies Arbóreas e Matriz de Transição.....	24
3.4 Estrutura Diamétrica de Florestas Nativas.....	25
3.5 Amostragem	25
3.6 Crescimento das Árvores	26
3.7 Ingresso de Indivíduos na Classe Inicial de Diâmetro	27
3.8 Mortalidade	27
3.9 Estrutura Diamétrica da Floresta.....	28
3.10 Matriz de Transição	28
3.11 Razão de Movimentação	29
3.12 Teste de Aderência.....	29
3.13 Modelagem da Distribuição Diamétrica	30
3.14 Análise de Agrupamento.....	30
3.15 Composição Florística em Florestas Nativas	31
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 Descrição da área de estudo	33
4.1.1 Localização	33
4.2 Clima da Região.....	34
4.3 Vegetação.....	35
4.4 Solos.....	36
4.5 Material e equipamentos	36
4.6 Metodologia	36
4.6.1 Coleta de Dados	36
4.6.2 Processamento dos dados.....	37
4.6.3 Variáveis analisadas.....	37
4.6.4 Amostragem da Vegetação	38
4.6.5 Composição Florística.....	38
4.6.6 Estágio Sucessional da Vegetação	39
4.6.7 Obtenção das Variáveis Dendrométricas	39
4.7 Dinâmica da Floresta	39
4.7.1 Procedimentos de cálculo das variáveis.....	40
4.7.2 Diversidade Florística	40
4.7.3 Similaridade Florística	41
4.7.4 Distribuição Espacial	41
4.8. Análise de Agrupamento.....	41
4.9 Estrutura diamétrica	42

4.10 Funções de densidade de probabilidade.....	42
4.11 Matriz de Transição de Markov	43
4.12 Razão de Movimentação	45
4.13 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Composição Florística e Estrutura Horizontal	48
5.1.1 Análise Estatística da Amostragem – Inventários de 2013, 2018 e 2024.....	48
5.1.2 Discussão da Amostragem	49
5.2 Análise Comparativa da Estrutura Amostral e da Composição Florística nos Inventários Florestais de 2013, 2018 e 2024.....	49
5.3 Estágio Sucessional das Espécies	50
5.4 Estrutura Horizontal da Vegetação Arbórea	52
5.5 Diversidade Florística	57
5.6 Composição Florística.....	58
5.7 Padrões de Distribuição Espacial da Vegetação Arbórea	62
5.8 Estrutura Diamétrica (2013–2024).....	66
5.9 Distribuição de Frequência do DAP (2013, 2018 e 2024).....	67
5.10 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2013.....	72
5.11.1 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2018	74
5.11.2 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2024.....	75
5.12 Análise Comparativa das Funções de Distribuição (2013, 2018 e 2024)	77
5.13 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2013	78
5.13.1 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2018	79
5.13.2 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2024	81
5.14 Dinâmica Temporal do Agrupamento das Parcelas (2013, 2018 e 2024)	83
5.15 Matriz de Transição Diamétrica (2013 a 2018)	84
5.16 Probabilidade de transição de árvores 2013 - 2018	86
5.17 Prognose do Número de Indivíduos (2013 a 2018)	88
5.18 Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov (2013–2018).....	88
5.19 Matriz de Transição Diamétrica (2018 a 2024)	89
5.20 Probabilidade de transição de árvores 2018 – 2024.....	92
5.21 Prognose do Número de Indivíduos (2018 à 2024)	94
5.22 Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S) 2018 a 2024	94
5.23 Transição Diamétrica, Prognose e Aderência (2013–2024)	95
5.24 Razão de movimentação entre 2013 e 2018.....	96
5.25 Razão de movimentação entre 2018 e 2024.....	99
6. CONCLUSÃO	101
7. REFERÊNCIAS	103

1. INTRODUÇÃO

As florestas desempenham papel essencial no equilíbrio ecológico e no bem-estar humano, fornecendo regulação climática, proteção de recursos hídricos, conservação da biodiversidade e insumos para diversas cadeias produtivas. A manutenção desses serviços depende da adoção de práticas de manejo florestal que considerem as especificidades estruturais e dinâmicas de cada tipologia, reconhecendo suas distintas respostas a fatores ambientais e a intervenções antrópicas (SILVA, 2015; COSTA; ALMEIDA, 2018; MARTINS et al., 2021).

No Brasil, destaca-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta com Araucária, considerada uma das formações mais singulares da Mata Atlântica. Historicamente, essa floresta ocupava ampla extensão territorial, mas atualmente subsiste de forma fragmentada devido à exploração seletiva e à conversão do uso do solo (RIBEIRO et al., 2009; CUNHA; WATZLAWICK, 2020).

A FOM apresenta quatro formações fitogeográficas — Aluvial, Submontana, Montana e Altomontana — definidas por gradientes de altitude, relevo e regime hídrico, que resultam em diferenças florísticas e estruturais significativas (RODERJAN et al., 2002; PEDROSO, 2019; OLIVEIRA et al., 2020; LIMA et al., 2021). Entre elas, a FOM Aluvial ocupa planícies sujeitas a inundações periódicas, desempenhando papel estratégico na conectividade de habitats, na estabilidade de margens e na manutenção da qualidade da água.

A composição florística desses remanescentes também é fundamental para compreender sua dinâmica estrutural. A diversidade de espécies, a forma como se distribuem nos estratos e as diferenças entre seus grupos ecológicos influenciam diretamente processos como recrutamento, mortalidade e competição. No fragmento estudado em Guarapuava-PR, marcado por heterogeneidade ambiental e estrutura inequiana, conhecer essa composição permite interpretar melhor como a floresta se organiza e responde às mudanças ao longo do tempo.

A caracterização florística oferece suporte às análises de projeção diamétrica, uma vez que as espécies apresentam ritmos distintos de crescimento, tolerância ao sombreamento e estratégias de ocupação de nicho, impactando as transições entre classes e o equilíbrio futuro da comunidade. Assim, destacar a florística reforça a relevância ecológica do remanescente e justifica a necessidade de estudos que integrem monitoramento estrutural e modelagem.

Além de sua importância ecológica, a FOM sustenta atividades socioeconômicas de comunidades locais por meio da oferta de produtos madeireiros e não madeireiros. Sua conservação é fundamental para serviços ecossistêmicos como o sequestro de carbono, a ciclagem de nutrientes, a estabilidade do solo e a regulação hídrica (MOURA; SANTOS, 2017;

FERREIRA et al., 2019; BRANCALION; RODRIGUES, 2022). Entretanto, a exploração histórica, a fragmentação e a presença de espécies exóticas invasoras, como *Ligustrum lucidum*, têm comprometido sua regeneração natural e resiliência, colocando em risco espécies nativas de alto valor ecológico e cultural (REITZ; KLEIN, 1979; GOMES; PEREIRA, 2020).

A dinâmica estrutural dessas florestas é determinada principalmente por processos de crescimento, ingresso e mortalidade, expressos na distribuição diamétrica e na regeneração natural. O monitoramento por inventários florestais contínuos, por meio de parcelas permanentes, permite avaliar tais parâmetros em médio e longo prazo, fornecendo informações essenciais para compreender a trajetória sucessional e orientar estratégias de manejo (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; VIBRANS et al., 2012). No entanto, para a FOM Aluvial, esse conhecimento ainda é incipiente, o que representa um entrave ao planejamento de sua conservação e uso sustentável (SOUZA, 2013; LIMA; SOUZA, 2017).

Historicamente, diversos métodos de modelagem têm sido utilizados para prognose da estrutura florestal. Entre eles, a matriz de transição (ou cadeias de Markov), inicialmente proposta em estudos populacionais (LESLIE, 1945; 1948) e aplicada ao contexto florestal por Usher (1966), consolidou-se como ferramenta relevante para avaliar a dinâmica de florestas inequidâneas. No Brasil, Scolforo (1994) e Pulz et al. (1999) destacaram o potencial da técnica na prognose de florestas nativas, sobretudo em cenários de elevada heterogeneidade estrutural.

Mais recentemente, métodos complementares, como a razão de movimentação, têm sido empregados para estimar probabilidades de transição entre classes diamétricas sem a necessidade de variáveis de difícil obtenção, como idade e índice de sítio, comuns em florestas plantadas (BUONGIORNO; MICHIE, 1980; VANCLAY, 1994; SCOLFORO et al., 1998).

Nesse contexto, a presente pesquisa avalia a projeção diamétrica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial localizado em Guarapuava, Paraná, ao longo de três períodos de monitoramento (2013, 2018 e 2024). Por meio da aplicação de métodos de modelagem estrutural (Matriz de Transição e Razão de Movimentação), o estudo busca compreender a dinâmica da distribuição de diâmetros, estimar probabilidades de transição entre classes e comparar a acurácia das projeções obtidas. Os resultados pretendem contribuir para a formulação de estratégias de manejo adaptativo, a conservação da biodiversidade e a valorização dos serviços ecossistêmicos associados à FOM Aluvial.

1.1 Justificativa

As florestas nativas brasileiras apresentam elevada complexidade estrutural e florística, reunindo espécies com distintas características silviculturais, ecológicas e tecnológicas. No

entanto, a dinâmica da Floresta Ombrófila Mista Aluvial ainda é pouco compreendida, sobretudo no que diz respeito a processos como crescimento, mortalidade, ingresso e regeneração. A ausência de informações detalhadas limita a formulação de estratégias de manejo que conciliam conservação e uso sustentável.

Nesse cenário, torna-se imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que explorem métodos capazes de projetar a evolução estrutural dessas florestas. A utilização de modelos baseados em matrizes de transição e razão de movimentação representa uma alternativa metodológica promissora, por dispensar variáveis tradicionalmente usadas em modelos de crescimento de florestas plantadas, como idade e índice de sítio. Embora tais métodos já tenham sido aplicados em diferentes contextos tropicais e subtropicais (HIGUCHI, 1987; SCOLFORO, 1994; PULZ et al., 1999), sua aplicação em ambientes aluviais permanece restrita, conferindo caráter inovador ao presente estudo.

A relevância desta pesquisa também se justifica pela importância estratégica da FOM, cuja conservação é vital para a manutenção de serviços ecossistêmicos, incluindo sequestro de carbono, regulação hídrica, ciclagem de nutrientes e provisão de habitat para espécies ameaçadas. A fragmentação e a degradação histórica reforçam a urgência de estudos que avaliem sua resiliência e capacidade de regeneração, possibilitando simulações de cenários futuros que subsidiem políticas públicas e ações de manejo.

Ecologicamente aplicado, os resultados poderão contribuir para o fortalecimento de instrumentos de gestão previstos na legislação brasileira (Lei nº 12.651/2012; Lei nº 11.284/2006; Lei nº 6.938/1981; Lei nº 9.985/2000), além de oferecer subsídios a iniciativas de conservação e desenvolvimento socioeconômico de comunidades locais. Assim, este estudo busca preencher lacunas de conhecimento científico, fornece ferramentas técnicas para o planejamento florestal e reforçar o papel da ciência na promoção da sustentabilidade ecológica e social da Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a acuracidade das projeções da distribuição diamétrica em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial localizado em Guarapuava-PR, ao longo de um período de 11 anos (2013, 2018 e 2024), utilizando e comparando os modelos da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação.

2.1 Objetivos Específicos

Caracterizar a composição florística e a evolução da estrutura diamétrica da floresta nos anos de 2013, 2018 e 2024;

Identificar padrões de estrutura e diversidade florística das unidades amostrais por meio de análise de agrupamento hierárquico (distância euclidiana; ligação Ward), classificando-as em grupos ecológicos;

Estimar as probabilidades de transição entre classes diamétricas e projetar a estrutura por meio da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação.

2.3 Hipótese

A projeção diamétrica em remanescente da Floresta Ombrófila Mista Aluvial é capaz de representar com acuracidade a dinâmica estrutural da comunidade arbórea, refletindo processos de crescimento, ingresso e mortalidade. Assim, espera-se que os modelos da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação forneçam projeções consistentes, capazes de subsidiar o manejo florestal sustentável e a conservação dessa tipologia.

Qual a variação da estrutura diamétrica entre 2013, 2018 e 2024?

Como os processos de crescimento, ingresso e mortalidade influenciam a probabilidade de transição entre classes diamétricas?

Os métodos aplicados diferem quanto à acuracidade das projeções?

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial

O Bioma Mata Atlântica é um dos mais diversos do planeta e apresenta diferentes fitofisionomias, entre as quais a Floresta Ombrófila Mista (FOM), também denominada Floresta com Araucária. Essa formação caracteriza-se por ser estruturalmente complexa, abrigando diversas comunidades biológicas e desempenhando papel essencial na conservação da biodiversidade (NASCIMENTO; LONGHI; BRENA, 2001). Além disso, apresenta ampla distribuição no território brasileiro, estando associada a condições edafoclimáticas específicas.

A FOM possui quatro formações distintas em função da altitude: Aluvial, Submontana, Montana e Altomontana (RODERJAN et al., 2002). A formação aluvial, também conhecida como floresta de galeria, ocorre em áreas de planície e está diretamente relacionada ao regime hídrico, influenciado pelas inundações periódicas dos rios. Essas florestas exercem papel fundamental na estabilidade ecológica, no controle da erosão e na manutenção da qualidade da água, funcionando como áreas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres (SOCHER et al., 2008).

Estudos clássicos (LONGHI, 1980; RODERJAN et al., 2002) destacam que, na FOM Montana (600–1200 m), a *Araucaria angustifolia* constitui o estrato dominante, formando dossel contínuo de até 30 m, podendo atingir indivíduos emergentes acima de 40 m. Associam-se a essa espécie outras de elevada relevância ecológica e econômica, como *Ilex dumosa* (Cauninha), *Nectandra grandiflora* (Canela-amarela), *Ocotea porosa* (Imbuia) e *Campomanesia xanthocarpa* (Guabiroba). Essa diversidade reforça a complexidade da FOM, cuja estrutura influencia diretamente os processos de regeneração natural e a dinâmica sucessional.

A conservação da FOM, sobretudo em sua formação aluvial, tem sido objeto de preocupação crescente, visto que essas áreas estão entre as mais impactadas pela expansão agropecuária, urbanização e fragmentação florestal. Nesse contexto, compreender sua estrutura e dinâmica é fundamental para subsidiar estratégias de manejo e conservação que garantam a sustentabilidade desses ecossistemas.

3.2 Manejo Florestal Sustentável

A preocupação com os impactos ambientais decorrentes da exploração florestal predatória e da expansão agrícola vem crescendo, principalmente no contexto das mudanças climáticas e da escassez de recursos naturais. Nesse cenário, o manejo florestal sustentável

emerge como ferramenta essencial para compatibilizar conservação e produção, assegurando a oferta contínua de recursos madeireiros e não madeireiros, além de serviços ambientais fundamentais (CARNICEL, 2015).

O manejo florestal sustentável é entendido como um processo que busca conciliar aspectos ecológicos, econômicos e sociais, sendo considerado ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável (HIGMAN et al., 2015). Essa concepção amplia a visão tradicional de exploração, integrando práticas que visam reduzir impactos sobre a regeneração natural, proteger a fauna e flora associadas e manter a funcionalidade dos ecossistemas.

Segundo Sabogal et al. (2006), diferentemente da exploração convencional, o manejo florestal sustentável pressupõe planejamento técnico, definição de ciclos de corte, monitoramento pós-colheita e inclusão das comunidades locais no processo de decisão. Isso implica não apenas em assegurar a continuidade do estoque florestal, mas também em promover justiça social e fortalecimento das economias locais.

Para florestas nativas complexas, como a FOM, esse tipo de manejo demanda o uso de ferramentas que permitam compreender e projetar sua estrutura futura, como os modelos de crescimento e produção. Tais métodos, aliados a inventários florestais contínuos, fornecem subsídios para um manejo adaptativo, ajustado às especificidades de cada tipologia florestal.

3.3 Dinâmica de Espécies Arbóreas e Matriz de Transição

A dinâmica florestal corresponde ao conjunto de processos que determinam as alterações na composição e estrutura de uma floresta ao longo do tempo, como crescimento, ingresso e mortalidade de indivíduos. Esses processos permitem entender como as florestas se renovam, se estruturam e respondem a perturbações naturais ou antrópicas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010).

Aspectos florísticos e estruturais são considerados indicadores-chave do estado de conservação e do estágio sucessional de uma floresta (SANQUETTA et al., 2014). Para monitorar essas variáveis, utilizam-se inventários florestais contínuos em parcelas permanentes, que possibilitam a coleta de informações a médio e longo prazo, fornecendo bases sólidas para a modelagem e para a elaboração de planos de manejo.

Entre os métodos de modelagem, destaca-se a matriz de transição, ou cadeia de Markov, que constitui um processo estocástico no qual a probabilidade de um indivíduo migrar de uma classe diamétrica para outra depende de seu estado atual (FERNANDEZ, 1975). Essa técnica

possibilita projetar distribuições futuras de diâmetro e avaliar cenários de manejo (MACHADO et al., 2017).

Autores como Alder e Synnott (1992) e Vanclay (1994) ressaltam, entretanto, que a intensidade amostral e o tamanho das unidades de amostragem são determinantes para a precisão das projeções. Em florestas tropicais, recomenda-se parcelas de 1 hectare para garantir representatividade adequada das variáveis contínuas (diâmetro, área basal, altura) e discretas (ingresso, mortalidade).

A utilização de matrizes de transição em estudos de FOM apresenta-se como alternativa relevante para compreender a evolução da estrutura diamétrica e apoiar a tomada de decisão em planos de manejo sustentável.

3.4 Estrutura Diamétrica de Florestas Nativas

A análise da estrutura diamétrica é um dos instrumentos mais utilizados para compreender a dinâmica de florestas naturais. Em florestas inequiduais, a distribuição diamétrica geralmente apresenta formato exponencial negativo, indicando alta proporção de indivíduos jovens nas classes inferiores e menor número nas classes superiores, isso reflete nos processos contínuos de regeneração e mortalidade (OLIVEIRA-FILHO et al., 2013).

Estudos realizados em florestas tropicais mostram que a variação da estrutura diamétrica pode ser influenciada por fatores ambientais, como disponibilidade de luz, competição, distúrbios naturais e sucessão ecológica (DENSLOW, 2006; WEBB et al., 2011). No caso da FOM Aluvial, a presença de espécies adaptadas a condições de inundação periódica contribui para padrões estruturais diferenciados, os quais precisam ser considerados em estratégias de manejo (VANTROBA, 2018).

A relevância da estrutura diamétrica para o manejo reside no fato de que ela fornece indícios sobre o potencial de regeneração da floresta e a sustentabilidade dos processos de exploração. Dessa forma, sua análise crítica é essencial para o desenvolvimento de modelos de predição e de práticas de manejo adaptadas à realidade da FOM.

3.5 Amostragem

A amostragem constitui etapa fundamental em estudos florestais, pois representa a base para estimar, com confiabilidade, parâmetros estruturais e dinâmicos de uma população florestal. Segundo Péllico Netto e Brena (1997), os processos de amostragem buscam obter informações a partir de um subconjunto de unidades amostrais, garantindo representatividade em relação à população total. Nesse sentido, os inventários florestais tornam-se ferramentas

imprescindíveis, pois permitem avaliar a composição, a estrutura e as tendências de crescimento da floresta.

Brena (1979) já destacava que inventários contínuos são indispensáveis quando se pretende compreender a evolução temporal da floresta, especialmente em ambientes tropicais de alta diversidade e complexidade estrutural. Entretanto, a confiabilidade dos resultados depende diretamente do delineamento adotado. A intensidade amostral e o tamanho das unidades amostrais devem ser dimensionados de acordo com a variabilidade das variáveis de interesse, como diâmetro, altura, área basal e volume.

Autores como Alder e Synnott (1992) e Vanclay (1994) recomendam parcelas de um hectare para estudos em florestas tropicais, justamente para capturar com maior precisão a heterogeneidade desses ambientes. Essa padronização possibilita comparações entre diferentes áreas e ao longo do tempo. No caso de florestas nativas como a FOM, a escolha de uma metodologia de amostragem adequada é ainda mais crítica, pois influencia diretamente a qualidade dos modelos de crescimento e de projeção da estrutura diamétrica.

3.6 Crescimento das Árvores

O crescimento das árvores pode ser entendido como o incremento nas suas dimensões ao longo do tempo, seja em diâmetro, altura, volume, biomassa ou área basal. De acordo com Scolforo (1994), o crescimento é a principal variável que reflete as alterações estruturais de uma floresta, permitindo compreender sua evolução e capacidade de sustentação de recursos.

Para Prodan et al. (1997), o crescimento é influenciado tanto por características genéticas das espécies quanto por fatores ambientais, como clima, solo, relevo e disponibilidade de luz. Além desses elementos, a competição entre indivíduos exerce papel determinante, pois regula o acesso a recursos essenciais para o desenvolvimento das árvores. Nesse contexto, os métodos de predição de crescimento assumem papel estratégico para a ciência florestal, já que permitem estimar, com base em parcelas permanentes, o incremento esperado em diferentes períodos de tempo.

O crescimento em diâmetro, também denominado crescimento secundário, é amplamente utilizado em estudos de modelagem, pois além de ser de fácil mensuração em campo, reflete diretamente a dinâmica da área basal e da estrutura diamétrica. Encinas et al. (2005) destacam que a avaliação do crescimento em área basal é igualmente importante, pois permite compreender a densidade e a competição entre indivíduos. Em florestas inequiduais, esse tipo de análise é essencial, visto que revela a capacidade da floresta em manter-se produtiva e em regeneração contínua.

3.7 Ingresso de Indivíduos na Classe Inicial de Diâmetro

O ingresso, também denominado recrutamento, corresponde ao número de árvores que atingem o diâmetro mínimo estabelecido para medição em inventários sucessivos (SCOLFORO et al., 1998). Essa variável é de grande importância, pois indica a capacidade de reposição natural da floresta e sua sustentabilidade em longo prazo (CHAGAS, 2000).

Vanclay (1994) diferencia os conceitos de regeneração e recrutamento. A regeneração refere-se ao surgimento de novos indivíduos, seja por germinação natural ou por plantios artificiais, enquanto o recrutamento refere-se ao ingresso desses indivíduos em classes mensuráveis de diâmetro. Essa distinção é relevante para compreender o funcionamento das florestas, pois nem toda regeneração resulta em recrutamento efetivo.

Estudos como os de Colpini et al. (2010) demonstram que o ingresso pode ser quantificado em termos absolutos ou relativos, considerando o número de novos indivíduos por hectare por ano. Esse parâmetro fornece informações essenciais sobre a reposição natural da floresta, podendo compensar ou não as perdas ocasionadas pela mortalidade. Ademais, Mendonça (2003) observa que a abertura de clareiras desempenha papel determinante no ingresso: clareiras pequenas tendem a favorecer espécies tolerantes à sombra, enquanto grandes distúrbios, como exploração madeireira, favorecem espécies pioneiras de rápido crescimento. Assim, compreender o ingresso é fundamental para o manejo da FOM Aluvial, pois esse processo assegura a manutenção da estrutura diamétrica e a continuidade ecológica do ecossistema.

3.8 Mortalidade

A mortalidade constitui um dos processos naturais mais importantes em ecossistemas florestais, pois abre espaço para a regeneração e afeta diretamente a estrutura populacional. Segundo Alder e Synnott (1992), a mortalidade em florestas naturais pode ser contínua e distribuída em diferentes intensidades, variando conforme a densidade populacional e a competição intra e interespecífica.

Pulz (1998) classifica a mortalidade em duas categorias: regular e irregular. A regular está associada à competição e à supressão de indivíduos dominados, bem como ao envelhecimento natural das árvores. Já a irregular decorre de fatores imprevisíveis, como a ocorrência de pragas, doenças, incêndios, ventos fortes ou eventos climáticos extremos. Ambas afetam significativamente a dinâmica estrutural, mas a irregular tende a provocar impactos mais drásticos e localizados.

A análise conjunta de mortalidade, crescimento e ingresso fornece um panorama completo da dinâmica florestal, permitindo identificar padrões de estabilidade ou instabilidade. Em florestas inequiduais, a mortalidade contribui para a manutenção da curva exponencial negativa da distribuição diamétrica, caracterizando a renovação contínua da floresta.

3.9 Estrutura Diamétrica da Floresta

A estrutura diamétrica constitui um dos indicadores mais utilizados para avaliar a sustentabilidade de florestas nativas. Em florestas inequiduais, a distribuição geralmente assume a forma de uma curva exponencial negativa, indicando predomínio de indivíduos nas classes diamétricas inferiores e menor frequência nas classes superiores (ORELLANA, 2009). Característico de florestas em equilíbrio dinâmico, nas quais regeneração, crescimento e mortalidade ocorrem continuamente.

Finol (1964; 1969) foi um dos pioneiros a destacar a importância da estrutura diamétrica regular para a sobrevivência das espécies e o manejo sustentável. Segundo o autor, a regularidade garante que as classes inferiores mantenham indivíduos suficientes para substituir aqueles que sofrem mortalidade ou são explorados. Machado et al. (1997) reforçam essa visão ao apontar que diferentes modelos matemáticos podem descrever a distribuição de frequência por classe diamétrica, sendo as funções de densidade de probabilidade as mais utilizadas.

Estudos mais recentes (CANALEZ et al., 2006; SCHNEIDER; FINGER, 2000; MARTINS, 2009) demonstram que a análise da estrutura diamétrica permite caracterizar tipologias vegetais, estágios sucessionais, regimes de manejo e estados de conservação. Para a FOM, essa abordagem é ainda mais importante, dado seu histórico de exploração predatória e fragmentação. Assim, a análise crítica da estrutura diamétrica possibilita avaliar a resiliência dos remanescentes e planejar estratégias de manejo adaptadas à realidade ecológica da formação aluvial.

3.10 Matriz de Transição

As matrizes de transição, também conhecidas como cadeias de Markov, são ferramentas matemáticas utilizadas para projetar mudanças na estrutura florestal. De acordo com Boldrini et al. (1978) e Bernardo (2000), esses modelos se baseiam na ideia de que a probabilidade de transição de uma árvore entre classes diamétricas depende exclusivamente de sua classe atual, sem considerar seu histórico passado.

A aplicação desse método em florestas naturais permite estimar a evolução da estrutura diamétrica ao longo do tempo e projetar cenários de produção (ARCE et al., 2001). Avery e

Burkhardt (1994) destacam que esses modelos são capazes de representar a complexidade estrutural das florestas, possibilitando a definição de ciclos de corte e práticas de manejo sustentáveis.

Contudo, estudos como os de Austregésilo et al. (2004) e Scolforo et al. (1998) alertam que a precisão das projeções está condicionada à qualidade dos dados de entrada e à suposição de estacionariedade. Isso significa que, em longos períodos, as matrizes podem não captar variações decorrentes de mudanças ambientais ou intervenções antrópicas. Apesar disso, continuam sendo uma das ferramentas mais eficazes para prognose em florestas nativas complexas.

3.11 Razão de Movimentação

A razão de movimentação é um método alternativo utilizado para projeção da estrutura diamétrica, que consiste em avaliar o deslocamento relativo de indivíduos entre classes ao longo do tempo. Scolforo et al. (1996) aplicaram essa técnica em florestas semidecíduas montanas, obtendo resultados satisfatórios para a geração de tabelas de produção.

Pulz et al. (1999) compararam a razão de movimentação com a matriz de transição e o método de Wahlenberg, verificando que todos apresentaram eficiência semelhante para prognose do número total de árvores. No entanto, Vanclay (1994) adverte que, embora a técnica seja útil em situações de escassez de dados, pode superestimar os resultados quando projetada por períodos longos.

Ainda assim, a razão de movimentação constitui importante alternativa metodológica, especialmente em florestas nativas onde os dados de monitoramento são limitados. Sua utilização em conjunto com matrizes de transição pode fornecer cenários complementares, aumentando a confiabilidade das projeções estruturais.

3.12 Teste de Aderência

Os testes de aderência são utilizados para verificar se a distribuição observada dos dados segue uma distribuição teórica específica. Entre os mais empregados em estudos florestais estão o qui-quadrado e o Kolmogorov-Smirnov (COSTA NETO, 1977).

O teste qui-quadrado é adequado para variáveis categóricas e amostras maiores, enquanto o Kolmogorov-Smirnov apresenta maior flexibilidade, podendo ser aplicado em pequenas amostras e sendo mais sensível às diferenças entre distribuições acumuladas. Introduzido por Kolmogorov em 1933 e ampliado por Smirnov em 1939, esse último tornou-se

amplamente utilizado na validação de modelos florestais, devido à sua robustez e simplicidade de aplicação.

No contexto da FOM Aluvial, a utilização de testes de aderência é fundamental para avaliar a adequação dos modelos probabilísticos de distribuição diamétrica, assegurando a confiabilidade das projeções realizadas.

3.13 Modelagem da Distribuição Diamétrica

A modelagem da distribuição diamétrica constitui etapa central na análise estrutural de florestas, pois permite quantificar e projetar o comportamento das populações ao longo do tempo. Entre as funções de densidade de probabilidade mais utilizadas destacam-se Weibull, Normal, Lognormal e Gamma, todas aplicáveis em florestas inequiâneas (ORELLANA et al., 2014).

A função Weibull, em especial, tem sido amplamente empregada devido à sua flexibilidade em representar diferentes padrões de distribuição, adaptando-se a formações florestais jovens ou maduras (GONZÁLEZ et al., 2017). Essa característica faz dela uma das mais recomendadas para modelagem de florestas tropicais, nas quais a heterogeneidade estrutural é marcante.

Estudos recentes têm avançado no refinamento da modelagem diamétrica, incluindo abordagens bayesianas, métodos de regressão não linear e integração com modelos de dinâmica espacial (SANQUETTA et al., 2020; MACHADO et al., 2021). Essas inovações buscam aumentar a acurácia das projeções e ampliar sua aplicabilidade em cenários de manejo adaptativo.

No caso da Floresta Ombrófila Mista Aluvial, a escolha adequada da função de densidade de probabilidade é fundamental para representar fielmente sua estrutura, permitindo simular cenários futuros e subsidiar estratégias de conservação e manejo sustentável.

3.14 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento hierárquico é uma técnica multivariada amplamente utilizada em estudos ecológicos para identificar padrões de similaridade entre unidades amostrais, considerando simultaneamente múltiplas variáveis florísticas e estruturais. Segundo Mingoti (2005), esse método busca formar grupos homogêneos internamente e heterogêneos entre si, possibilitando a compreensão de estruturas complexas presentes em comunidades biológicas. Em ecologia florestal, essa abordagem tem sido empregada para caracterizar gradientes

ambientais, identificar grupos ecológicos, avaliar padrões florísticos e estruturar tipologias vegetacionais.

Entre os métodos de ligação, destaca-se o método de Ward, frequentemente recomendado por sua capacidade de formar grupos com menor variabilidade interna. De acordo com Hair et al. (2009), o método de Ward minimiza a soma dos quadrados dentro de cada grupo a cada etapa de fusão, produzindo agrupamentos mais compactos e estatisticamente estáveis. A distância euclidiana, por sua vez, é a medida de dissimilaridade mais utilizada nesse contexto, pois expressa a separação geométrica entre unidades amostrais considerando todas as variáveis analisadas (FERREIRA, 2011).

No contexto da Floresta Ombrófila Mista Aluvial, a análise de agrupamento é uma ferramenta estratégica, pois permite identificar padrões florísticos e estruturais associados a condições ambientais específicas, como regime hídrico, profundidade do solo e frequência de inundações. Além disso, auxilia na definição de grupos ecológicos, interpretando a distribuição das espécies e sua relação com os processos sucessionais. Dessa forma, o uso do agrupamento hierárquico complementa as análises estruturais e florísticas tradicionais, contribuindo para interpretações mais robustas da dinâmica da floresta e subsidiando ações de manejo e conservação fundamentadas em padrões ecológicos reais.

3.15 Composição Florística em Florestas Nativas

A composição florística constitui um dos principais indicadores da identidade ecológica e do estado de conservação de uma floresta. Ela reflete a interação entre fatores ambientais, disponibilidade de nichos, adaptações funcionais das espécies e histórico de perturbações naturais ou antrópicas (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). Em florestas nativas, especialmente na Floresta Ombrófila Mista, a composição florística caracteriza-se por elevada diversidade e pela presença de espécies de afinidade tropical e temperada, configurando um mosaico ecológico resultante de gradientes ambientais e condições climáticas peculiares (RODERJAN et al., 2002).

Estudos como os de Longhi (1980) e Vibrans et al. (2012) demonstram que a composição florística da FOM varia conforme altitude, solo, incidência de luz, regime hídrico e estágio sucessional, resultando em comunidades estruturalmente heterogêneas. Na formação aluvial, em particular, a florística é fortemente influenciada por inundações periódicas e pela dinâmica fluvial, o que favorece espécies adaptadas a ambientes úmidos e condiciona padrões específicos de regeneração e crescimento (VANTROBA, 2018). Essa heterogeneidade

contribue para a coexistência de espécies pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e tolerantes à sombra, compondo uma estrutura complexa e ecologicamente diversa.

A análise da composição florística é fundamental para estudos de modelagem estrutural, pois as espécies apresentam diferentes taxas de crescimento, padrões de recrutamento, resistência à inundação e estratégias ecológicas que influenciam diretamente a distribuição diamétrica e os processos de transição entre classes. Assim, compreender a florística não apenas enriquece o diagnóstico ecológico da área, como também permite interpretar de maneira mais consistente os resultados obtidos por meio da Matriz de Transição, Razão de Movimentação e demais métodos de análise estrutural. Dessa forma, o estudo da composição florística é indispensável para subsidiar práticas de manejo sustentável, além de apoiar ações de conservação e restauração em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no Sul do Brasil, no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), localizado no município de Guarapuava – PR, em um fragmento de aproximadamente 11,5 hectares de Floresta Ombrófila Mista Aluvial (FOMA), pertencente ao bioma Mata Atlântica. Essa tipologia apresenta elevada relevância ecológica por abrigar diversidade florística expressiva e desempenhar funções ambientais essenciais, como regulação hídrica, sequestro de carbono, manutenção da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos (OLIVEIRA-FILHO et al., 2013; IBGE, 2012).

O fragmento encontra-se em processo de regeneração natural após histórico de exploração seletiva, condição que reforça a importância do monitoramento contínuo e de estudos voltados à avaliação da dinâmica estrutural, composição florística e padrões sucessionais da área. Sua escolha como objeto de pesquisa também se justifica pela existência de estudos anteriores conduzidos em parcelas permanentes na mesma localidade (PEDROSO, 2019; STEPKA et al., 2010), o que permite comparabilidade temporal, fortalece a robustez das análises e contribui para a continuidade científica das investigações sobre a FOMA na região.

4.1.1 Localização

A área de estudo está localizada no Sul do Brasil, no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), no município de Guarapuava–PR. O fragmento possui aproximadamente 11,5 ha e representa um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial (FOMA) em processo de regeneração natural. A área encontra-se georreferenciada no sistema UTM, fuso 22S, datum SIRGAS 2000, e a Figura 1 apresenta sua localização, a rede hídrica associada e a disposição geral do fragmento no campus.

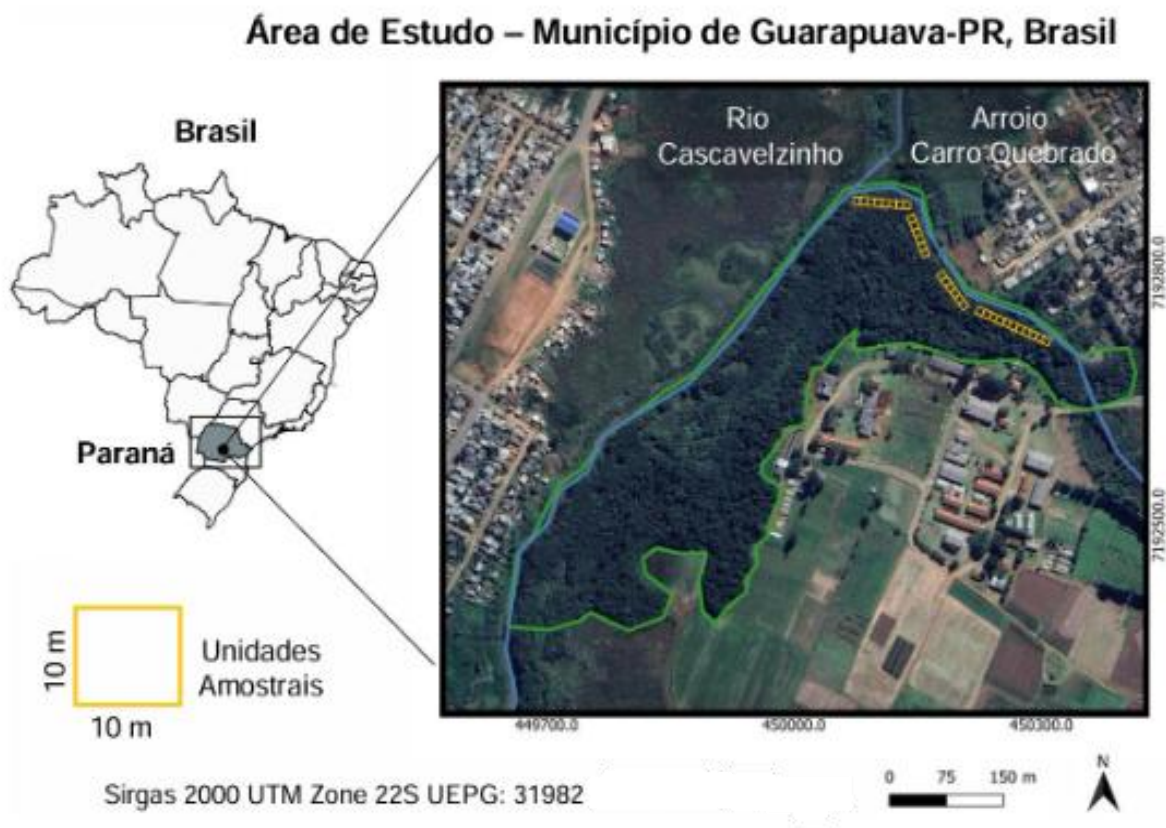


Figura 1. Localização da área de estudo. Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Campus CEDETEG (UNICENTRO), município de Guarapuava–PR, com destaque para as unidades amostrais e hidrografia local. Fonte: Pedroso (2019).

4.2 Clima da Região

O município de Guarapuava–PR apresenta clima classificado como Cfb, segundo a tipologia de Köppen, ou seja, Subtropical Mesotérmico Úmido, caracterizado por verões frescos, invernos rigorosos, geadas frequentes e ocorrência eventual de precipitação na forma de neve. A precipitação anual média é de aproximadamente 1.960 mm, bem distribuída ao longo do ano, e a temperatura média situa-se em torno de 17 °C, podendo atingir valores inferiores a –3 °C nos meses mais frios e raramente ultrapassando 22 °C nos meses mais quentes (THOMAZ; VESTENA, 2003; ALVARES et al., 2013).

A elevada altitude da região (~1.020 m) exerce forte influência sobre o clima local, condicionando a formação de florestas montanas e explicando a presença marcante da *Araucaria angustifolia* e de outras espécies adaptadas a ambientes mais frios. Em estudos realizados em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista na região, o regime climático foi

apontado como fator determinante para a composição florística e para a manutenção de espécies de afinidade temperada (RODERJAN et al., 2002; LISBOA, 2014). Pesquisas anteriores em fragmentos da mesma tipologia, também localizados no campus CEDETEG, ressaltaram que a ocorrência de geadas severas interfere diretamente no recrutamento e sobrevivência de espécies nativas, favorecendo em alguns casos a regeneração de exóticas, como *Ligustrum lucidum* (GUILHERMETI, 2013).

Considerando os anos de monitoramento utilizados neste estudo (2013, 2018 e 2024), dados históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) indicam que a região apresentou condições climáticas distintas entre os períodos, o que é relevante para interpretações da dinâmica diamétrica. O ano de 2013 registrou precipitações regulares e temperatura média próxima da normal climatológica. Já 2018 foi marcado por um inverno mais rigoroso, com maior frequência de geadas, especialmente nos meses de junho e julho. Por outro lado, 2024 apresentou maior variabilidade climática, com episódios de estiagem e temperaturas acima da média histórica em diversos meses, fenômeno já associado ao aquecimento global. Essas diferenças ajudam a contextualizar possíveis flutuações no crescimento, mortalidade e ingresso de indivíduos ao longo dos ciclos analisados.

Essas diferenças climáticas entre os períodos analisados foram consideradas na interpretação dos resultados de crescimento, mortalidade, ingresso e projeção da estrutura diamétrica, uma vez que influenciam diretamente a dinâmica da floresta ao longo dos inventários de 2013, 2018 e 2024.

4.3 Vegetação

A vegetação do fragmento corresponde à tipologia Floresta Ombrófila Mista Aluvial (FOMA), caracterizada pela associação entre espécies de afinidade temperada e tropical, compondo um mosaico estrutural condicionado pela influência da rede hídrica e das condições edáficas locais.

Entre as espécies mais representativas destacam-se *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea odorifera*, *Nectandra grandiflora*, *Ocotea porosa*, *Casearia decandra* e *Cedrela fissilis*, além de outras Lauraceae que conferem elevada diversidade florística ao remanescente. Essa composição reflete o caráter singular da FOMA Aluvial, marcada pela coexistência de espécies adaptadas a ambientes de maior saturação hídrica e de espécies tolerantes a condições climáticas mais severas, como geadas frequentes.

Estudos realizados no próprio campus CEDETEG (STEPKA et al., 2010; PEDROSO, 2019) demonstraram que a vegetação apresenta alta heterogeneidade estrutural, com presença

de indivíduos de diferentes estágios sucessionais, desde regenerantes até espécies emergentes de grande porte. Essa diversidade de grupos funcionais e arquitetônicos ressalta a importância da área como modelo para pesquisas de dinâmica florestal e prognose diamétrica, especialmente em ambientes aluviais, ainda pouco estudados no Sul do Brasil.

4.4 Solos

Os solos do fragmento pertencem à Bacia Sedimentar do Paraná e apresentam elevada heterogeneidade, refletindo a influência do relevo e da dinâmica aluvial. Predominam as classes Latossolos Brunos, Cambissolos, Terra Bruna Estruturada, Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, geralmente de textura média argilosa e frequentemente sujeitas a encharcamento sazonal.

Essa diversidade edáfica condiciona a composição florística e a estrutura diamétrica do remanescente. Os Latossolos Brunos e Cambissolos favorecem o desenvolvimento de espécies de maior porte e crescimento contínuo, enquanto os Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, por estarem associados a áreas de maior saturação hídrica, limitam a ocorrência de algumas espécies arbóreas, favorecendo outras adaptadas a solos hidromórficos.

4.5 Material e equipamentos

O presente estudo foi desenvolvido a partir da base de dados de inventário florestal contínuo realizada no fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial localizado no campus CEDETEG da UNICENTRO, em Guarapuava–PR. Os dados analisados correspondem às campanhas de monitoramento realizadas nos anos de 2013, 2018 e 2024, disponibilizadas pelo grupo de pesquisa responsável pelo acompanhamento das parcelas permanentes.

Para a etapa de análise, foram utilizados: planilhas eletrônicas, empregadas na organização preliminar da base de dados; software Mata Nativa 4 (Mata Nativa, 2025) foi utilizado para o processamento e análise dos dados dendrométricos, possibilitando o cálculo de parâmetros estruturais, como densidade, dominância e frequência relativa das espécies, além da geração de relatórios quantitativos e gráficos de estrutura horizontal e vertical; e software estatístico R, adotado para processamento das informações e execução das análises estatísticas e de modelagem; pacotes do R como *stats*, *fitdistrplus*, *bbmle*, *ggplot2*, *boot* e *yardstick*, que possibilitaram o cálculo de métricas descritivas, ajuste de distribuições, modelagem da estrutura diamétrica e avaliação de desempenho dos modelos aplicados.

4.6 Metodologia

4.6.1 Coleta de Dados

O conjunto de dados utilizado neste estudo é proveniente do inventário florestal contínuo instalado no ano de 2013, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial localizado no campus CEDETEG/UNICENTRO, em Guarapuava-PR. Foram instaladas 31 parcelas permanentes de 100 m² (10 × 10 m), totalizando 0,31 ha amostrados. Todas foram georreferenciadas em sistema UTM (SIRGAS 2000, Fuso 22 J) e demarcadas em campo, seguindo o delineamento proposto por Pedroso (2019) na mesma área, o que garante continuidade e comparabilidade entre os inventários. Em média, cada parcela de 10 × 10 m apresentou aproximadamente 23 indivíduos, correspondendo a uma densidade de cerca de 2.300 árvores por hectare.

Foram incluídos todos os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 5 cm, mensurados a 1,30 m do solo. Para cada árvore, foram registrados: diâmetro, identificação botânica, condição vital (vivo ou morto) e ingresso de novos indivíduos, considerando aqueles que atingiram o critério de inclusão entre os períodos de avaliação. Os indivíduos foram identificados por meio de plaquetas de alumínio numeradas, assegurando o acompanhamento ao longo do tempo. As coletas foram realizadas em três períodos: 2013, 2018 e 2024, possibilitando a análise da dinâmica estrutural em intervalos.

4.6.2 Processamento dos dados

Os dados foram organizados em planilhas digitais e processados no software R (R Core Team, 2024), utilizando-se pacotes específicos voltados à análise estatística e à modelagem florestal. O processamento permitiu estruturar as informações em classes diamétricas de 3 cm (2013), 4 cm (2018) e 4 cm (2024) de amplitude, calcular variáveis de composição, estrutura e dinâmica da comunidade arbórea e aplicar modelos de projeção da distribuição diamétrica.

Foram ajustados modelos baseados na Matriz de Transição, na Razão de Movimentação e em funções probabilísticas como Weibull e Meyer. A avaliação de desempenho foi realizada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, complementados pelas métricas de erro RMSE e MAE e pela análise de sensibilidade com *bootstrap*.

4.6.3 Variáveis analisadas

O processamento dos dados foi estruturado para atender aos três objetivos específicos do estudo. Para o primeiro objetivo, que consistiu em caracterizar a composição florística e a evolução da estrutura diamétrica da floresta nos anos de 2013, 2018 e 2024, foram calculadas a densidade absoluta e relativa (ind ha⁻¹), a área basal (m² ha⁻¹), a frequência, a dominância e os índices de diversidade (Shannon-Weaver, Simpson e Pielou), além da distribuição dos indivíduos em classes diamétricas para cada inventário.

Com relação ao segundo objetivo, voltado à identificação de padrões de estrutura e diversidade florística entre as unidades amostrais, realizou-se análise de agrupamento hierárquico utilizando distância euclidiana e método de ligação de Ward, permitindo classificar as parcelas em grupos ecológicos com características estruturais semelhantes.

Por fim, para o terceiro objetivo, direcionado à projeção da distribuição diamétrica, os indivíduos foram organizados em classes de diâmetro com amplitude de 3 cm (2013), 4 cm (2018) e 4 cm (2024), possibilitando a aplicação dos modelos de prognose utilizados no estudo: a Matriz de Transição de Markov e a Razão de Movimentação, empregados para estimar as probabilidades de transição entre classes e projetar a estrutura futura do fragmento.

4.6.4 Amostragem da Vegetação

O inventário florestal teve como objetivo obter informações quantitativas sobre os recursos existentes no fragmento estudado. De acordo com Péllico Netto e Brena (1997), esse tipo de levantamento pode ser classificado como um inventário de cunho estratégico. A coleta dos dados foi realizada por meio de amostragem em conglomerados, em diferentes ocasiões, permitindo acompanhar a diversidade, composição florística, dinâmica e crescimento da floresta ao longo do tempo.

A intensidade de amostragem foi obtida pela razão entre o número de unidades amostrais e o tamanho total da população. Para verificar se o esforço amostral utilizado era adequado, foram estimadas as intensidades necessárias considerando a variabilidade do diâmetro, um erro amostral admissível de 10% e um nível de confiança de 95%. Os valores de referência, como desvio-padrão, erro e o fator *t* de Student, foram utilizados conforme as recomendações clássicas da literatura.

As principais estatísticas calculadas a partir da amostragem foram: média, amplitude, variância, desvio-padrão, erro-padrão, coeficiente de variação, erro de amostragem e intervalos de confiança.

4.6.5 Composição Florística

As árvores foram identificadas primeiramente, *in loco*, pelo nome comum, por um identificador botânico, conhecedor das espécies locais. Nos casos em que as espécies não puderam ser identificadas a campo, estas receberam um código que permitiu a sua identificação futura em laboratório (Ex.: Não Identificada 1, N.I. 2, N.I. até *n.*), mediante coleta de material botânico, que foram levados ao laboratório de Dendrologia da UNICENTRO para proceder à identificação botânica.

A identificação botânica seguiu o Sistema de Classificação APG IV (*Angiosperm Phylogeny Group*). A grafia dos nomes científicos das espécies e a identificação de família foram verificadas pela nomenclatura Trópicos disponível no site do Jardim Botânico de Missouri (TROPICOS, 2024).

A análise da composição florística foi realizada com base nos inventários de 2013, 2018 e 2024, permitindo acompanhar a evolução da comunidade ao longo do período de monitoramento. A partir dessa base, foram descritas as espécies, suas famílias botânicas e a participação relativa na estrutura da floresta, integrando as informações florísticas à análise da estrutura diamétrica e da dinâmica florestal.

4.6.6 Estágio Sucessional da Vegetação

A identificação de todos os indivíduos amostrados possibilitou o estudo da composição florística e o agrupamento das espécies segundo o estágio sucessional ou grupos ecológicos a que cada uma delas pertence. A metodologia adotada classifica os indivíduos em: a) Pioneira; b) Secundária inicial; c) Secundária tardia e d) Clímax.

A classificação das espécies nos diferentes grupos ecológicos e grupos de dispersão foi realizada mediante consulta em bibliografia de alguns autores, como Budowski (1965); Vaccaro (1997 e 2002); Lorenzi (1998, 2002 e 2009); Carvalho (2003, 2006 e 2008); Sawczuk (2009); Ebling (2012); Roik (2012).

4.6.7 Obtenção das Variáveis Dendrométricas

No local de medição, era efetuada uma limpeza do fuste no ponto de medição, para que estivesse livre de cipós ou anomalias, evitando erros de leitura. A medição das circunferências (CAP a 1,3 m do nível do solo) foi realizada com fita métrica, com precisão de milímetro em todas as árvores, incluindo as árvores caídas, quebradas e danificadas, desde que vivas.

A contabilização das árvores mortas foi necessária para poder obter as taxas de mortalidade ha^{-1} (somente na segunda medição em diante). As circunferências foram sempre mensuradas em um ponto fixo chamado ponto de medição “PDM”, auxiliado por um gabarito a 1,30 m do solo, os quais foram todos marcados com tinta azul, para facilitar as futuras remeções. No local de medição era efetuado uma limpeza do fuste no ponto de medição, para que estivesse livre de cipós ou anomalias e assim, evitando erros de leitura.

4.7 Dinâmica da Floresta

A dinâmica da floresta é entendida como as mudanças florísticas e estruturais que ocorrem em uma floresta ao longo de um determinado período de tempo. O principal fator decorrente destas mudanças é o processo de sucessão ecológica. A contabilização das alterações

florísticas, ingresso, mortalidade e crescimento só serão possíveis a partir de inventários permanentes. As árvores que atingiram o diâmetro mínimo estabelecidos no critério de inclusão, na segunda medição (≥ 5 cm de “dap” ou 15,7 cm de “cap”) foram incluídas no estudo e inseridas como entrada ou ingresso. As árvores que se apresentaram mortas após o primeiro período, foram contabilizadas como mortas ou saídas, permitindo obter as taxas de mortalidade. O aumento nas dimensões, como diâmetro (cm), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) ao longo do tempo foram incluídos no critério de “crescimento”.

4.7.1 Procedimentos de cálculo das variáveis

Os parâmetros da estrutura fitossociológica horizontal e da diversidade foram obtidos com apoio dos softwares MATA NATIVA, Excel® e R. As análises seguiram metodologias consolidadas (Péllico Netto & Brena, 1997; Alder & Synnott, 1992; Vanclay, 1994).

A densidade absoluta foi definida como o número de indivíduos de cada espécie por hectare, enquanto a densidade relativa expressou a participação percentual de cada espécie em relação ao total de indivíduos registrados.

A frequência absoluta correspondeu ao número de parcelas em que cada espécie ocorreu, e a frequência relativa representou a proporção dessa ocorrência em relação ao conjunto de parcelas amostradas.

A dominância absoluta foi estimada pela soma das áreas basais dos indivíduos de cada espécie, e a dominância relativa expressou a contribuição percentual dessa área em relação à área basal total da comunidade.

Com base nesses parâmetros, calculou-se o Valor de Importância (VI), que sintetiza a dominância, frequência e densidade relativas, e o Valor de Cobertura (VC), que integra a densidade e a dominância relativas.

4.7.2 Diversidade Florística

A diversidade florística foi analisada por meio de índices amplamente consolidados na ecologia. O Índice de Shannon-Wiener expressou a combinação entre riqueza e uniformidade de espécies. O Índice de Simpson estimou a probabilidade de dois indivíduos amostrados pertencerem a espécies diferentes, refletindo o grau de dominância. A equabilidade foi avaliada pelo índice de Pielou, que expressa a uniformidade de distribuição dos indivíduos entre as espécies presentes. A riqueza específica foi complementada pelo índice de Odum, que relaciona o número de espécies ao total de indivíduos amostrados. Valores mais elevados desses índices indicam maior diversidade, equilíbrio e heterogeneidade na comunidade estudada.

4.7.3 Similaridade Florística

A similaridade florística entre diferentes parcelas e períodos foi avaliada por meio dos coeficientes de Jaccard e Sorensen. Esses índices comparam o número de espécies comuns e exclusivas entre duas áreas, permitindo mensurar o grau de compartilhamento florístico. Valores mais próximos de 1 indicam maior similaridade. As matrizes de similaridade foram usadas para compreender os padrões florísticos ao longo do tempo e entre diferentes áreas do fragmento.

4.7.4 Distribuição Espacial

O padrão de distribuição espacial das espécies foi determinado por meio do índice de Payandé (Pi), amplamente utilizado em estudos fitossociológicos. Foram utilizados os dados obtidos no inventário de 2013. Esse índice classifica a distribuição das espécies como aleatória quando os valores são inferiores a 1; com tendência ao agrupamento quando situados entre 1 e 1,5; e agregada quando superiores a 1,5.

Para evitar interpretações distorcidas, apenas espécies com mais de cinco indivíduos amostrados foram consideradas na análise, reduzindo o risco de classificar espécies raras como aleatórias apenas por ocorrência reduzida. O índice estima o grau de agregação de cada espécie com base na relação entre a média e a variância do número de indivíduos por parcela (PAYANDEH, 1970).

4.8. Análise de Agrupamento

Para identificar padrões florísticos e formar grupos com maior homogeneidade interna, aplicou-se a técnica de análise de agrupamento multivariada. Inicialmente, foi construída uma matriz contendo as variáveis relacionadas à composição e estrutura da vegetação, tais como número de indivíduos por parcela, riqueza de espécies, diversidade (Shannon-Wiener), dominância (Simpson), equabilidade (Pielou), razão de mistura (Jentsch) e riqueza proporcional (Odum).

Utilizou-se o método aglomerativo hierárquico, uma abordagem amplamente adotada em análises ambientais. A similaridade entre as parcelas foi estimada por meio da distância euclidiana, que mede o grau de proximidade entre unidades amostrais considerando o conjunto de variáveis. Em cada etapa, o algoritmo compara as parcelas ou grupos formados, unindo aqueles que apresentam maior similaridade.

A representação gráfica dos resultados foi realizada por meio de um dendrograma, no qual os agrupamentos aparecem organizados conforme o nível de semelhança entre as parcelas. No eixo vertical (Y) encontra-se a intensidade da similaridade; no eixo horizontal (X), a ligação

entre as parcelas. Dessa forma, parcelas mais semelhantes permanecem próximas, enquanto parcelas mais distintas aparecem separadas em ramos diferentes. Conforme descrevem Hair et al. (1998), esse procedimento permite classificar objetos de maneira que grupos formados apresentem alta homogeneidade interna e grande heterogeneidade entre si.

4.9 Estrutura diamétrica

A estrutura diamétrica foi analisada com o objetivo de compreender o comportamento das espécies arbóreas e as mudanças estruturais ocorridas entre os inventários de 2013 e 2024. A distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro seguiu amplitudes de 3 cm (2013), 4 cm (2018) e 4 cm (2024), estratégia utilizada em estudos de dinâmica florestal por permitir uma representação adequada dos diferentes estágios de desenvolvimento das árvores (Machado et al., 1998; Durigan, 1999). Essa padronização evita o excesso de classes com baixa frequência e possibilita comparações consistentes entre períodos.

A análise da distribuição diamétrica permitiu observar a estabilidade ou alterações estruturais da comunidade ao longo do tempo. A frequência de indivíduos por classe de diâmetro forneceu informações essenciais sobre mortalidade, crescimento e recrutamento — processos centrais na dinâmica de florestas inequiduais.

Além da análise descritiva, a estrutura diamétrica foi utilizada como base para as projeções da comunidade por meio de modelos de prognose. As projeções foram realizadas a partir da organização dos indivíduos em classes de diâmetro, utilizando métodos como a Matriz de Transição de Markov, a Razão de Movimentação e funções probabilísticas, permitindo simular o desenvolvimento futuro do fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

4.10 Funções de densidade de probabilidade

Foram ajustadas as funções de densidade de probabilidade Meyer (Tipos I e II) e Weibull (com dois e três parâmetros), amplamente utilizadas em estudos de modelagem da distribuição diamétrica. As funções do tipo Meyer, de natureza exponencial, descrevem a redução do número de árvores à medida que o diâmetro aumenta. O ajuste foi realizado por regressão linear após a transformação logarítmica dos modelos, permitindo estimar os parâmetros relacionados à forma da distribuição.

A função Weibull, tanto nas versões com dois quanto com três parâmetros, é considerada uma das mais flexíveis para representar distribuições diamétricas, pois permite ajustar o formato da curva conforme o comportamento das classes de diâmetro observadas. Os parâmetros da Weibull estão associados à forma, escala e, quando aplicável, à posição da

distribuição, permitindo descrever desde distribuições assimétricas até aquelas com caudas mais espessas.

Após o ajuste dos modelos, verificou-se se as distribuições estimadas representavam adequadamente os dados observados por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Esse teste avalia a diferença entre as frequências observadas e esperadas, permitindo validar a adequação das funções para descrever a distribuição diamétrica da comunidade.

4.11 Matriz de Transição de Markov

A Cadeia de Markov utilizada neste estudo fundamenta-se no conceito de estados, definidos a partir das classes de diâmetro (DAP) e da condição das árvores ao longo do tempo. Em cada intervalo entre dois inventários (do tempo inicial t para o tempo $t+1$), uma árvore pode permanecer na mesma classe diamétrica, migrar para classes superiores, ingressar no povoamento (recrutamento) ou morrer.

Os estados considerados podem ser descritos da seguinte forma:

- um estado de ingresso (ingrowth), que representa as árvores que atingiram o diâmetro mínimo de inclusão entre dois inventários;
- um conjunto de estados correspondente às classes de diâmetro, desde a menor classe (logo acima do limite mínimo de inclusão) até a última classe considerada;
- um estado associado à migração das árvores para classes superiores, de acordo com o crescimento observado;
- um estado de mortalidade, que corresponde às árvores vivas em t e mortas em $t+1$, caracterizado como estado absorvente dentro da cadeia de Markov.

Os estados são organizados na forma de uma matriz, em que cada linha representa o estado inicial da árvore no tempo t e cada coluna representa o estado em $t+1$. Dessa forma, é possível quantificar os movimentos entre estados e descrever a dinâmica de transição das árvores entre classes diamétricas e entre condições (viva ou morta).

Os movimentos de um estado para outro foram estimados por meio das probabilidades de transição, assumindo-se que essas probabilidades dependem apenas do estado inicial da árvore e permanecem constantes ao longo do período de projeção. Para cada classe diamétrica, foram estimadas as seguintes probabilidades:

- a probabilidade de a árvore permanecer na mesma classe;
- a probabilidade de migrar para a classe imediatamente superior;
- a probabilidade de migrar para duas classes acima (quando aplicável);
- a probabilidade de morrer no intervalo considerado.

Essas probabilidades foram obtidas pela razão entre o número de árvores que apresentaram cada tipo de comportamento (permanência, migração de uma ou duas classes, mortalidade) e o número de árvores existentes na classe de origem no início do período de crescimento (SOUZA & SOARES, 2013). Para os casos de permanência e migração, considera-se apenas as árvores que se mantiveram vivas no intervalo.

Com o objetivo de reduzir o número de parâmetros na matriz de Markov, o intervalo de tempo e a amplitude das classes de diâmetro foram definidos de maneira a minimizar a probabilidade de uma árvore crescer mais do que uma classe durante um único período, seguindo o conceito de Usher Matrix. Dessa forma, simplifica-se a estrutura da matriz de transição, mantendo a consistência com o comportamento de crescimento observado.

A partir das probabilidades de transição obtidas para cada intervalo de medição, é possível projetar a estrutura diamétrica do povoamento. Em termos matriciais, a distribuição futura das árvores por classe de diâmetro é resultado da aplicação da matriz de probabilidades de transição ao vetor de abundância atual, acrescida do vetor de ingresso (recrutamento), conforme proposto por Buongiorno e Michie (1980). Assim, o número de árvores projetadas em cada classe diamétrica no tempo futuro depende da distribuição no tempo inicial e do ingresso de novas árvores na menor classe.

A probabilidade de mortalidade foi estimada relacionando o número de árvores vivas no início do período com o número de árvores que morreram ao longo do intervalo de tempo considerado. A passagem de árvores de uma classe para outra (outgrowth), bem como a permanência na mesma classe entre dois inventários, constitui a base para a construção da matriz de transição.

O estado estável da floresta, dentro do contexto da matriz de Markov, corresponde à situação em que a distribuição de árvores entre as classes diamétricas tende a se manter constante ao longo de sucessivas projeções, mesmo diante da ocorrência de mortalidade e recrutamento. Nesse estado, a estrutura da floresta não sofre alterações drásticas, indicando um equilíbrio dinâmico.

Quando ocorre ausência de indivíduos em determinada classe diamétrica (frequência igual a zero), caracteriza-se um estado absorvente, denominado por Scolforo et al. (1998) como probabilidade zero de transição diamétrica. Nessa condição, as árvores deixam de avançar para classes superiores, o que pode comprometer a interpretação científica e didática da dinâmica, dificultando a identificação do estado de equilíbrio (PULZ et al., 1999). Nos estados

absorventes, a probabilidade predominante é a de permanência na mesma classe, não havendo transição para classes superiores.

A presença de um estado absorvente implica que as projeções de frequência das classes anteriores não ultrapassam a classe em que esse estado ocorre, resultando em acúmulo contínuo de árvores nessa classe. Esse acúmulo se intensifica à medida que mais projeções são realizadas, uma vez que não há saída de árvores para classes subsequentes, o que pode comprometer a detecção do equilíbrio estrutural.

Neste estudo, a prognose da distribuição diamétrica foi realizada para períodos equivalentes aos intervalos entre medições, ou seja, para 3, 6 e 9 anos, permitindo avaliar a dinâmica da estrutura diamétrica do remanescente ao longo de diferentes horizontes temporais.

4.12 Razão de Movimentação

A Razão de Movimentação, conforme proposta por Scolforo et al. (1998), representa a proporção de árvores que migram para classes diamétricas superiores em função do seu crescimento ao longo do tempo. Esse método permite compreender a dinâmica interna da floresta, uma vez que descreve o deslocamento dos indivíduos entre classes de diâmetro em decorrência do incremento diamétrico, do recrutamento e da mortalidade.

Para sua aplicação, inicialmente é determinado o incremento periódico em diâmetro das árvores em cada classe. A partir desse valor médio, estima-se a proporção de árvores que ultrapassam o limite superior da classe e passam a integrar classes subsequentes. Como a distribuição das árvores no interior das classes é desconhecida, o método assume que elas estão uniformemente distribuídas ao longo da amplitude diamétrica, entendimento também adotado por Austregésilo et al. (2004). Assim, a probabilidade de migração de uma classe para outra pode ser aproximada por uma razão que relaciona o crescimento médio das árvores com a largura da classe de diâmetro.

Além disso, a Razão de Movimentação incorpora os efeitos do recrutamento — árvores que atingem o diâmetro mínimo de inclusão entre inventários — e da mortalidade, que retira indivíduos das classes superior e inferior, influenciando diretamente a estrutura da floresta. A combinação desses elementos permite descrever, de forma integrada, o comportamento das populações arbóreas ao longo dos diferentes períodos de monitoramento.

Com base nos dados observados e projetados, realizou-se uma análise gráfica para comparar o comportamento das distribuições diamétricas observadas e estimadas pelos modelos. Essa comparação possibilitou avaliar a coerência entre a estrutura real da floresta e a

estrutura simulada para cada período de prognose, analisando tendências de deslocamento, permanência ou concentração de indivíduos em determinadas classes diamétricas.

As taxas de crescimento foram avaliadas a partir do incremento acumulado em diâmetro (IAD) entre os períodos de 2013 a 2018 e de 2018 a 2024, dentro de cada classe de diâmetro. Essa avaliação permitiu analisar a magnitude do crescimento das árvores em diferentes faixas diamétricas, fornecendo subsídios para interpretar o comportamento estrutural e a dinâmica de desenvolvimento do povoamento.

A análise do crescimento e da migração entre classes foi aplicada às duas projeções utilizadas no estudo, permitindo comparar o desempenho dos métodos empregados e verificar sua capacidade de reproduzir o padrão observado de distribuição diamétrica. Dessa forma, a Razão de Movimentação contribuiu de maneira complementar às projeções realizadas com a matriz de transição, fornecendo suporte adicional para interpretar a dinâmica estrutural do remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial ao longo do período analisado.

4.13 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

A avaliação da qualidade das projeções geradas pelos métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação foi realizada por meio da comparação entre a distribuição diamétrica observada e a distribuição projetada. Para isso, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), amplamente aplicado para verificar a concordância entre duas distribuições acumuladas.

O teste K-S baseia-se na comparação direta entre as distribuições acumuladas observada e estimada. A lógica do teste consiste em identificar o maior afastamento entre essas duas curvas: se essa diferença for pequena, entende-se que a distribuição estimada reproduz adequadamente a distribuição observada; caso contrário, considera-se que as distribuições são distintas e que o modelo não representa bem os dados.

Antes da aplicação do teste, assume-se que:

- a) os dados são independentes e formam uma amostra aleatória;
- b) a escala de mensuração é pelo menos ordinal, o que é compatível com dados de diâmetro.

As hipóteses do teste são:

- **H₀**: não há diferença significativa entre a distribuição observada e a projetada;
- **H₁**: existe diferença significativa entre as distribuições.

O procedimento consiste em:

1. organizar a distribuição acumulada observada e compará-la com a distribuição acumulada projetada;

2. identificar, ponto a ponto, a diferença entre as duas curvas acumuladas;
3. localizar a maior dessas diferenças, que representa o desvio máximo entre as distribuições;
4. comparar esse valor ao limite crítico do teste ou à probabilidade (valor-p), levando em consideração o tamanho da amostra.

Se a maior diferença entre as curvas ultrapassar o limite tabelado para o nível de significância adotado, rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que as distribuições diferem. Caso contrário, aceita-se H_0 , indicando que a distribuição projetada representa adequadamente os dados observados.

Valores menores de divergência entre as distribuições indicam melhor ajuste do modelo, uma vez que demonstram maior proximidade entre as frequências observadas e estimadas. A magnitude desse desvio é influenciada diretamente pelo tamanho da amostra, sendo controlada pelas tabelas específicas apresentadas na literatura, como descrito por Moraes et al. (2009).

Em síntese, o teste de Kolmogorov-Smirnov permitiu avaliar a capacidade dos modelos empregados em reproduzir a distribuição diamétrica real da floresta, constituindo uma etapa essencial para validar a eficiência das projeções e a coerência dos resultados gerados pelos métodos utilizados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo dos três inventários (2013, 2018 e 2024) apresentam de forma integrada a interpretação e a discussão dos padrões observados na composição florística, estrutura horizontal, diversidade, estrutura diamétrica, dinâmica florestal e projeções realizadas pelos modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação. A abordagem comparativa permite compreender como a floresta respondeu às condições ambientais, ao clima e aos processos naturais de crescimento, ingresso e mortalidade ao longo de onze anos de monitoramento.

5.1 Composição Florística e Estrutura Horizontal

5.1.1 Análise Estatística da Amostragem – Inventários de 2013, 2018 e 2024

Os inventários florestais realizados nos anos de 2013, 2018 e 2024 abrangeram a mesma área total de 11,5 hectares, distribuída em 31 unidades amostrais permanentes, permitindo a comparação direta da estrutura populacional ao longo do período monitorado.

A redução indica no número total de indivíduos ao longo dos anos, passando de 727 indivíduos em 2013 para 634 em 2018 e 613 em 2024, indicando tendência de diminuição da densidade populacional. A média de indivíduos por parcela também apresentou redução gradual, acompanhada de leve diminuição do coeficiente de variação, que se manteve em níveis elevados (superiores a 37%), evidenciando a heterogeneidade espacial característica de formações florestais naturais.

Os erros padrão da média e os erros de amostragem permaneceram dentro de limites aceitáveis, com valores inferiores a 15%, assegurando precisão estatística adequada para a caracterização da estrutura da floresta. Os intervalos de confiança apresentaram sobreposição entre os anos avaliados, indicando consistência das estimativas e estabilidade amostral ao longo do período.

A redução progressiva da Estimativa Mínima de Confiança (EMC) sugere aumento da eficiência amostral ao longo do tempo, refletindo maior homogeneidade estrutural em comparação ao inventário inicial. A síntese dos parâmetros estatísticos encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Análise estatística da amostragem nos inventários de 2013, 2018 e 2024.

Parâmetro	2013	2018	2024
Área Total (ha)	11,5	11,5	11,5
Nº de Parcelas	31	31	31
Nº ótimo de parcelas (n)	13	16	16
Nº de indivíduos medidos	727	634	613
Média por parcela	23,45	20,45	19,77
Desvio-padrão	9,30	7,58	7,43

Variância	86,52	57,39	55,18
Variância da Média	2,72	1,80	1,73
Erro Padrão da Média	1,65	1,34	1,32
Erro Padrão da Média (%)	7,03	6,56	6,66
Coeficiente de Variação (%)	39,66	37,04	37,57
Variância Relativa (%)	49,38	43,07	44,30
Erro de Amostragem	2,80	2,74	2,69
Erro de Amostragem (%)	11,93	13,40	13,59
t tabelado	1,6973	2,0423	2,0423
Intervalo de Confiança (95%) – indivíduos/parcela	20,66–26,25	17,71–23,19	17,09–22,46
IC (95%) – densidade (ind./ha)	2.065–2.625	1.771–2.319	1.708–2.246
Nº total estimado (N estimado)	26.969	23.519	22.740
IC para o total (95%)	23.752–30.186	20.367–26.672	19.649–25.831
Estimativa Mínima de Confiança (EMC)	21,29	18,17	17,54

5.1.2 Discussão da Amostragem

A elevada variabilidade observada entre as parcelas, evidenciada pelos coeficientes de variação superiores a 30%, é característica comum em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, especialmente aqueles em estágios sucessionais intermediários, nos quais a distribuição dos indivíduos ocorre de forma irregular no espaço (RODERJAN et al., 2002; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010).

A redução gradual da densidade de indivíduos ao longo do período analisado pode estar associada à dinâmica natural de auto-desbaste, processo no qual ocorre mortalidade de indivíduos em função da competição por recursos, como luz, água e nutrientes. Esse comportamento é amplamente descrito para florestas naturais, nas quais o crescimento e a competição promovem a reorganização estrutural da comunidade (CALLEGARO et al., 2013).

Além disso, a manutenção de níveis adequados de erro amostral e a sobreposição dos intervalos de confiança indicam que o delineamento amostral adotado foi consistente ao longo do tempo, permitindo comparações confiáveis entre os inventários, onde a robustez dos dados para análises estruturais e modelagens subsequentes.

Os resultados sugerem que o fragmento apresenta dinâmica típica de florestas secundárias em processo de ajuste estrutural, com tendência de redução da densidade e reorganização espacial dos indivíduos, o que possui implicações diretas para o manejo e a compreensão da evolução da estrutura florestal ao longo do tempo.

5.2 Análise Comparativa da Estrutura Amostral e da Composição Florística nos Inventários Florestais de 2013, 2018 e 2024

A comparação da composição florística e da estrutura horizontal nos inventários de 2013, 2018 e 2024 evidencia mudanças graduais na comunidade arbórea ao longo de onze anos de monitoramento. Apesar da redução no número de indivíduos, a composição florística manteve-se relativamente estável, com predominância das mesmas famílias e espécies

características da Floresta Ombrófila Mista Aluvial, indicando continuidade dos processos ecológicos fundamentais.

As variações observadas na distribuição das classes diamétricas refletem ajustes estruturais associados à redução de indivíduos nas classes iniciais e à permanência de espécies mais tolerantes ao sombreamento nas classes intermediárias e superiores. Assim, sugere avanço sucessional, fechamento gradual do dossel e maior estabilidade estrutural do fragmento ao longo do tempo.

Resultados semelhantes foram descritos para remanescentes de Floresta Ombrófila Mista submetidos a monitoramento de longo prazo, nos quais a manutenção da composição florística dominante, associada a ajustes estruturais graduais, indica dinâmica típica de florestas inequidâneas em estágio intermediário de sucessão (RODERJAN et al., 2002; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; SANQUETTA et al., 2014; MONTEIRO, 2019).

5.3 Estágio Sucessional das Espécies

O conjunto analisado reúne 15 espécies distribuídas em 15 famílias botânicas, com destaque para Lauraceae, Myrtaceae, Sapindaceae e Fabaceae. Quanto ao estágio sucessional, observa-se predominância de espécies secundárias iniciais (~47%), seguidas por pioneiras (~27%) e secundárias tardias (~27%), configurando um mosaico sucessional típico de florestas em regeneração.

Esse arranjo indica a coexistência de diferentes grupos ecológicos, refletindo estágios iniciais e intermediários de sucessão, com presença de espécies tardias que contribuem para a consolidação estrutural do dossel ao longo do tempo. A predominância de espécies secundárias iniciais sugere que o fragmento ainda se encontra em fase de reorganização estrutural, resultado de perturbações passadas.

O predomínio de espécies zoocóricas (~80%) evidencia forte dependência das interações planta-fauna para manutenção da regeneração natural. Segundo Howe e Smallwood (1982) e Oliveira-Filho et al. (2004), florestas com alta proporção de espécies zoocóricas apresentam maior estabilidade ecológica, porém também maior vulnerabilidade à perda de dispersores.

Padrões semelhantes foram observados em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, onde espécies secundárias iniciais dominam a composição florística, enquanto espécies tardias atuam na estabilização estrutural da comunidade (RODERJAN et al., 2002; CALLEGARO et al., 2013; MONTEIRO, 2019). A classificação das espécies quanto ao grupo ecológico e ao modo de dispersão encontra-se apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Estágio sucessional e modo de dispersão das espécies registradas nos inventários de 2013, 2018 e 2024.

Nome Científico	Nome Comum	Família	GE	GD
<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg.	Branquilho	Euphorbiaceae	SI	Autocórica
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton	Alfeneiro	Oleaceae	SI	Zoocórica
<i>Senegalia riparia</i> (Kunth) Britton & Rose ex Britton & Killip	Inhapindá	Fabaceae	SI	Zoocórica
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	Vacum	Sapindaceae	SI	Zoocórica
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	ST	Zoocórica
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica-de-cadela	Rutaceae	SI	Zoocórica
<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H.Rob.	Vassoura	Asteraceae	P	Anemocórica
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart.	Canela-amarela	Lauraceae	ST	Zoocórica
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	Leiteira	Apocynaceae	ST	Zoocórica
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Coporoça	Primulaceae	ST	Zoocórica
<i>Adenocalymma marginatum</i> (Cham.) DC.	Cipó	Bignoniaceae	P	Zoocórica
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Açoita-cavalo	Malvaceae	P	Anemocórica
<i>Cinnamodendron dinisi</i> Schwacke	Pimenteira	Canellaceae	ST	Zoocórica
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Uvaia	Myrtaceae	ST	Zoocórica / Autocórica
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Aroeira	Anacardiaceae	P	Zoocórica

Legenda: GE = Grupo ecológico; GD = Grupo de dispersão; P = Pioneira; SI = Secundária Inicial; ST = Secundária Tardia. **Fonte:** Carvalho (2003, 2006, 2010).

A predominância de espécies secundárias iniciais, associada à presença de espécies pioneiras e tardias, configura um mosaico sucessional característico de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista submetidos a perturbações passadas. Indicando que o fragmento se encontra em estágio sucessional intermediário, com coexistência de diferentes estratégias ecológicas e tendência de consolidação estrutural ao longo do tempo.

Estudos conduzidos no Sul do Brasil relatam padrões semelhantes, nos quais espécies secundárias iniciais dominam a composição florística, enquanto espécies tardias atuam como

elementos estruturais importantes para a estabilidade do dossel (RODERJAN et al., 2002; CALLEGARO et al., 2013; MONTEIRO, 2019).

O predomínio de espécies zoocóricas reforça a importância das interações planta-fauna na dinâmica da floresta, uma vez que a dispersão por animais favorece a manutenção da diversidade e da regeneração natural. Segundo Howe e Smallwood (1982) e Oliveira-Filho et al. (2004), florestas com elevada proporção de espécies zoocóricas apresentam maior dependência da fauna dispersora, tornando a conectividade e a conservação desses organismos fatores-chave para a manutenção dos processos ecológicos.

5.4 Estrutura Horizontal da Vegetação Arbórea

A análise temporal da estrutura horizontal da vegetação arbórea ao longo dos inventários de 2013, 2018 e 2024 evidencia mudanças graduais, porém consistentes, na organização da comunidade. A redução progressiva do número total de indivíduos ($727 \rightarrow 634 \rightarrow 613$) reflete processos naturais de mortalidade e competição interespecífica, típicos de florestas inequiduais em reorganização estrutural, sem indicar perda de estabilidade florística.

A manutenção da riqueza de espécies ao longo do período, associada à persistência de padrões semelhantes de dominância e frequência, indica que as alterações observadas ocorreram principalmente na estrutura populacional, e não na composição florística. Esse comportamento é recorrente em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista submetidos a monitoramento de longo prazo, nos quais a dinâmica estrutural se expressa pela redistribuição dos indivíduos entre espécies dominantes e subordinadas, sem alterações expressivas na riqueza total (RODERJAN et al., 2002; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; SANQUETTA et al., 2014).

Entre os padrões mais marcantes, destaca-se a dominância persistente de *Gymnanthes klotzschiana* ao longo de todo o período analisado. A espécie apresentou os maiores valores de densidade, dominância e valor de importância em todos os inventários, evidenciando elevada adaptação às condições edáficas e ao regime hídrico característico de ambientes aluviais. Estudos realizados em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil relatam comportamento semelhante, associando a dominância dessa espécie à sua elevada plasticidade ecológica, tolerância ao sombreamento e capacidade de regeneração contínua (CALLEGARO et al., 2013; MONTEIRO, 2019).

Por outro lado, observa-se a expansão gradual de *Ligustrum lucidum*, com aumento contínuo nos valores de densidade relativa e valor de importância ao longo dos inventários. O crescimento da participação dessa espécie confirma seu comportamento como exótica invasora, amplamente documentado para formações florestais do Sul do Brasil. Segundo Zenni e Ziller

(2011) e Sampaio e Schmidt (2014), a expansão de *L. lucidum* em fragmentos florestais pode alterar a estrutura comunitária, reduzir a equitabilidade e interferir nos processos de regeneração natural, padrão compatível com o observado neste estudo.

As demais espécies mantiveram baixa contribuição estrutural ao longo do período analisado, com valores reduzidos de densidade, dominância e frequência. Com intensa competição por recursos e a seletividade imposta pelas condições ambientais locais, especialmente em ambientes aluviais, nos quais poucas espécies conseguem se estabelecer de forma dominante. Em florestas inequidâneas em estágio sucessional intermediário, é comum que a diversificação estrutural ocorra de maneira lenta e condicionada à redução progressiva da dominância das espécies mais competitivas (LEITE; KLEIN, 1990; SANQUETTA et al., 2014).

De forma integrada, a comparação da estrutura horizontal entre 2013, 2018 e 2024 indica que o fragmento apresenta estabilidade florística associada a ajustes estruturais graduais, característicos de florestas nativas em regeneração contínua. A interação entre a espécie dominante nativa (*Gymnanthes klotzschiana*) e a espécie exótica invasora (*Ligustrum lucidum*) exerce influência direta sobre a dinâmica e a organização da comunidade, destacando a importância do monitoramento temporal como ferramenta fundamental para compreender tendências estruturais, subsidiar estratégias de conservação e orientar práticas de manejo em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista. Conforme apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 Estrutura Horizontal em 2013.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	U	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC	VC %	VI	VI %
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	459	30	5,11356	1480,65	63,1362	96,7742	31,25	16,49536	56,62735	119,764	59,88177	151,014	50,33784
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	164	29	2,37126	529,032	22,5585	93,5484	30,2083	7,64924	26,25926	48,8177	24,40886	79,0261	26,34202
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	40	8	0,19761	129,032	5,50206	25,8065	8,33333	0,63745	2,18832	7,69039	3,84519	16,0237	5,34124
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	17	6	0,0629	54,8387	2,33838	19,3548	6,25	0,20291	0,69659	3,03497	1,51748	9,28497	3,09499
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	15	4	0,22779	48,3871	2,06327	12,9032	4,16667	0,73481	2,52256	4,58583	2,29292	8,7525	2,9175
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	8	2	0,18562	25,8065	1,10041	6,45161	2,08333	0,59877	2,05552	3,15593	1,57797	5,23927	1,74642
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	4	3	0,13139	12,9032	0,55021	9,67742	3,125	0,42385	1,45506	2,00526	1,00263	5,13026	1,71009
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	2	0,18611	6,45161	0,2751	6,45161	2,08333	0,60036	2,06099	2,33609	1,16804	4,41942	1,47314
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	3	2	0,15995	9,67742	0,41265	6,45161	2,08333	0,51596	1,77125	2,1839	1,09195	4,26723	1,42241
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	3	2	0,14418	9,67742	0,41265	6,45161	2,08333	0,46511	1,59668	2,00933	1,00467	4,09266	1,36422
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	3	3	0,0433	9,67742	0,41265	9,67742	3,125	0,13968	0,47951	0,89217	0,44608	4,01717	1,33906
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	5	1	0,18639	16,129	0,68776	3,22581	1,04167	0,60125	2,06404	2,7518	1,3759	3,79347	1,26449
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	2	0,00836	6,45161	0,2751	6,45161	2,08333	0,02698	0,09261	0,36771	0,18386	2,45105	0,81702
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	1	0,00841	3,22581	0,13755	3,22581	1,04167	0,02714	0,09317	0,23072	0,11536	1,27239	0,42413
<i>Lithraea molleoides</i>	Bugreiro	Anacardiaceae	1	1	0,00335	3,22581	0,13755	3,22581	1,04167	0,0108	0,03709	0,17464	0,08732	1,21631	0,40544
*** Total			727	31	9,0302	2345,16	100	309,677	100	29,12967	100	200	100	300	100

N= número total de indivíduos; **DA**= densidade absoluta ou número de indivíduos ha⁻¹; **DR**= densidade relativa ou número de indivíduos em percentagem; **FA**= frequência absoluta ou em quantas parcelas a referida espécie aparece; **FR**= frequência relativa ou em quantas parcelas a referida espécie aparece em percentagem; **DoA**= dominância absoluta ou área basal por hectare da referida espécie; **DoR**= dominância relativa ou o percentual de área basal da espécie representa; **VC**= valor cobertura ou soma dos valores relativos de densidade e dominância e **VI**= valor de importância ou soma dos valores relativos de densidade, frequência e dominância.

Tabela 3 Estrutura Horizontal em 2018.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	U	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC	VC %	VI	VI %
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	398	29	5,80466	1283,871	62,77603	93,54839	31,86813	18,72472	53,95012	116,7261	58,36307	148,5943	49,53142
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	156	28	3,30387	503,2258	24,60568	90,32258	30,76923	10,65763	30,70704	55,31272	27,65636	86,08195	28,69398
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	18	7	0,07519	58,06452	2,83912	22,58065	7,69231	0,24254	0,69882	3,53794	1,76897	11,23024	3,74341
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	20	5	0,14718	64,51613	3,15457	16,12903	5,49451	0,47479	1,36797	4,52255	2,26127	10,01705	3,33902
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	11	4	0,24647	35,48387	1,73502	12,90323	4,3956	0,79506	2,29075	4,02577	2,01288	8,42137	2,80712
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	8	3	0,1927	25,80645	1,26183	9,67742	3,2967	0,6216	1,79098	3,05281	1,52641	6,34951	2,1165
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	2	0,24659	6,45161	0,31546	6,45161	2,1978	0,79546	2,29189	2,60735	1,30367	4,80515	1,60172
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	3	2	0,1779	9,67742	0,47319	6,45161	2,1978	0,57386	1,65341	2,12659	1,0633	4,3244	1,44147
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	3	2	0,16956	9,67742	0,47319	6,45161	2,1978	0,54696	1,57591	2,04909	1,02455	4,24689	1,41563
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	5	1	0,21939	16,12903	0,78864	3,22581	1,0989	0,7077	2,03905	2,8277	1,41385	3,9266	1,30887
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	3	2	0,11425	9,67742	0,47319	6,45161	2,1978	0,36854	1,06185	1,53504	0,76752	3,73284	1,24428
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	2	2	0,03738	6,45161	0,31546	6,45161	2,1978	0,1206	0,34746	0,66292	0,33146	2,86072	0,95357
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	3	2	0,01283	9,67742	0,47319	6,45161	2,1978	0,04139	0,11926	0,59245	0,29623	2,79025	0,93008
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	1	0,00931	3,22581	0,15773	3,22581	1,0989	0,03005	0,08657	0,2443	0,12215	1,3432	0,44773
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Miguel Pintado	Sapindaceae	1	1	0,00203	3,22581	0,15773	3,22581	1,0989	0,00656	0,01891	0,17664	0,08832	1,27554	0,42518
*** Total			634	31	10,75931	2045,161	100	293,5484	100	34,70747	100	200	100	300	100

N= número total de indivíduos; **DA**= densidade absoluta ou número de indivíduos ha⁻¹; **DR**= densidade relativa ou número de indivíduos em percentagem; **FA**= frequência absoluta ou em quantas parcelas a referida espécie aparece; **FR**= frequência relativa ou em quantas parcelas a referida espécie aparece em percentagem; **DoA**= dominância absoluta ou área basal por hectare da referida espécie; **DoR**= dominância relativa ou o percentual de área basal que a espécie representa; **VC**= valor cobertura ou soma dos valores relativos de densidade e dominância e **VI**= valor de importância ou soma dos valores relativos de densidade, frequência e dominância.

Tabela 4 Estrutura Horizontal em 2024.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	U	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC	VC %	VI	VI %
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	364	29	5,86961	1174,194	59,3801	93,54839	31,52174	18,93423	50,72491	110,105	55,05251	141,6268	47,20892
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	178	29	4,2097	574,1936	29,03752	93,54839	31,52174	13,57969	36,38007	65,41759	32,7088	96,93933	32,31311
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	26	8	0,10106	83,87097	4,24144	25,80645	8,69565	0,32599	0,87333	5,11476	2,55738	13,81041	4,60347
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	10	5	0,07109	32,25806	1,63132	16,12903	5,43478	0,22932	0,61435	2,24567	1,12284	7,68045	2,56015
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	9	3	0,20006	29,03226	1,46819	9,67742	3,26087	0,64536	1,72891	3,1971	1,59855	6,45797	2,15266
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	2	0,27556	6,45161	0,32626	6,45161	2,17391	0,88891	2,38139	2,70765	1,35383	4,88156	1,62719
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	3	2	0,18745	9,67742	0,4894	6,45161	2,17391	0,60469	1,61997	2,10936	1,05468	4,28328	1,42776
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	3	2	0,18527	9,67742	0,4894	6,45161	2,17391	0,59763	1,60106	2,09045	1,04523	4,26437	1,42146
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	5	1	0,2283	16,12903	0,81566	3,22581	1,08696	0,73646	1,97298	2,78864	1,39432	3,8756	1,29187
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	3	2	0,13435	9,67742	0,4894	6,45161	2,17391	0,43338	1,16104	1,65043	0,82522	3,82435	1,27478
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	3	2	0,03887	9,67742	0,4894	6,45161	2,17391	0,12538	0,33589	0,82529	0,41265	2,9992	0,99973
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	2	2	0,04476	6,45161	0,32626	6,45161	2,17391	0,14438	0,38679	0,71306	0,35653	2,88697	0,96232
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	2	0,00898	6,45161	0,32626	6,45161	2,17391	0,02898	0,07764	0,4039	0,20195	2,57781	0,85927
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Miguel Pintado	Sapindaceae	2	2	0,00461	6,45161	0,32626	6,45161	2,17391	0,01486	0,03982	0,36608	0,18304	2,53999	0,84666
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	1	0,01179	3,22581	0,16313	3,22581	1,08696	0,03802	0,10185	0,26499	0,13249	1,35194	0,45065
*** Total			613	31	11,57146	1977,419	100	296,7742	100	37,32728	100	200	100	300	100

N= número total de indivíduos; **DA**= densidade absoluta ou número de indivíduos ha⁻¹; **DR**= densidade relativa ou número de indivíduos em percentagem; **FA**= frequência absoluta ou em quantas parcelas a referida espécie aparece; **FR**= frequência relativa ou em quantas parcelas a referida espécie aparece em percentagem; **DoA**= dominância absoluta ou área basal por hectare da referida espécie; **DoR**= dominância relativa ou o percentual de área basal que a espécie representa; **VC**= valor cobertura ou soma dos valores relativos de densidade e dominância e **VI**= valor de importância ou soma dos valores relativos de densidade, frequência e dominância.

5.5 Diversidade Florística

A análise dos índices de diversidade florística ao longo dos inventários de 2013, 2018 e 2024 evidencia relativa estabilidade na estrutura da comunidade, com pequenas variações entre os períodos avaliados. De modo geral, os resultados indicam manutenção da composição florística ao longo do tempo, mesmo diante da redução no número total de indivíduos. A síntese dos índices de diversidade encontra-se apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Índices de diversidade ecológica (N, S, ln(S), H', C, J e QM) nos inventários de 2013, 2018 e 2024.

Ano	N (ind.)	S (esp.)	ln(S)	H' (Shannon)	C (Dominância)	J (Equabilidade)	QM
2013	727	15	2,70805	1,18474	0,547	0,4375	1 : 48,467
2018	634	15	2,70805	1,16917	0,5438	0,4317	1 : 42,267
2024	613	15	2,70805	1,16028	0,5615	0,4285	1 : 40,867

N = número de indivíduos; S = número de espécies; ln(S) = logaritmo natural da riqueza; H' = índice de diversidade de Shannon; C = índice de dominância; J = equabilidade de Pielou; QM = quociente de mistura.

Os valores do índice de Shannon (H') indicam diversidade moderada, característica de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista em estágio sucessional intermediário. A baixa variação desse índice entre os anos reforça a estabilidade na distribuição das espécies, sem alterações significativas na riqueza florística.

O índice de dominância de Simpson (C) evidencia a concentração estrutural em poucas espécies, refletindo o padrão observado na estrutura horizontal, no qual espécies como *Gymnanthes klotzschiana* e *Ligustrum lucidum* exercem forte influência sobre a organização da comunidade.

A equitabilidade de Pielou (J) reforça indicando distribuição desigual dos indivíduos entre as espécies, típica de florestas com forte dominância ecológica. Esse comportamento é comum em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista em processo de regeneração, nos quais poucas espécies apresentam maior capacidade competitiva e ocupam a maior parte da estrutura.

Resultados semelhantes são descritos na literatura, onde a combinação de diversidade moderada e elevada dominância é associada a florestas em estágio sucessional intermediário, com forte influência de espécies adaptadas às condições ambientais locais (RODERJAN et al., 2002; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; SANQUETTA et al., 2014). Os índices de diversidade confirmam que o fragmento apresenta estabilidade florística ao longo do período monitorado, com dinâmica estrutural

marcada por ajustes graduais e manutenção de padrões de dominância típicos de florestas inequiâneas em estágio sucessional intermediário.

5.6 Composição Florística

A análise da composição florística ao longo do período de monitoramento (2013, 2018 e 2024) permite identificar padrões de estabilidade e variações na abundância relativa das espécies, evidenciando a dinâmica ecológica do fragmento. A síntese da composição florística encontra-se apresentada nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 6 Resultado da florística realizada em 2013.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	%	Parcela
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	branquilha	Euphorbiaceae	459	63,14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Ligustrum lucidum</i>	alfeneiro	Oleaceae	164	22,56	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	40	5,5	11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19
<i>Allophylus edulis</i>	vacum	Sapindaceae	17	2,34	2, 3, 4, 5, 6, 14
<i>Prunus myrtifolia</i>	pessegueiro-bravo	Rosaceae	15	2,06	2, 5, 6, 12
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	8	1,1	3, 4
<i>Vernonanthura discolor</i>	vassoura	Asteraceae	4	0,55	4, 5, 6
<i>Nectandra oppositifolia</i>	canela amarela	Lauraceae	2	0,28	2, 3
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	leiteiro	Apocynaceae	3	0,41	3, 5
<i>Myrsine umbellata</i>	copororoca	Primulaceae	3	0,41	4, 5
<i>Adenocalymma marginatum</i>	cipó	Bignoniaceae	3	0,41	2, 6, 12
<i>Luehea divaricata</i>	açoita-cavalo	Malvaceae	5	0,69	5
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	pimenteira	Canellaceae	2	0,28	4, 5
<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	Myrtaceae	1	0,14	5
<i>Lithraea molleoides</i>	bugreiro	Anacardiaceae	1	0,14	3

N = número de indivíduos; % = frequência relativa das espécies; as parcelas indicam as unidades amostrais em que cada espécie foi registrada.

Tabela 7 Resultado da florística realizada em 2018.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	%	Parcela
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	branquilha	Euphorbiaceae	398	62,78	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Ligustrum lucidum</i>	alfeneiro	Oleaceae	156	24,61	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Allophylus edulis</i>	vacum	Sapindaceae	18	2,84	2, 3, 4, 5, 6, 11, 14
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	20	3,15	15, 16, 17, 18, 19
<i>Prunus myrtifolia</i>	pessegueiro-bravo	Rosaceae	11	1,74	2, 5, 6, 12
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> am.	mamica-de-cadela	Rutaceae	8	1,26	3, 4, 6
<i>Nectandra oppositifolia</i>	canela amarela	Lauraceae	2	0,32	2, 3
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	leiteiro	Apocynaceae	3	0,47	3, 5
<i>Myrsine umbellata</i>	copororoca	Primulaceae	3	0,47	4, 5
<i>Luehea divaricata</i>	açoita-cavalo	Malvaceae	5	0,79	5
<i>Vernonanthura discolor</i>	vassoura	Asteraceae	3	0,47	4, 6
<i>Adenocalymma marginatum</i>	cipó	Bignoniaceae	2	0,32	2, 12
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	pimenteira	Canellaceae	3	0,47	4, 5
<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	Myrtaceae	1	0,16	5
<i>Matayba elaeagnoides</i>	miguel pintado	Sapindaceae	1	0,16	6

N = número de indivíduos; % = frequência relativa das espécies; as parcelas indicam as unidades amostrais em que cada espécie foi registrada.

Tabela 8 Resultado da florística realizada em 2024.

Nome Científico	Nome Comum	Família	N	%	Parcela
<i>Gymnanthes klotzschian</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	364	59,38	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	178	29,04	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	26	4,24	1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 14
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	10	1,63	15, 16, 17, 18, 19
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	9	1,47	5, 6, 12
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	0,33	2, 3
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	3	0,49	3, 5
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	3	0,49	4, 5
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	5	0,82	5
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	3	0,49	4, 6
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	3	0,49	3, 6
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	2	0,33	2, 12
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	0,33	4, 5
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Miguel Pintado	Sapindaceae	2	0,33	5, 6
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	0,16	5

N = número de indivíduos; % = frequência relativa das espécies; as parcelas indicam as unidades amostrais em que cada espécie foi registrada.

A análise da composição florística no período (2013–2024) revela padrões consistentes de estabilidade estrutural, com predominância de poucas espécies e variações graduais nas abundâncias relativas refletem limitações ecológicas e a influência de espécies invasoras na dinâmica da comunidade.

Em todos os anos avaliados, observou-se forte dominância de *Gymnanthes klotzschiana* e *Ligustrum lucidum*, que juntas representam a maior parte da comunidade. A persistência de *G. klotzschiana* como espécie dominante indica elevada capacidade adaptativa e seu papel como elemento estrutural-chave em ambientes aluviais.

Por outro lado, o incremento progressivo de *Ligustrum lucidum* evidencia seu comportamento invasor, podendo impactar a diversidade local ao longo do tempo, uma vez que espécies exóticas tendem a competir com espécies nativas e alterar processos ecológicos fundamentais (ZENNI; ZILLER, 2011; SAMPAIO; SCHMIDT, 2014).

As demais espécies apresentaram baixa abundância e distribuição restrita, embora algumas, como *Allophylus edulis*, tenham apresentado aumento ao longo do período, indicando resposta positiva às condições ambientais. Em contraste, *Senegalia riparia* apresentou redução, possivelmente associada à competição ou alterações ambientais.

A manutenção da riqueza florística ao longo do período, associada à variação nas abundâncias relativas, indica estabilidade estrutural com ajustes internos na comunidade, característica típica de florestas em estágio sucessional intermediário. Amplamente descrito para remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, nos quais poucas espécies dominam a estrutura enquanto outras ocorrem com baixa representatividade (RODERJAN et al., 2002; CALLEGARO et al., 2013; MONTEIRO, 2019).

Os padrões observados evidenciam que, embora o fragmento apresente estabilidade florística ao longo do período monitorado, a forte dominância de poucas espécies e o avanço de espécies exóticas indicam limitações ecológicas que podem comprometer a dinâmica futura da comunidade.

5.7 Padrões de Distribuição Espacial da Vegetação Arbórea

A distribuição espacial das espécies arbóreas foi avaliada por meio dos índices de agregação (IGA), Morisita (K_i) e Payandeh (P_i), permitindo identificar padrões de organização da comunidade ao longo do período de monitoramento. Os resultados obtidos encontram-se apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 9 Análise dos Padrões de Distribuição Espacial em 2013.

Nome Científico	Nome Comum	Família	Ui	Ut	IGA	Classificação IGA	Ki	Classificação Ki	Pi	Classificação Pi
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	29	31	1,93018	Tend. Agrup.	0,33938	Tend. Agrup.	6,30325	Agrupamento
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilha	Euphorbiaceae	30	31	4,31174	Agregada	0,9644	Tend. Agrup.	7,78678	Agrupamento
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	6	31	2,54932	Agregada	7,20239	Agregada	3,38431	Agrupamento
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	4	31	3,5025	Agregada	18,1143	Agregada	7,00889	Agrupamento
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	3	31	0,95079	Uniforme	0,48346	Tend. Agrup.	0,93333	Não Agrup.
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	2	31	3,86953	Agregada	43,0271	Agregada	4,9	Agrupamento
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Lithraea molleoides</i>	Bugreiro	Anacardiaceae	1	31	0,98378	Uniforme*	0,49458	Tend. Agrup.	1	Não Agrup.
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	3	31	1,26772	Tend. Agrup.	2,63034	Agregada	1,41667	Tend. Agrup.
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	1	31	4,91891	Agregada*	119,516	Agregada	5	Agrupamento
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	31	0,98378	Uniforme*	0,49458	Tend. Agrup.	1	Não Agrup.
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	8	31	4,32279	Agregada	11,1319	Agregada	5,17667	Agrupamento

Ui = número de unidades em que a espécie ocorreu; Ut = número total de unidades amostrais; IGA = Índice de Green de Agregação; Ki = Índice de Morisita; Pi = Índice de Payne; as classificações indicam o padrão de distribuição espacial das espécies (uniforme, tend. agrupada ou agrupada).

Tabela 10 Análise dos Padrões de Distribuição Espacial em 2018.

Nome Científico	Nome Comum	Família	Ui	Ut	IGA	Classificação IGA	Ki	Classificação Ki	Pi	Classificação Pi
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	29	31	4,68422	Agregada	1,3442	Agregada	5,65008	Agrupamento
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	28	31	2,1548	Agregada	0,49448	Tend. Agrup.	5,91496	Agrupamento
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	7	31	2,26874	Agregada	4,95729	Agregada	2,5	Agrupamento
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	5	31	3,66797	Agregada	15,1683	Agregada	3,67333	Agrupamento
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	4	31	2,5685	Agregada	11,3536	Agregada	4,8	Agrupamento
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	3	31	2,53545	Agregada	15,0855	Agregada	2,83333	Agrupamento
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	1	31	4,91891	Agregada*	119,516	Agregada	5	Agrupamento
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	31	0,98378	Uniforme*	0,49458	Tend. Agrup.	1	Não Agrup.
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Miguel Pintado	Sapindaceae	1	31	0,98378	Uniforme*	0,49458	Tend. Agrup.	1	Não Agrup.

Ui = número de unidades em que a espécie ocorreu; Ut = número total de unidades amostrais; IGA = Índice de Green de Agregação; Ki = Índice de Morisita; Pi = Índice de Payne; as classificações indicam o padrão de distribuição espacial das espécies (uniforme, tend. agrupada ou agrupada).

Tabela 13 Análise dos Padrões de Distribuição Espacial em 2024.

Nome Científico	Nome Comum	Família	Ui	Ut	IGA	Classificação IGA	Ki	Classificação Ki	Pi	Classificação Pi
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	29	31	4,28406	Agregada	1,1982	Agregada	5,24597	Agrupamento
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	Oleaceae	29	31	2,09495	Agregada	0,3995	Tend. Agrup.	6,96592	Agrupamento
<i>Allophylus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	8	31	2,80981	Agregada	6,06317	Agregada	3,6641	Agrupamento
<i>Senegalia riparia</i>	inhapindá	Fabaceae	5	31	1,83398	Tend. Agrup.	4,74149	Agregada	2,35333	Agrupamento
<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-bravo	Rosaceae	3	31	2,85238	Agregada	18,1993	Agregada	4,40741	Agrupamento
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela Amarela	Lauraceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Apocynaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Myrsine umbellata</i>	Copororoca	Primulaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	1	31	4,91891	Agregada*	119,516	Agregada	5	Agrupamento
<i>Vernonanthura discolor</i>	Vassoura	Asteraceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela	Rutaceae	2	31	1,45108	Tend. Agrup.	6,76362	Agregada	1,62222	Agrupamento
<i>Adenocalymma marginatum</i>	Cipó	Bignoniaceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Cinnamodendron dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Miguel Pintado	Sapindaceae	2	31	0,96738	Uniforme	0,48907	Tend. Agrup.	0,96667	Não Agrup.
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae	1	31	0,98378	Uniforme*	0,49458	Tend. Agrup.	1	Não Agrup.

Ui = número de unidades em que a espécie ocorreu; Ut = número total de unidades amostrais; IGA = Índice de Green de Agregação; Ki = Índice de Morisita; Pi =

Índice de Payne; as classificações indicam o padrão de distribuição espacial das espécies (uniforme, tend. agrupada ou agrupada).

A análise dos padrões de distribuição espacial evidencia que a organização da comunidade é fortemente influenciada pela formação de agrupamentos, indicando que a regeneração ocorre de maneira heterogênea no espaço. Esse comportamento está associado a variações microambientais, como disponibilidade de luz, umidade e características do solo, que condicionam o estabelecimento e desenvolvimento das espécies.

Espécies como *Gymnanthes klotzschiana* e *Allophylus edulis* apresentaram maior tendência à agregação, sugerindo que sua ocorrência está relacionada a condições ambientais específicas ou a estratégias de regeneração em grupos. Por outro lado, espécies com padrão mais uniforme indicam maior independência em relação à heterogeneidade ambiental.

A predominância do padrão agregado também pode estar associada à dispersão zoocórica, na qual a deposição de sementes ocorre de forma concentrada, favorecendo a formação de núcleos de regeneração. Esse processo é amplamente descrito em florestas tropicais e subtropicais e desempenha papel importante na estruturação espacial das comunidades vegetais.

Assim, os padrões espaciais observados indicam que a dinâmica do fragmento não depende apenas da composição e dominância das espécies, mas também da forma como essas espécies se organizam no espaço, fator fundamental para compreender os processos de regeneração, competição e sucessão ecológica.

5.8 Estrutura Diamétrica (2013–2024)

A distribuição diamétrica do fragmento ao longo dos anos de 2013, 2018 e 2024 apresentou padrão típico de florestas inequianes, com maior concentração de indivíduos nas classes de menor diâmetro e redução progressiva nas classes superiores. Esse comportamento indica a presença contínua de regeneração, associada à mortalidade seletiva ao longo do gradiente diamétrico.

Entre os períodos avaliados, observa-se uma tendência de redução na densidade das classes iniciais, acompanhada pelo aumento relativo das classes intermediárias, evidenciando o crescimento e a transição dos indivíduos ao longo do tempo. A dinâmica natural da floresta, caracterizada pelo avanço gradual dos indivíduos nas classes diamétricas. Apesar dessa progressão, a baixa representatividade nas classes superiores indica que o fragmento ainda se encontra em estágio intermediário de desenvolvimento estrutural. Esse comportamento pode estar associado a fatores como competição por

recursos, fechamento do dossel e histórico de perturbações, que limitam o crescimento de indivíduos de maior porte.

A influência de espécies dominantes, como *Gymnanthes klotzschiana*, e a presença de espécies exóticas, como *Ligustrum lucidum*, também podem contribuir para a limitação da progressão estrutural, ao modificar as condições ambientais e intensificar a competição.

De modo geral, a estrutura diamétrica indica um sistema em processo de reorganização, com manutenção da regeneração, mas com limitações na progressão estrutural, aspecto relevante para a compreensão da dinâmica da floresta e para as projeções realizadas pelos modelos de transição.

Tabela 11 Análise Estatística da Estrutura Diamétrica (2013, 2018 e 2024).

Estatística	2013	2018	2024
Média (cm)	11,36	13,16	13,67
Mediana (cm)	10,09	11,65	12,03
Moda (cm)	5,73	6,05	6,68
Desvio Padrão (cm)	5,39	6,55	7,32
Variância	29,07	42,87	53,61
Coeficiente de Variação (%)	47,45	49,74	53,57
Amplitude (cm)	32,27	39,44	41,92
Número de Classes	11	11	11
Intervalo de Classe (cm)	3	4	4
Menor valor (cm)	4,97	4,93	4,55
Maior valor (cm)	37,24	44,37	46,47

Os resultados estatísticos da estrutura diamétrica reforçam a tendência de aumento nos valores médios de diâmetro ao longo do período monitorado, evidenciando o crescimento dos indivíduos e a reorganização estrutural do fragmento. O incremento na variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação) indica maior heterogeneidade estrutural ao longo do tempo, refletindo a dinâmica natural de crescimento e competição entre os indivíduos.

5.9 Distribuição de Frequência do DAP (2013, 2018 e 2024)

A distribuição de frequência dos diâmetros à altura do peito (DAP) evidenciou maior concentração de indivíduos nas classes diamétricas iniciais em todos os anos avaliados, com redução progressiva da frequência nas classes de maior diâmetro.

Em 2013, observou-se maior concentração de indivíduos nas classes entre 7 e 13 cm, indicando predominância de indivíduos jovens. Em 2018, verificou-se redução relativa nas classes iniciais e aumento nas classes intermediárias, refletindo o crescimento dos indivíduos ao longo do tempo. Em 2024, essa tendência se manteve, com maior

distribuição dos indivíduos nas classes intermediárias e presença de indivíduos em classes superiores, indicando avanço estrutural do fragmento.

Tabela 12 Estrutura Diamétrica para o ano de 2013.

Classe	Ponto Médio	Frequência	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
4 -- 7	5,5	158	158	21,73	21,73
7 -- 10	8,5	198	356	27,24	48,97
10 -- 13	11,5	152	508	20,91	69,88
13 -- 16	14,5	96	604	13,2	83,08
16 -- 19	17,5	61	665	8,39	91,47
19 -- 22	20,5	31	696	4,26	95,73
22 -- 25	23,5	10	706	1,38	97,11
25 -- 28	26,5	8	714	1,1	98,21
28 -- 31	29,5	7	721	0,96	99,17
31 -- 34	32,5	1	722	0,14	99,31
34 -- 37	35,5	3	725	0,41	99,72
37 -- 40	38,5	2	727	0,28	100

Classe = intervalo de diâmetro (cm); Ponto Médio = valor central de cada classe diamétrica; Frequência = número de indivíduos em cada classe; Frequência Acumulada = soma progressiva dos indivíduos; Frequência Relativa = percentual de indivíduos por classe; Frequência Relativa Acumulada = soma progressiva dos percentuais de frequência por classe.

Tabela 13 Estrutura Diamétrica para o ano de 2018.

Classe	Ponto Médio	Frequência	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
4 -- 8	6	147	147	23,19	23,19
8 -- 12	10	178	325	28,08	51,27
12 -- 16	14	134	459	21,14	72,41
16 -- 20	18	91	550	14,35	86,76
20 -- 24	22	45	595	7,1	93,86
24 -- 28	26	18	613	2,84	96,7
28 -- 32	30	10	623	1,58	98,28
32 -- 36	34	4	627	0,63	98,91
36 -- 40	38	3	630	0,47	99,38
40 -- 44	42	3	633	0,47	99,85
44 -- 48	46	1	634	0,16	100,01

Classe = intervalo de diâmetro (cm); Ponto Médio = valor central de cada classe diamétrica; Frequência = número de indivíduos por classe; Frequência Acumulada = soma progressiva do número de indivíduos; Frequência Relativa = percentual de indivíduos por classe; Frequência Relativa Acumulada = soma progressiva dos percentuais por classe.

Tabela 14 Estrutura Diamétrica para o ano de 2024.

Classe	Ponto Médio	Frequência	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
4 -- 8	6	155	155	25,29	25,29
8 -- 12	10	151	306	24,63	49,92
12 -- 16	14	117	423	19,09	69,01
16 -- 20	18	88	511	14,36	83,37
20 -- 24	22	50	561	8,16	91,53
24 -- 28	26	23	584	3,75	95,28
28 -- 32	30	11	595	1,79	97,07
32 -- 36	34	7	602	1,14	98,21
36 -- 40	38	4	606	0,65	98,86
40 -- 44	42	5	611	0,82	99,68
44 -- 48	46	2	613	0,33	100,01

Classe = intervalo de diâmetro (cm); Ponto Médio = valor central de cada classe diamétrica; Frequência = número de indivíduos por classe; Frequência Acumulada = soma progressiva do número de indivíduos; Frequência Relativa = percentual de indivíduos por classe; Frequência Relativa Acumulada = soma progressiva dos percentuais por classe.

5.10 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2013

Foram ajustadas as funções Weibull 2P, Weibull 3P, Meyer Tipo I e Meyer Tipo II para descrever a distribuição diamétrica no ano de 2013. Nenhuma das funções apresentou aderência estatística segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Entretanto, foram observadas diferenças no desempenho dos modelos. A função Meyer Tipo II apresentou melhor ajuste visual e maior proximidade com os valores observados, principalmente nas classes iniciais e intermediárias, enquanto a Weibull 3P apresentou maior discrepância, superestimando as menores classes.

A ausência de aderência estatística está associada à heterogeneidade estrutural da floresta, característica comum em formações inequidâneas, nas quais há concentração de indivíduos nas classes de menor diâmetro.

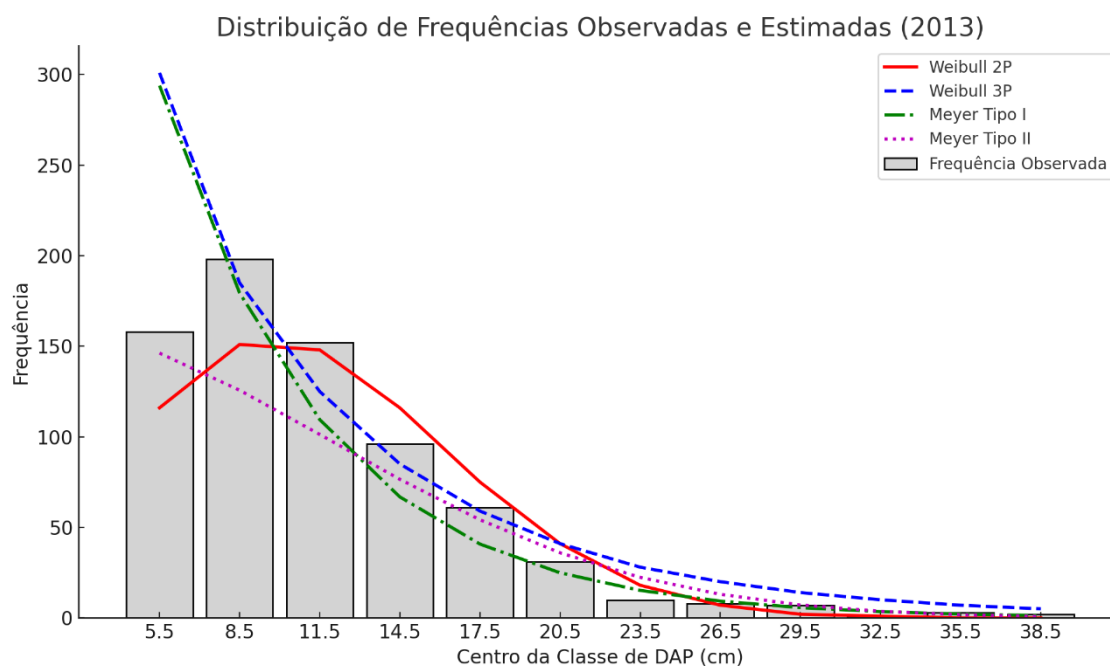
Assim, considerando a coerência ecológica e o comportamento das curvas, a função Meyer Tipo II foi a que melhor representou a distribuição diamétrica do fragmento em 2013.

Tabela 15 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2013.

Classe	Centro_Classe	Freq_Observada	Weibull_2P	Weibull_3P	Meyer_I	Meyer_II
4 -- 7	5,5	158	116	301	293,96	146,21
7 -- 10	8,5	198	151	185	179,38	125,71
10 -- 13	11,5	152	148	125	109,47	101,3
13 -- 16	14,5	96	116	85	66,8	76,52
16 -- 19	17,5	61	75	59	40,76	54,17
19 -- 22	20,5	31	41	41	24,88	35,95
22 -- 25	23,5	10	18	28	15,18	22,36
25 -- 28	26,5	8	7	20	9,26	13,04
28 -- 31	29,5	7	2	14	5,65	7,12
31 -- 34	32,5	1	1	10	3,45	3,65
34 -- 37	35,5	3	0	7	2,11	1,75
37 -- 40	38,5	2	0	5	1,28	0,79

Tabela 16 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2013.

Função	Parâmetros	KS_Calculado	KS_Tabelado	Decisão
Weibull 2P	Shape = 2,1819; Scale = 12,8844	0,1577	0,0504	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Weibull 3P	Shape = 0,9739; Scale = 7,9351; Location = 5,4363	0,2004	0,0504	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Meyer Tipo I	B0 = 6,58892; B1 = -0,16463	0,1735	0,0504	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Meyer Tipo II	a = 5,09387; b = -0,0036	0,06669	0,0504	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)

Figura 2 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2013

A comparação entre as frequências observadas e estimadas reforça o melhor desempenho da função Meyer Tipo II, que apresentou maior proximidade com os dados empíricos ao longo das classes diamétricas, sobretudo nas classes de maior concentração de indivíduos.

5.11.1 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2018

Foram ajustadas as funções Weibull 2P, Weibull 3P, Meyer Tipo I e Meyer Tipo II para representar a distribuição diamétrica no ano de 2018. De modo geral, nenhuma das funções apresentou aderência estatística segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Apesar disso, foram observadas diferenças no desempenho dos modelos. A função Meyer Tipo II manteve o melhor desempenho entre os modelos testados, apresentando maior proximidade com os valores observados, especialmente nas classes iniciais e intermediárias, enquanto a Weibull 3P apresentou maior discrepância, superestimando as classes de menor diâmetro.

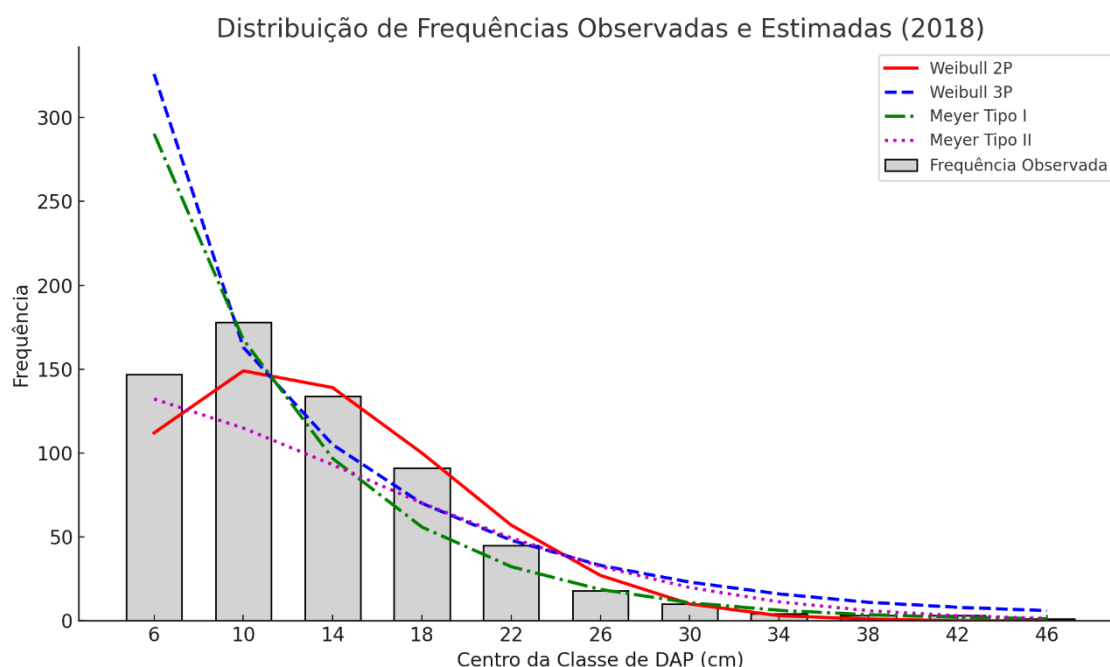
A ausência de aderência estatística está associada à heterogeneidade estrutural da floresta, característica comum em formações inequidâneas. Dessa forma, considerando o comportamento dos modelos e sua coerência ecológica, a função Meyer Tipo II foi a que melhor representou a distribuição diamétrica no ano de 2018.

Tabela 17 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2018.

Classe	Centro_Classe	Freq_Observada	Weibull_2P	Weibull_3P	Meyer_I	Meyer_II
4 -- 8	6	147	112	326	290,35	132,22
8 -- 12	10	178	149	163	167,61	114,86
12 -- 16	14	134	139	105	96,76	93,0
16 -- 20	18	91	100	70	55,86	70,19
20 -- 24	22	45	57	48	32,25	49,37
24 -- 28	26	18	27	33	18,62	32,37
28 -- 32	30	10	10	23	10,75	19,78
32 -- 36	34	4	3	16	6,2	11,27
36 -- 40	38	3	1	11	3,58	5,98
40 -- 44	42	3	0	8	2,07	2,96
44 -- 48	46	1	0	6	1,19	1,37

Tabela 18 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2018.

Função	Parâmetros	KS_Calculado	KS_Tabelado	Decisão
Weibull 2P	Shape = 2,1117; Scale = 14,9455	0,1644	0,054	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Weibull 3P	Shape = 0,9293; Scale = 9,9696; Location = 5,9101	0,2097	0,054	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Meyer Tipo I	B0 = 6,49521; B1 = -0,13735	0,1919	0,054	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)
Meyer Tipo II	a = 5,06901; b = -0,00257	0,06149	0,054	Não aderente ($D_{\text{calc}} \geq D_{\text{tab}}$)

Figura 3 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2018

A comparação entre as frequências observadas e estimadas confirma o melhor desempenho da função Meyer Tipo II na representação da distribuição diamétrica.

5.11.2 Ajuste e Avaliação das Funções de Distribuição – 2024

Foram ajustadas as funções Weibull 2P, Weibull 3P, Meyer Tipo I e Meyer Tipo II para representar a distribuição diamétrica no ano de 2024. De modo geral, nenhuma das funções apresentou aderência estatística segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Apesar disso, foram observadas diferenças no desempenho dos modelos. A função Meyer Tipo II novamente apresentou melhor desempenho entre os modelos avaliados, mantendo maior proximidade com os valores observados, especialmente nas classes

iniciais e intermediárias, enquanto a Weibull 3P apresentou maior discrepância, superestimando as classes de menor diâmetro.

A ausência de aderência estatística está associada à heterogeneidade estrutural da floresta, característica comum em formações inequidâneas. Dessa forma, considerando o comportamento dos modelos e sua coerência ecológica, a função Meyer Tipo II foi a que melhor representou a distribuição diamétrica no ano de 2024.

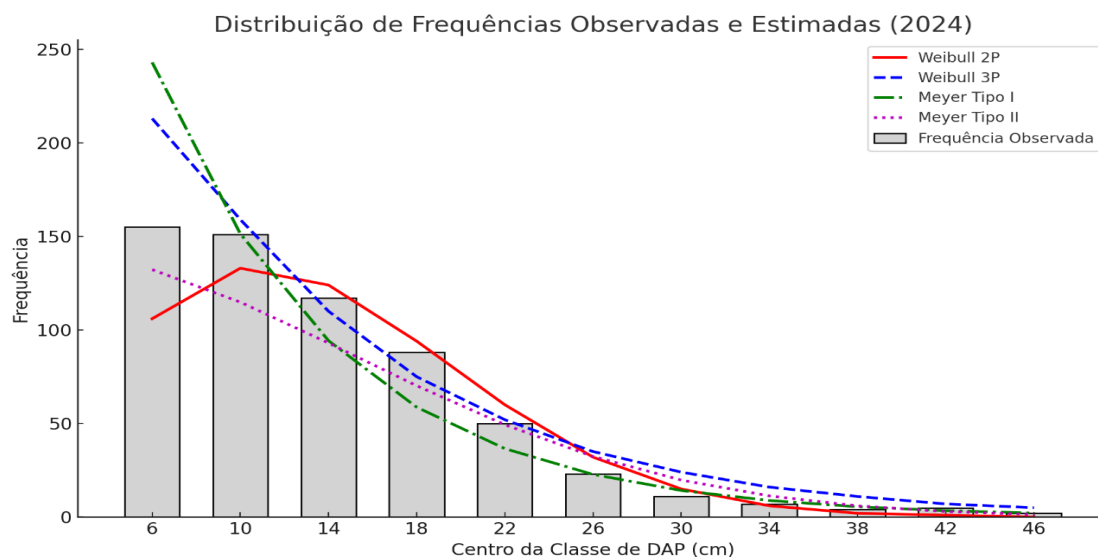
Tabela 19 Resultados das Funções de Distribuição para o ano de 2024

Classe	Centro_Classe	Freq_Observada	Weibull_2P	Weibull_3P	Meyer_I	Meyer_II
4 -- 8	6	155	106	213	243,01	132,22
8 -- 12	10	151	133	159	151,35	114,86
12 -- 16	14	117	124	110	94,26	93
16 -- 20	18	88	94	75	58,71	70,19
20 -- 24	22	50	60	52	36,56	49,37
24 -- 28	26	23	32	35	22,77	32,37
28 -- 32	30	11	15	24	14,18	19,78
32 -- 36	34	7	6	16	8,83	11,27
36 -- 40	38	4	2	11	5,5	5,98
40 -- 44	42	5	1	7	3,43	2,96
44 -- 48	46	2	0	5	2,13	1,37

Tabela 20 Parâmetros e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o ano de 2024

Função	Parâmetros	KS_Calculado	KS_Tabelado	Decisão
Weibull 2P	Shape = 1,9685; Scale = 15,5128	0,1554	0,0549	Não aderente (D_calc $\geq$ D_tab)
Weibull 3P	Shape = 1,0196; Scale = 10,6136; Location = 5,9204	0,2391	0,0549	Não aderente (D_calc $\geq$ D_tab)
Meyer Tipo I	B0 = 6,20338; B1 = -0,11838	0,1264	0,0549	Não aderente (D_calc $\geq$ D_tab)
Meyer Tipo II	a = 4,96359; b = -0,0022	0,0644	0,0549	Não aderente (D_calc $\geq$ D_tab)

Figura 4 Distribuição de Frequências Observadas e Estimadas para o ano de 2024



A comparação entre as frequências observadas e estimadas confirma o melhor desempenho da função Meyer Tipo II na representação da distribuição diamétrica.

5.12 Análise Comparativa das Funções de Distribuição (2013, 2018 e 2024)

A análise comparativa das funções de distribuição ajustadas para os anos de 2013, 2018 e 2024 evidenciou padrão consistente no desempenho dos modelos. Em todos os períodos, nenhuma das funções apresentou aderência estatística segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, indicando limitações no ajuste formal frente à elevada heterogeneidade estrutural do fragmento.

Entre os modelos avaliados, a função Weibull 3P apresentou o pior desempenho, com tendência recorrente de superestimação das classes iniciais de diâmetro. Por outro lado, a Weibull 2P apresentou comportamento mais equilibrado, embora com limitações nos extremos da distribuição.

As funções Meyer Tipo I e, principalmente, Meyer Tipo II apresentaram os melhores desempenhos ao longo dos três inventários, com maior coerência entre valores estimados e observados. O desempenho superior da Meyer Tipo II está associado à sua capacidade de representar distribuições assimétricas, típicas de florestas inequidêneas com concentração de indivíduos nas classes iniciais.

A manutenção desse padrão entre 2013, 2018 e 2024 indica estabilidade na forma da distribuição diamétrica, com mudanças ocorrendo de maneira gradual ao longo do tempo. Esse comportamento reflete a dinâmica estrutural da floresta, marcada pelo crescimento dos indivíduos e redistribuição nas classes de diâmetro. Os resultados indicam que os modelos Meyer Tipo II e Weibull 2P são os mais adequados para

representar a estrutura diamétrica do fragmento, sendo mais consistentes do ponto de vista ecológico do que a Weibull 3P.

5.13 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2013

A análise de agrupamento hierárquico das 31 parcelas amostradas em 2013, baseada nos atributos número de espécies (S), índice de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J), resultou na formação de três grupos distintos, utilizando o método de Ward e distância euclidiana.

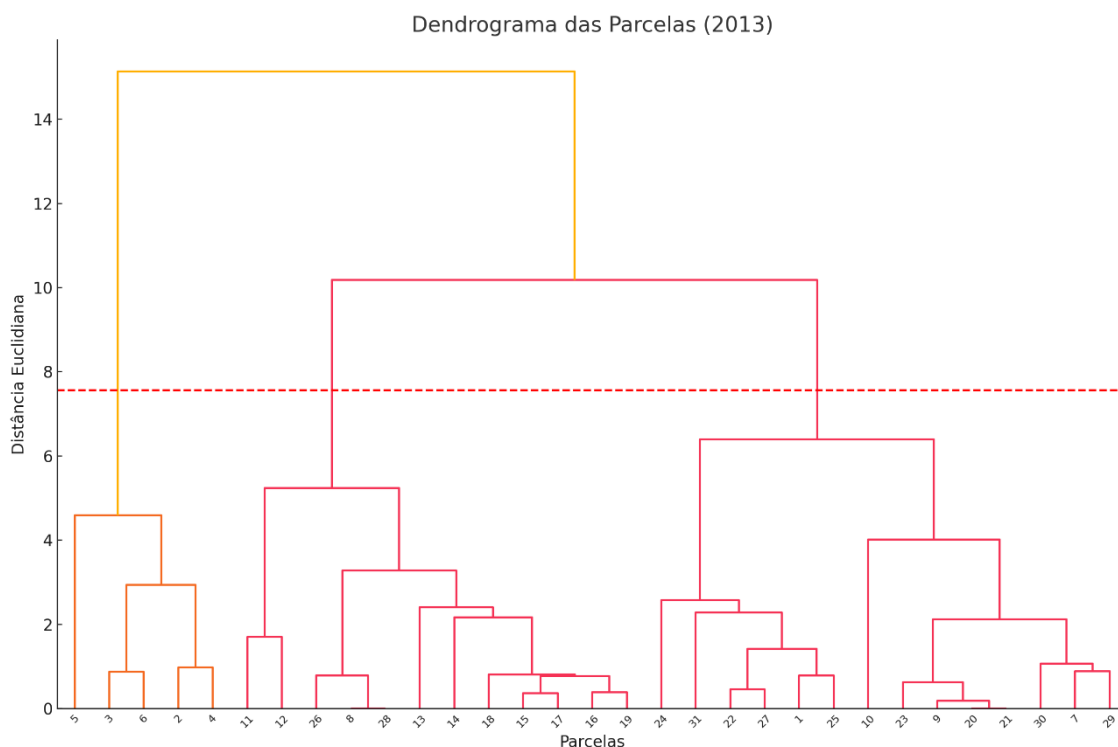
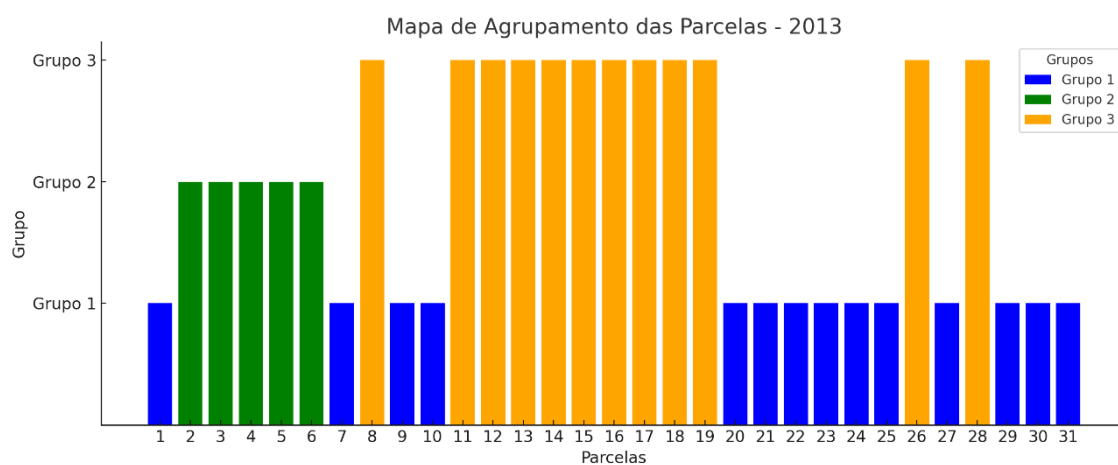
O Grupo 1 concentrou o maior número de parcelas e caracterizou-se por apresentar baixa riqueza florística, baixos valores de diversidade e forte dominância de poucas espécies, indicando ambientes estruturalmente simplificados. É sugerido áreas sob influência de limitações ambientais ou em estágios iniciais de regeneração.

O Grupo 2 reuniu parcelas com maiores valores de riqueza, diversidade e equabilidade, representando comunidades mais equilibradas e estruturalmente complexas, possivelmente associadas a condições ambientais mais favoráveis e menor influência de distúrbios recentes.

O Grupo 3 apresentou características intermediárias, com diversidade moderada e presença de dominância, indicando áreas em transição estrutural ou em estágios sucessionais intermediários. A formação desses grupos evidencia a heterogeneidade florística e estrutural do fragmento, refletindo a atuação de diferentes condições ambientais e processos sucessionais ao longo da área.

Tabela 21 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2013

Parcela	Grupo	Parcela	Grupo
1	1	17	3
2	2	18	3
3	2	19	3
4	2	20	1
5	2	21	1
6	2	22	1
7	1	23	1
8	3	24	1
9	1	25	1
10	1	26	3
11	3	27	1
12	3	28	3
13	3	29	1
14	3	30	1
15	3	31	1
16	3		

Figura 5 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2013**Figura 6** Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2013

5.13.1 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2018

A análise de agrupamento das parcelas em 2018, com base na riqueza de espécies (S), diversidade de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J), manteve a formação de três grupos distintos, utilizando o método de Ward e distância euclidiana.

O Grupo 1 concentrou parcelas com baixa riqueza, baixos valores de diversidade e forte dominância, indicando manutenção de áreas estruturalmente simplificadas. O Grupo 2 reuniu parcelas com maiores valores de diversidade e equabilidade,

representando os ambientes mais estruturados e estáveis do fragmento. Já o Grupo 3 apresentou características intermediárias, indicando áreas em transição estrutural.

Em comparação com 2013, observa-se a manutenção do padrão geral de agrupamento, evidenciando que a heterogeneidade florística e estrutural do fragmento se manteve ao longo do período, com mudanças ocorrendo de forma gradual.

Tabela 22 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2018.

Parcela	Grupo	Parcela	Grupo
1	1	17	3
2	2	18	3
3	2	19	3
4	2	20	3
5	2	21	3
6	2	22	1
7	1	23	1
8	3	24	1
9	3	25	1
10	1	26	3
11	1	27	1
12	3	28	3
13	1	29	1
14	3	30	1
15	3	31	3
16	3		

Figura 7 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2018.

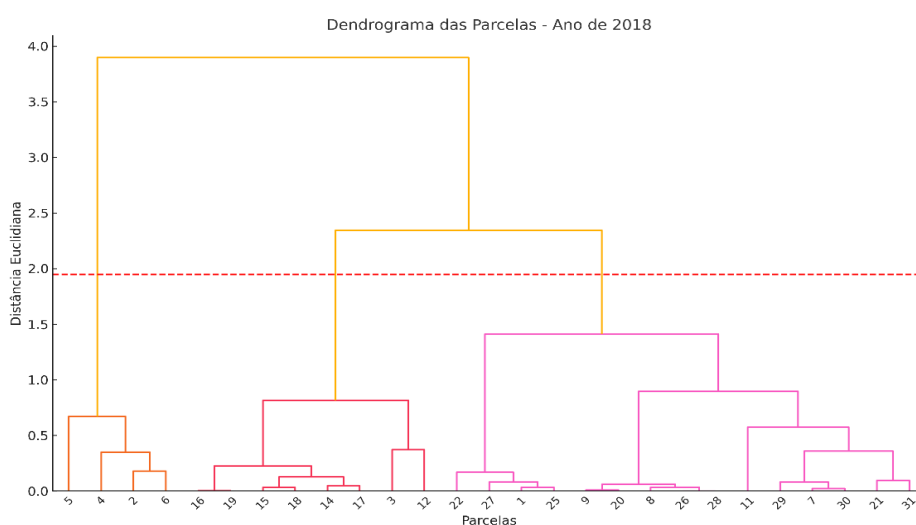
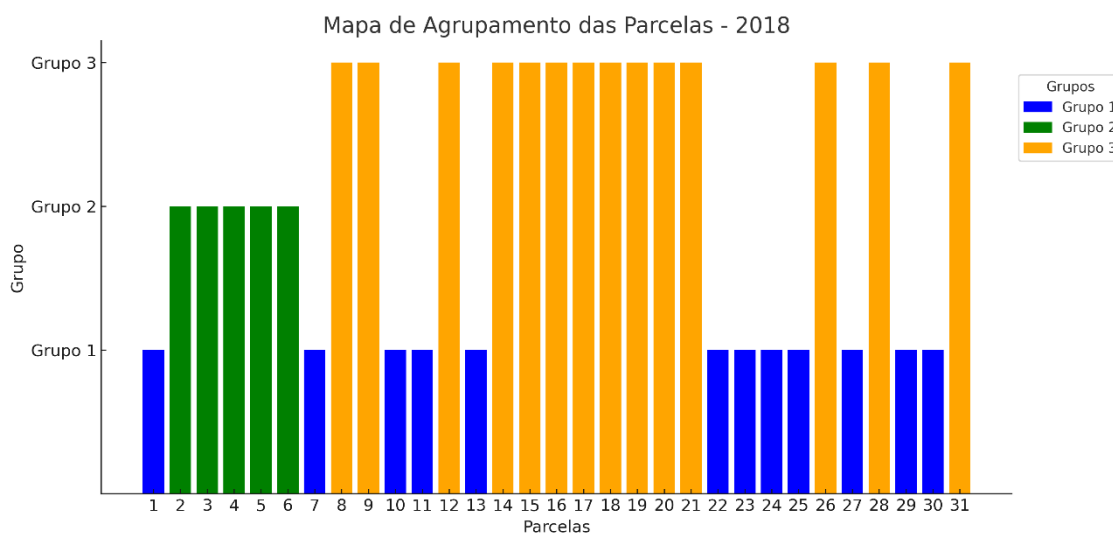


Figura 8 Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2018.



5.13.2 Análise de Agrupamento das Parcelas – Ano de 2024

A análise de agrupamento das parcelas em 2024, baseada na riqueza de espécies (S), diversidade de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J), resultou na formação de três grupos distintos, utilizando o método de Ward e distância euclidiana.

O Grupo 1 concentrou o maior número de parcelas, caracterizando-se por baixa riqueza florística, baixa diversidade e forte dominância, indicando predominância de ambientes estruturalmente simplificados. O Grupo 2 reuniu parcelas com maiores valores de diversidade e equabilidade, representando os ambientes mais estruturados e estáveis do fragmento. Já o Grupo 3 apresentou características intermediárias, indicando áreas em transição estrutural.

Em relação aos anos anteriores, observa-se a manutenção da heterogeneidade estrutural do fragmento, com predominância de áreas simplificadas e persistência de parcelas mais estruturadas ao longo do tempo.

Tabela 23 Análise de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2024.

Parcela	Grupo	Parcela	Grupo
1	1	17	3
2	2	18	3
3	2	19	3
4	2	20	1
5	2	21	1
6	2	22	1
7	1	23	1
8	3	24	1
9	1	25	1
10	1	26	3
11	1	27	1
12	1	28	3
13	1	29	1
14	3	30	1
15	3	31	1
16	3		

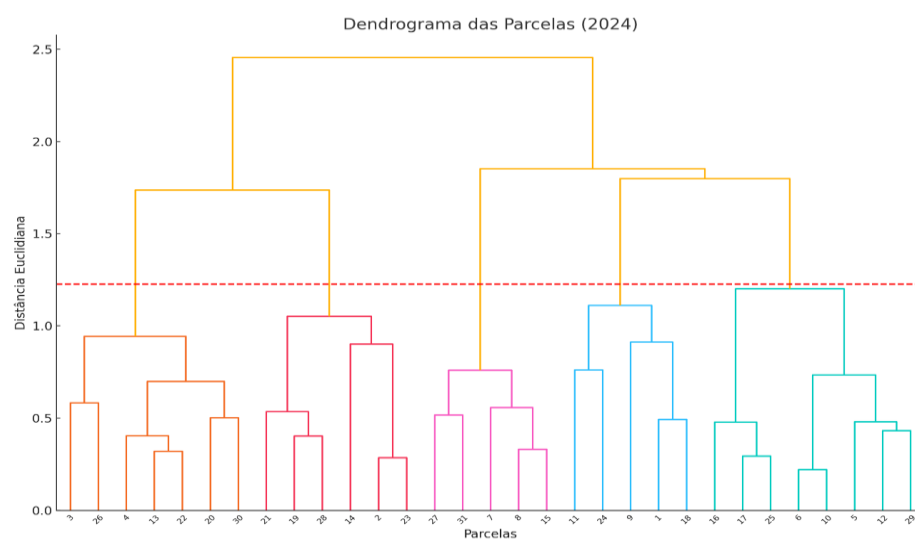
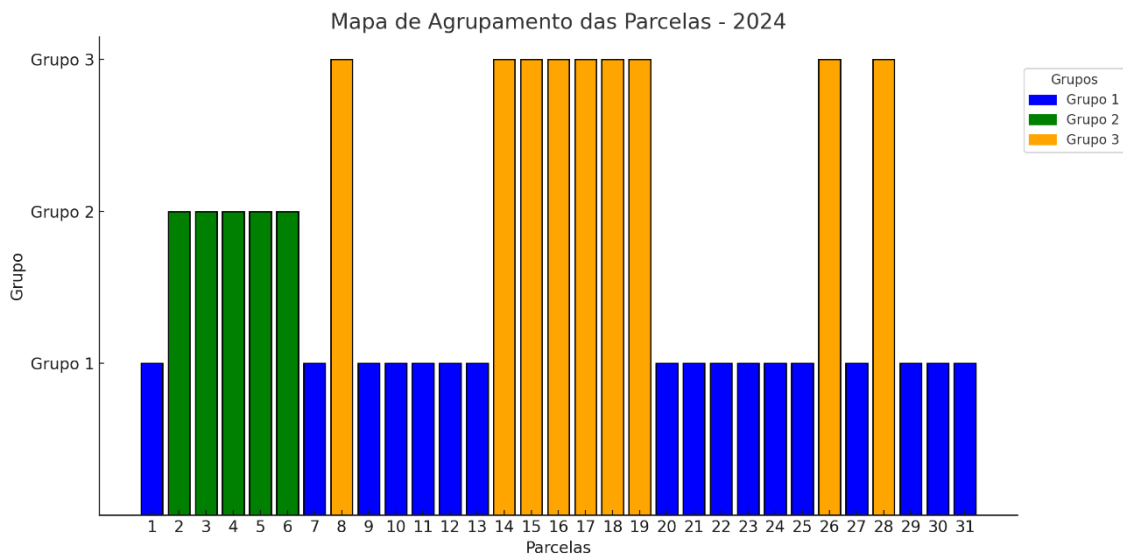
Figura 9 Resultado do Dendrograma para o Ano de 2024.

Figura 10 Mapa de Agrupamento das Parcelas para o Ano de 2024.



5.14 Dinâmica Temporal do Agrupamento das Parcelas (2013, 2018 e 2024)

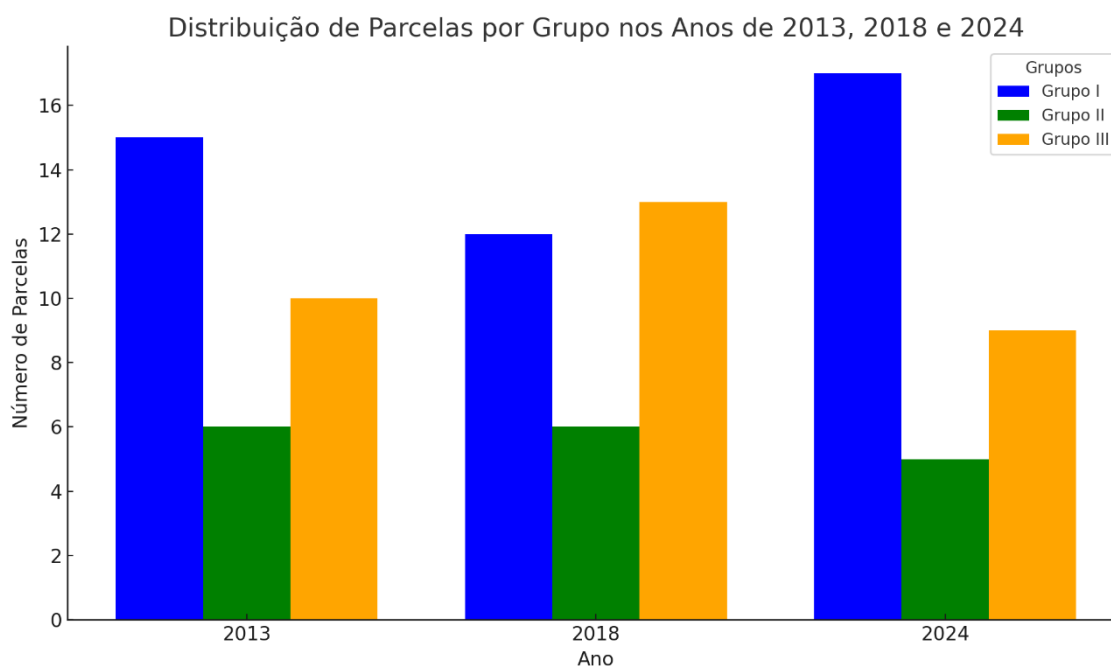
A análise integrada dos agrupamentos ao longo dos anos de 2013, 2018 e 2024 evidencia a manutenção de três grupos estruturais, indicando padrão consistente de heterogeneidade florística e estrutural no fragmento.

Em 2013, predominavam parcelas com baixa diversidade, associadas a estágios iniciais de regeneração, enquanto um conjunto menor de parcelas apresentava maior complexidade estrutural. Em 2018, o aumento indica parcelas com características intermediárias, sugerindo avanço pontual na organização estrutural da vegetação.

No entanto, em 2024, verifica-se novamente predominância de parcelas com estrutura simplificada, indicando que a dinâmica do fragmento é marcada por oscilações, com avanços e limitações no processo sucessional.

A permanência de parcelas com maior diversidade ao longo dos três períodos indica a existência de áreas estruturalmente mais estáveis, enquanto a recorrência de parcelas com baixa diversidade reforça a influência de espécies dominantes e limitações ambientais sobre a organização da comunidade. Os resultados evidenciam que o fragmento apresenta dinâmica espacial heterogênea, com diferentes estágios sucessionais coexistindo ao longo da área (Figura 11).

Figura 11 Resultado da Distribuição das Parcelas, por Grupo para os Anos de 2013, 2018 e 2024.



5.15 Matriz de Transição Diamétrica (2013 a 2018)

A matriz de transição diamétrica para o período de 2013 a 2018, considerando 11 classes de diâmetro, evidenciou uma dinâmica florestal característica de formações inequidâneas. O recrutamento ocorreu exclusivamente na primeira classe diamétrica, indicando ingresso contínuo de indivíduos nas classes iniciais (Tabela 26).

A Classe 1 concentrou o maior número de indivíduos e apresentou maior intensidade de permanência, crescimento e mortalidade, configurando-se como o principal compartimento da dinâmica populacional. Nas classes intermediárias, verificou-se transição gradual para classes superiores, refletindo crescimento diamétrico contínuo e boa sobrevivência dos indivíduos estabelecidos.

A redução progressiva do número de indivíduos nas classes de maior diâmetro, associada à baixa mortalidade nesses estratos, indica maior estabilidade dos indivíduos de maior porte. Esse comportamento é típico de florestas naturais em processo de reorganização estrutural.

O conjunto dos resultados evidencia uma floresta com regeneração ativa e fluxo contínuo de crescimento diamétrico, concentrando sua dinâmica nas classes iniciais e mantendo a estrutura característica de formações inequidâneas.

Tabela 24 Resultado da Matriz de Transição Diamétrica para os anos de 2013 a 2018.

N Classes	LI	LS	Ponto Médio	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Mortalidade	Total	Recrutamento
1	4,97	7,97	6,47	106	51	10	63	230	49
2	7,97	10,97	9,47	73	42	17	38	170	0
3	10,97	13,97	12,47	61	36	12	20	129	0
4	13,97	16,97	15,47	28	37	11	14	90	0
5	16,97	19,97	18,47	17	13	5	4	39	0
6	19,97	22,97	21,47	10	9	4	1	24	0
7	22,97	25,97	24,47	4	2	2	1	9	0
8	25,97	28,97	27,47	1	2	0	0	3	0
9	28,97	31,97	30,47	3	2	1	1	7	0
10	31,97	34,97	33,47	0	0	1	0	1	0
11	34,97	37,97	36,47	0	2	1	0	3	0
							142	705	

Em que: $Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$, $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas, G = probabilidade de transição por classe diamétrica, Y_{it} = frequência da classe de diâmetro, I_{it} = recrutamento, **Prognose futura ($\hat{2}$, $\hat{3}$, etc.) e $Y_{2\Delta t} = G^2 \cdot Y_0 + G \cdot I_{it} + I_{i2}$. Classe 0, indivíduos arbóreos que se mantiveram na mesma classe no período de 2013 a 2018, classe 1, indivíduos arbóreos que cresceram e mudaram uma classe no período de 2013 a 2018; classe 2, indivíduos arbóreos que cresceram e mudaram duas classes no período de 2013 a 2018, mortalidade, indivíduos que no segundo período de medição (2088) estavam mortos e recrutamento, indivíduos que em 2013 não atingiram as dimensões mínimas (5 cm) e que em 2018 aumentaram as dimensões em diâmetro e atingiram as dimensões mínimas (≥ 5 cm) para serem incluídos na medição.

5.16 Probabilidade de transição de árvores 2013 - 2018

As probabilidades de transição entre classes diamétricas no período de 2013 a 2018 indicam maior mobilidade nas classes iniciais e aumento da estabilidade nas classes de maior diâmetro (Tabela 27).

Nas classes iniciais, especialmente entre as Classes 1 e 3, as maiores probabilidades de permanência e avanço refletem intensa dinâmica populacional, associada à competição e ao estabelecimento dos indivíduos. Esse comportamento evidencia que a estrutura do fragmento é fortemente conduzida pelos processos que ocorrem nos menores diâmetros.

Nas classes intermediárias, observa-se continuidade do crescimento diamétrico, com equilíbrio entre permanência e transição, indicando maior estabilidade dos indivíduos que superam os estágios iniciais.

Nas classes superiores, predomina a permanência, indicando maior estabilidade estrutural dos indivíduos de maior porte, padrão característico de florestas inequiâneas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010).

O recrutamento concentrado na primeira classe diamétrica reforça a manutenção da regeneração natural, ainda que condicionada pela competição e pelo sombreamento no sub-bosque.

Tabela 25 Resultado da Matriz de Transição para os Anos de 2013-2018.

[illegible]

5.17 Prognose do Número de Indivíduos (2013 a 2018)

A projeção da estrutura diamétrica para o período de 2013 a 2018 indicou predominância de indivíduos nas classes de menor diâmetro, com maior concentração na primeira classe (Tabela 28). Esse comportamento reflete a influência do recrutamento e das altas probabilidades de permanência nas classes iniciais.

Nas classes intermediárias, observa-se continuidade do fluxo de crescimento diamétrico, com distribuição mais equilibrada dos indivíduos, indicando a progressão daqueles que superaram os estágios iniciais de estabelecimento.

Nas classes superiores, verifica-se redução acentuada no número de indivíduos, evidenciando baixa representatividade de árvores de maior porte. A estrutura projetada ainda é dominada por indivíduos jovens, com avanço gradual para classes superiores. A distribuição projetada mantém o padrão típico de florestas inequidâneas, com concentração da dinâmica nas classes iniciais e progressiva diminuição nas classes de maior diâmetro.

Tabela 26 Resultado da Prognose do Número de Indivíduos.

Centro Classe	$G^2 \times Y_0$	$G \times Y_{it1}$	$G \times Y_{it2}$	Iit	Prognose
6,47	48,85	23,50	4,61	49	125,97
9,47	42,66	29,34	9,52	0	81,52
12,47	39,66	29,62	10,31	0	79,58
15,47	20,46	25,76	8,47	0	54,69
18,47	23,74	24,23	7,82	0	55,78
21,47	9,84	12,61	4,68	0	27,13
24,47	5,79	5,93	3,03	0	14,75
27,47	1,44	2,61	1,11	0	5,17
30,47	3,06	2,63	0,87	0	6,57
33,47	0,57	0,57	0,29	0	1,43
36,47	0,14	0,29	0,14	0	0,57

453,15

Em que: $Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$; $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas; G = probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = frequência da classe de diâmetro; I_{it} = recrutamento; **Prognose futura (Δ^2 , Δ^3 , etc.) e $Y_{2\Delta t} = G^2 \cdot Y_0 + G \cdot I_{it} + I_{i2}$.

5.18 Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov (2013–2018)

A comparação entre a distribuição diamétrica observada em 2018 e a distribuição projetada indicou diferença significativa entre os dados, conforme evidenciado pelo valor máximo do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{\max} = 0,1239$), superior aos valores críticos para os níveis de 5% e 1% (Tabela 29).

Esse resultado indica que a projeção não apresentou aderência estatística à distribuição observada, evidenciando limitações do modelo em representar a estrutura diamétrica no período analisado.

As maiores discrepâncias foram observadas nas classes intermediárias, indicando maior dificuldade do modelo em representar os processos de crescimento e transição nessas faixas de diâmetro. Apesar da não aderência estatística, o modelo manteve coerência com o padrão geral da distribuição diamétrica, sendo útil para a interpretação da dinâmica estrutural da floresta.

Tabela 27 Resultado do Teste de Kolmogorov-Smirnov.

S (x)	F (x)	F (x) - S (x)	Prog. 2013-2018
0,33	0,28	0,0483	K-S 95% 0,0512
0,57	0,46	0,1095	K-S 99% 0,0614
0,75	0,63	0,1169	
0,88	0,75	0,1239	
0,93	0,88	0,0561	
0,97	0,94	0,0303	
0,98	0,97	0,0105	
0,98	0,98	0,0033	
0,99	1,00	0,0013	
1,00	1,00	0,0030	
1,00	1,00	0,0000	
			0,1239

H_0 : não há diferença entre as frequências esperadas e observadas das categorias da variável ($F_o(x) = S_n(x)$);

H_1 : Há diferença entre as frequências esperadas e as frequências observadas, ($F_o(x) \neq S_n(x)$ ou $F_o(x) > S_n(x)$ ou $F_o(x) < S_n(x)$).

5.19 Matriz de Transição Diamétrica (2018 a 2024)

A matriz de transição diamétrica referente ao período de 2018 a 2024 evidenciou a manutenção do padrão estrutural observado no intervalo anterior, com maior concentração de indivíduos nas classes iniciais e recrutamento restrito à primeira classe diamétrica (Tabela 30).

As classes iniciais concentraram as maiores taxas de permanência, crescimento e mortalidade, indicando elevada dinâmica nesses estágios. Nas classes intermediárias, observou-se continuidade do fluxo de crescimento diamétrico, com equilíbrio entre permanência e transição para classes superiores.

Nas classes de maior diâmetro, verificou-se redução no número de indivíduos e maior estabilidade estrutural, com baixas taxas de mortalidade. Esse comportamento indica que os indivíduos que atingem maiores dimensões apresentam maior permanência na estrutura da floresta.

De forma geral, a dinâmica observada entre 2018 e 2024 reforça a predominância de processos de regeneração contínua e crescimento progressivo, com manutenção do padrão estrutural característico de florestas inequidâneas.

Tabela 28 Resultado da Matriz de Transição Diamétrica para os anos de 2018 a 2024.

N Classes	LI	LS	Ponto Médio	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Mortalidade	Total	Recrutamento
1	4,97	7,97	6,47	107	9	2	22	140	49
2	7,97	10,97	9,47	87	13	2	29	131	0
3	10,97	13,97	12,47	77	14	2	12	105	0
4	13,97	16,97	15,47	56	16	4	3	79	0
5	16,97	19,97	18,47	45	12	3	4	64	0
6	19,97	22,97	21,47	19	10	1	3	33	0
7	22,97	25,97	24,47	13	3	1	3	20	0
8	25,97	28,97	27,47	4	3	1	0	8	0
9	28,97	31,97	30,47	2	5	1	0	8	0
10	31,97	34,97	33,47	0	1	2	0	3	0
11	34,97	37,97	36,47	0	1	1	0	2	0
							76	593	

Em que: $Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$, $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas, G = probabilidade de transição por classe diamétrica, Y_{it} = frequência da classe de diâmetro, I_{it} = recrutamento, **Prognose futura ($\hat{2}$, $\hat{3}$, etc.) e $Y_{2\Delta t} = G^2 \cdot Y_0 + G \cdot I_{it} + I_{i2}$. Classe 0, indivíduos arbóreos que se mantiveram na mesma classe no período de 2018 a 2024, classe 1, indivíduos arbóreos que cresceram e mudaram uma classe no período de 2018 a 2024; classe 2, indivíduos arbóreos que cresceram e mudaram duas classes no período de 2018 a 2024, mortalidade, indivíduos que no segundo período de medição (2024) estavam mortos e recrutamento, indivíduos que em 2018 não atingiram as dimensões mínimas (5 cm) e que em 2014 aumentaram as dimensões em diâmetro e atingiram as dimensões mínimas (≥ 5 cm) para serem incluídos na medição.

5.20 Probabilidade de transição de árvores 2018 – 2024

As probabilidades de transição diamétrica indicam maior permanência dos indivíduos nas classes iniciais, com redução gradual dessa permanência nas classes de maior diâmetro (Tabela 31).

Nas classes iniciais, observa-se predominância de permanência, associada à maior ocorrência de mortalidade, evidenciando elevada dinâmica nesses estágios. Esse comportamento indica intensa competição e maior instabilidade estrutural nas menores classes diamétricas.

Nas classes intermediárias, verifica-se aumento das probabilidades de transição para classes superiores, indicando continuidade do crescimento diamétrico e maior estabilidade dos indivíduos que superam os estágios iniciais de estabelecimento.

Nas classes superiores, observa-se predominância de transições em relação à permanência, associada à baixa ou ausência de mortalidade, refletindo maior estabilidade dos indivíduos de maior porte. As probabilidades de transição evidenciam um fluxo contínuo de crescimento ao longo das classes diamétricas, com maior mobilidade nas classes intermediárias e maior estabilidade nas classes superiores.

Tabela 29 Resultado da Matriz de Transição para os Anos de 2018-2024.

[illegible]

5.21 Prognose do Número de Indivíduos (2018 à 2024)

A projeção da estrutura diamétrica indicou maior concentração de indivíduos nas classes iniciais, com redução progressiva ao longo das classes de maior diâmetro (Tabela 32). Esse comportamento reflete a influência do recrutamento e das probabilidades de permanência nas menores classes. Nas classes intermediárias, observa-se continuidade do crescimento diamétrico, indicando a progressão dos indivíduos que superam os estágios iniciais de estabelecimento.

Nas classes superiores, verifica-se baixa representatividade de indivíduos, evidenciando que a estrutura projetada permanece dominada por árvores de menor diâmetro. A distribuição projetada mantém o padrão típico de florestas inequidêneas, com concentração nas classes iniciais e diminuição gradual nas classes superiores.

Tabela 30 Resultado da Prognose do Número de Indivíduos.

Centro Classe	$G^2 \times Y_0$	$G \times Y_{it1}$	$G \times Y_{it2}$	Iit	Prognose
6,47	81,78	6,88	1,53	49	139,19
9,47	58,36	9,21	1,46	0	69,03
12,47	57,79	11,69	1,69	0	71,16
15,47	41,59	13,41	3,13	0	58,13
18,47	34,92	11,94	2,96	0	49,82
21,47	13,39	8,82	1,34	0	23,55
24,47	11,62	5,54	1,09	0	18,26
27,47	2,48	2,25	0,68	0	5,41
30,47	1,68	2,53	0,68	0	4,88
33,47	3,25	3,50	0,75	0	7,50
36,47	0,46	0,96	0,79	0	2,21
					449,14

Em que: $Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$; $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas; G = probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = frequência da classe de diâmetro; I_{it} = recrutamento; **Prognose futura ($\Delta 2$, $\Delta 3$, etc.) e $Y_{2\Delta t} = G^2 \cdot Y_0 + G \cdot I_{it} + I_{it2}$.

5.22 Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S) 2018 a 2024

A comparação entre a distribuição diamétrica observada e a projetada indicou diferença significativa entre os dados, com valor máximo do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{\max} = 0,0738$), superior aos valores críticos para os níveis de 5% e 1% (Tabela 33).

Esse resultado indica ausência de aderência estatística entre a projeção e a distribuição observada no período analisado. As maiores discrepâncias foram observadas nas classes iniciais, indicando maior dificuldade do modelo em representar os processos de recrutamento e crescimento nessas faixas de diâmetro.

Tabela 31 Resultado do Teste de Kolmogorov-Smirnov

S (x)	F (x)	F (x) - S (x)	Prog. 2018-2024	
0,24	0,31	0,0738	K-S 95%	0,0558
0,46	0,46	0,0066	K-S 99%	0,0669
0,63	0,62	0,0120		
0,77	0,75	0,0158		
0,88	0,86	0,0128		
0,93	0,91	0,0160		
0,96	0,96	0,0091		
0,98	0,97	0,0105		
0,99	0,98	0,0132		
1,00	1,00	0,0015		
1,00	1,00	0,0000		
		0,0738		

H_0 : não há diferença entre as frequências esperadas e observadas das categorias da variável ($F_o(x) = S_n(x)$);

H_1 : Há diferença entre as frequências esperadas e as frequências observadas, ($F_o(x) \neq S_n(x)$) ou $F_o(x) > S_n(x)$ ou $F_o(x) < S_n(x)$.

5.23 Transição Diamétrica, Prognose e Aderência (2013–2024)

A análise integrada da transição diamétrica, da prognose do número de indivíduos e dos testes de aderência evidencia um padrão estrutural característico de florestas em estágio sucessional inicial a intermediário, com elevada concentração de indivíduos nas classes iniciais e redução progressiva nas classes de maior diâmetro .

No período de 2013 a 2018, a dinâmica foi marcada por elevada mortalidade e recrutamento concentrados na classe inicial, além de maior mobilidade nas classes intermediárias, indicando intensa competição e estabelecimento. Apesar disso, a projeção não apresentou aderência estatística à distribuição observada, sugerindo limitações do modelo em representar a dinâmica estrutural nesse intervalo.

Entre 2018 e 2024, observou-se maior permanência nas classes iniciais e redução na intensidade das transições, indicando desaceleração do crescimento diamétrico. A projeção manteve o padrão estrutural da floresta, embora novamente tenha sido identificada ausência de aderência estatística, com divergências concentradas nas classes de menor diâmetro.

De forma geral, os resultados indicam que a dinâmica estrutural é fortemente influenciada pelos processos de recrutamento, mortalidade e crescimento nas classes iniciais, enquanto as classes superiores apresentam baixa densidade e maior estabilidade, padrão

frequentemente descrito para florestas inequidâneas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; SANQUETTA et al., 2014).

Figura 12 Comparação entre os valores observados em 2013 e os valores estimados para 2018 pelo modelo de transição diamétrica.

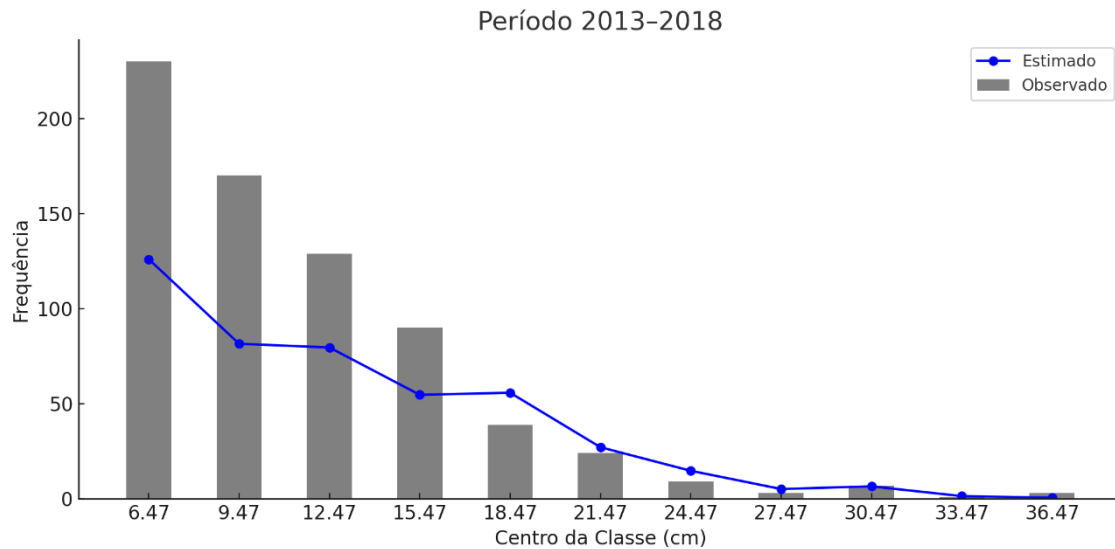
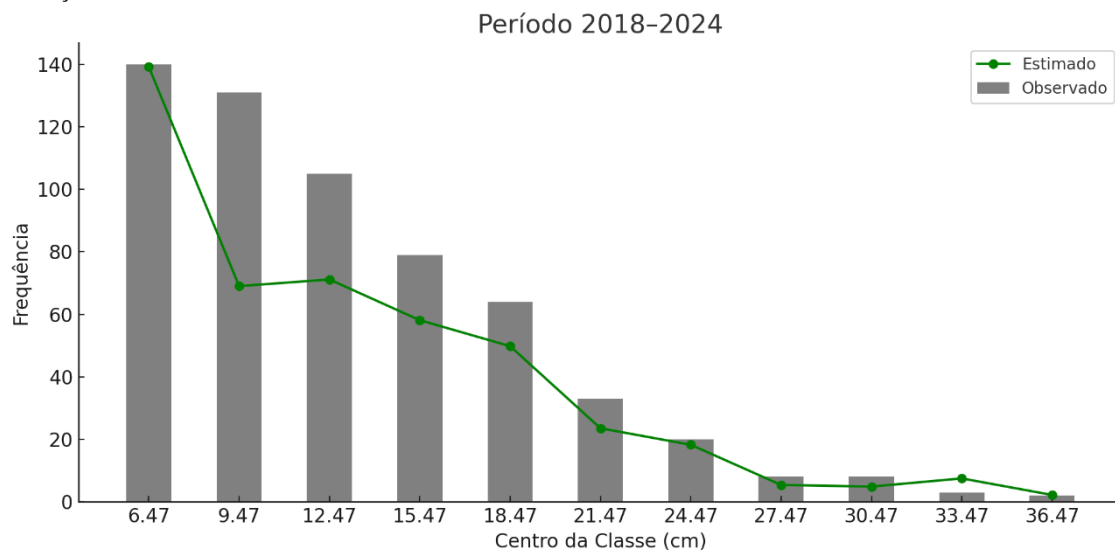


Figura 13 Comparação entre os valores observados em 2018 e os valores estimados para 2024 pelo modelo de transição diamétrica.



5.24 Razão de movimentação entre 2013 e 2018

Entre 2013 e 2018, a razão de movimentação apresentou aumento progressivo das classes iniciais para as classes de maior diâmetro, indicando maior mobilidade diamétrica ao longo do gradiente estrutural.

Nas classes iniciais, predominou a permanência de indivíduos, associada a elevados valores de mortalidade e recrutamento, evidenciando intensa renovação e competição. Já nas classes intermediárias, observou-se maior proporção de indivíduos em transição para classes superiores, indicando crescimento ativo.

Nas classes de maior diâmetro, a dinâmica foi marcada por baixa densidade e ocorrência de transições mais intensas, incluindo deslocamentos superiores a uma classe, refletindo o crescimento de poucos indivíduos dominantes. Uma estrutura em desenvolvimento, com forte renovação nas classes inferiores e avanço progressivo dos indivíduos ao longo das classes diamétricas.

Tabela 32 Razão de movimentação de 2013 para 2018.

2013-2018					% árv. Mov. Nas classes de di			N. de árv. Movidas nas classes de dap				
Classes DAP	N. Arvores	IPMd (cm)	RM	%	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Mortalidade	Recrutamento
4,93 -- 7,93	231	1,33	44,33	100	55,67	44,33	0,00	128,59	102,41	0,00	63	49
7,93 -- 10,93	170	1,73	57,67	100	42,33	57,67	0,00	71,97	98,03	0,00	38	0
10,93 --13,93	129	1,96	65,33	100	34,67	65,33	0,00	44,72	84,28	0,00	20	0
13,93 --16,93	89	2,27	75,50	100	24,50	75,50	0,00	21,80	67,20	0,00	14	0
16,97 --19,97	40	2,81	93,57	100	6,43	93,57	0,00	2,57	37,43	0,00	4	0
19,97 --22,97	24	2,67	88,86	100	11,14	88,86	0,00	2,67	21,33	0,00	1	0
22,97 --25,97	9	3,23	107,52	100	0,00	92,48	7,52	0,00	8,32	0,68	1	0
25,97 --28,97	3	3,26	108,67	100	-8,67	108,67	0,00	-0,26	3,26	0,00	0	0
28,97 --31,97	7	2,33	77,67	100	22,33	77,67	0,00	1,56	5,44	0,00	1	0
31,97 --34,97	1	6,46	215,39	100	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	1,00	0	0
34,97 --37,97	3	5,30	176,66	100	0,00	23,34	76,66	0,00	0,70	2,30	0	0
142												

5.25 Razão de movimentação entre 2018 e 2024

No período de 2018 a 2024, a redução indica na intensidade da movimentação diamétrica nas classes iniciais, com predominância da permanência dos indivíduos e menor avanço para classes superiores. As classes intermediárias apresentaram mobilidade moderada, enquanto nas classes de maior diâmetro ocorreram transições mais intensas, incluindo deslocamentos superiores a uma classe, ainda que com baixa representatividade de indivíduos.

A mortalidade permaneceu concentrada nas classes iniciais, enquanto o recrutamento foi registrado exclusivamente nessas faixas, reforçando a dinâmica de renovação na base da estrutura. Assim, os resultados indicam desaceleração do crescimento em relação ao período anterior, com manutenção do padrão estrutural de floresta em regeneração e ausência de equilíbrio entre recrutamento, crescimento e mortalidade.

Tabela 33 Razão de movimentação de 2018 para 2024.

2018-2024					% árv. Mov. classes de di			N. de árv. Movidas nas classes de dap				
Classes DAP	N. Arvores	IPMd (cm)	RM	%	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Mortalidade	Recrutamento
4,97 -- 7,97	140	0,59	19,67	100	80,33	19,67	0,00	112,47	27,53	0,00	22	49
7,97 -- 10,97	131	0,30	10,00	100	90,00	10,00	0,00	117,90	13,10	0,00	29	0
10,97 --13,97	105	0,28	9,33	100	90,67	9,33	0,00	95,20	9,80	0,00	12	0
13,97 --16,97	79	0,87	29,00	100	71,00	29,00	0,00	56,09	22,91	0,00	3	0
16,97 --19,97	64	0,83	27,67	100	72,33	27,67	0,00	46,29	17,71	0,00	4	0
19,97 --22,97	33	0,89	29,67	100	70,33	29,67	0,00	23,21	9,79	0,00	3	0
22,97 --25,97	20	1,17	39,00	100	0,00	92,48	7,52	0,00	18,50	1,50	3	0
25,97 --28,97	8	2,18	72,67	100	27,33	72,67	0,00	2,19	5,81	0,00	0	0
28,97 --31,97	8	1,56	52,00	100	48,00	52,00	0,00	3,84	4,16	0,00	0	0
31,97 --34,97	3	4,62	154,00	100	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	3,00	0	0
34,97 --37,97	2	4,28	142,67	100	0,00	23,34	76,66	0,00	0,47	1,53	0	0
37,97 --40,97	4	2,29	76,33	100	0,00	23,34	76,66	0,00	0,93	3,07	0	0
40,97 --43,97	1	1,27	42,33	100	0,00	23,34	76,66	0,00	0,23	0,77	0	0
43,97 --46,97	1	2,10	70,00	100	0,00	23,34	76,66	0,00	0,23	0,77	0	0

6. CONCLUSÃO

Entre 2013 e 2024, o fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial monitorado apresentou trajetória estrutural coerente com sistemas em estágio sucessional inicial–intermediário. A composição florística manteve-se estável ao longo dos três inventários, com forte dominância de *Gymnanthes klotzschiana* e participação crescente de *Ligustrum lucidum*, o que contribui para a baixa equitabilidade e a assimetria estrutural observadas.

Estruturalmente, houve redução progressiva do número de indivíduos, acompanhada de aumento da área basal, indicando crescimento diamétrico dos remanescentes e consolidação de indivíduos previamente estabelecidos. A distribuição diamétrica manteve base populacional concentrada nas menores classes, com transferência gradual para classes intermediárias entre 2013 e 2018 e desaceleração desse avanço entre 2018 e 2024. Em 2024, a estrutura apresenta maior alongamento da distribuição, com redução relativa na base e maior participação nas classes intermediárias, além de registros pontuais em classes superiores, indicando aumento da heterogeneidade estrutural.

As funções de distribuição ajustadas evidenciaram limitações frente à complexidade ecológica da floresta. Em todos os anos, o teste de Kolmogorov–Smirnov rejeitou a aderência formal, embora a função Meyer Tipo II tenha apresentado comportamento mais compatível com o padrão esperado, ao representar adequadamente o decaimento da densidade nas classes diamétricas.

Os modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação indicaram diferenças na dinâmica entre os períodos analisados. Entre 2013 e 2018 ocorreu maior mobilidade estrutural, com avanço expressivo de indivíduos para classes intermediárias. Já entre 2018 e 2024 verificou-se maior permanência nas classes iniciais e avanço mais moderado nas classes intermediárias, além de transições pontuais nas classes superiores, associadas à baixa densidade nesses estratos. A mortalidade concentrou-se nas classes menores, enquanto o recrutamento ocorreu predominantemente na classe inicial, reforçando o caráter sucessional do fragmento.

As prognoses indicam continuidade da organização estrutural, com avanço gradual para classes intermediárias e estabilidade limitada nas classes superiores, refletindo a baixa representatividade de indivíduos de grande porte.

As análises de agrupamento identificaram três grupos ecológicos ao longo dos inventários, com manutenção de um grupo mais estável e variações nos demais associadas à dinâmica interna da floresta. Essas variações não alteraram a configuração geral da comunidade no período analisado.

Os resultados evidenciam estabilidade florística associada à reorganização estrutural contínua e à dinâmica diamétrica em evolução, atendendo ao objetivo geral da pesquisa. Os modelos aplicados permitiram interpretar o comportamento da estrutura ao longo do tempo, destacando suas potencialidades e limitações, e fornecendo subsídios técnicos para estudos futuros de monitoramento, manejo e modelagem da Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

7. REFERÊNCIAS

- ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992. 94 p. (OFI Occasional Papers, n. 25).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARCE, J. E. et al. **Uso de matrizes de transição na modelagem do crescimento de florestas naturais**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 233–243, 2001.
- AUSTREGÉSILO, S. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Modelos de distribuição diamétrica em florestas naturais**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 193–206, 2004.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1994. 408 p.
- AZEVEDO, H. C.; SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. **Sobre o uso de matrizes de transição em florestas nativas**. In: SANQUETTA, C. R. (org.). **Manejo de Florestas Nativas**. Curitiba: FUPEF, 1996. p. 165–184.
- BERNARDO, A. L. **Modelagem de crescimento e produção de florestas nativas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 112 p.
- BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; FIGUEIREDO, D. J. **Álgebra linear**. São Paulo: Harbra, 1978.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. **Conservação e restauração de ecossistemas no Brasil: avanços e desafios**. *Perspectiva Agroecológica*, São Paulo, v. 14, p. 33–49, 2022.
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 11 ago. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 7 jun. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006**. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 mar. 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm. Acesso em: 11 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 8 maio 2025.

BRENA, D. A. **Inventário florestal contínuo em florestas tropicais: fundamentos e aplicações.** Santa Maria: UFSM, 1979. 87 p.

BUDOWSKI, A. **Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional progresses.** *Turrialba*, San José, v. 15, p. 40–42, 1965.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. **A matrix model of uneven-aged forest management.** *Forest Science*, v. 26, n. 4, p. 609–625, 1980.

CANALEZ, C. B. et al. **Estrutura diamétrica de espécies florestais nativas.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 569–578, 2006.

CARNICEL, J. L. D. S. **Levantamento referencial para avaliação de risco de contaminação biológica por espécies frutíferas em sistemas agroflorestais.** Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 2015.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 1. Colombo: Embrapa-CNPQ, 2010. 644 p.

CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J.; ARAÚJO, A. C. B. et al. **Grupos florísticos em Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul.** *Revista Floresta*, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 475–488, 2013.

CHAGAS, E. C. **Dinâmica de regeneração natural em florestas tropicais.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 295–304, 2000.

COLPINI, C. et al. **Ingresso de espécies arbóreas em floresta estacional.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 223–231, 2010.

COSTA, M. R.; ALMEIDA, D. R. **Estrutura e dinâmica de florestas tropicais: implicações para o manejo e conservação.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 42, n. 2, p. e420207, 2018.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264 p.

CUNHA, T. A.; WATZLAWICK, L. F. **Floresta Ombrófila Mista: conservação e desafios atuais.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 923–937, 2020.

DENSLOW, J. S. **Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density effect.** *Ecological Applications*, Washington, v. 16, n. 1, p. 239–245, 2006.

EBLING, A. A. **Dinâmica e projeção diamétrica em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na Flona de São Francisco de Paula, RS.** 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

ENCINAS, J. I. et al. **Crescimento em área basal de florestas tropicais.** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 67, p. 45–53, 2005.

FERNANDEZ, R. M. **Modelos estocásticos em ciências florestais.** Madrid: Universidad de Madrid, 1975.

FERREIRA, R. L. et al. **Serviços ecossistêmicos em florestas nativas.** *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, São Paulo, v. 52, p. 65–81, 2019.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. **Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista.** *Floresta*, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763–776, 2010.

FINOL, H. **Dinâmica de classes diamétricas em florestas tropicais.** Turrialba, San José, v. 14, p. 36–47, 1964.

FINOL, H. **Estructura y dinámica de bosques naturales.** *Revista Forestal Venezolana*, Mérida, v. 9, n. 2, p. 77–100, 1969.

FRACKER, S. B.; BRISCHLE, H. A. **Measuring the local distribution of shrubs.** *Ecology*, Washington, v. 25, p. 283–303, 1944.

GOMES, L. J.; PEREIRA, C. F. **Espécies exóticas invasoras e impactos sobre a regeneração de florestas subtropicais.** *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, São Paulo, v. 55, p. 103–117, 2020.

GONZÁLEZ, J. G. A. et al. **Aplicación de la función Weibull para modelar distribuciones diamétricas en bosques tropicales.** *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 404, p. 1–12, 2017.

GUILHERMETTI, P. G. C.; VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; MOKOCHINSKI, F. M. **Aspectos da distribuição de *Ligustrum lucidum* (W. T. Aiton) em diferentes ecossistemas: revisão bibliográfica.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró, v. 8, p. 171–176, 2013.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis.** 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 298 p.

HIGMAN, S. et al. **Manual do manejo florestal sustentável.** 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

HIGUCHI, N. **Short-term growth of tropical rain forest trees.** *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 123–136, 1987.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Mensuração florestal.** New York: Wiley, 1982. 402 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de manejo de unidades de conservação.** Brasília: ICMBio, 2020.

JACCARD, P. **Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura.** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, Lausanne, v. 37, p. 547–579, 1901.

KOLMOGOROV, A. N. **Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione.** Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, v. 4, p. 83–91, 1933.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate.** In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Handbuch der Klimatologie.** Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p. 1–44.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação.** In: IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sul.* Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113–150.

LESLIE, P. H. **On the use of matrices in certain population mathematics.** Biometrika, London, v. 33, n. 3, p. 183–212, 1945.

LESLIE, P. H. **Some further notes on the use of matrices in population mathematics.** *Biometrika*, London, v. 35, n. 3–4, p. 213–245, 1948.

LIMA, A. M.; SOUZA, C. R. **Regeneração e dinâmica estrutural em Floresta Ombrófila Mista Aluvial.** Revista Floresta, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 481–492, 2017.

LIMA, R. A.; SOUZA, S. G. A.; MARTINS, F. R. **Estrutura e regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil.** Floresta, Curitiba, v. 51, n. 1, p. 33–47, 2021.

LISBOA, Gerson dos Santos. **Dinâmica, competição e distribuição espacial em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista.** 2014. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

LONGHI, R. A. **Fitossociologia da Floresta Ombrófila Mista.** Curitiba: UFPR, 1980.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2009. 384 p.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 544 p.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. **Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais na região sul do Brasil**. *Floresta*, Curitiba, v. 26, n. 1/2, p. 59–70, dez. 1998.

MACHADO, S. A. et al. **Prognose de crescimento com matrizes de transição**. *Floresta*, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 223–234, 2017.

MACHADO, S. A. et al. **Modelagem de crescimento e produção em florestas naturais**. *Cerne*, Lavras, v. 27, e102694, 2021.

MARGALEF, R. **Information theory in ecology**. General Systems, Washington, v. 3, p. 36–71, 1958.

MARTINS, F. R. **Estrutura diamétrica em florestas tropicais**. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 1, p. 67–78, 1991.

MARTINS, F. R. **Distribuição diamétrica em ecossistemas florestais**. *Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 789–800, 2009.

MARTINS, F. R. et al. **Padrões estruturais em florestas neotropicais**. *Biodiversity and Conservation*, v. 30, n. 8, p. 2135–2152, 2021.

MATA NATIVA. **Mata Nativa**. Disponível em: <https://matanativa.com.br/>. Acesso em: 5 maio 2025.

McGUINNES, W. G. **The relationship between frequency index and abundance as applied to plant populations in a semi-arid region**. *Ecology*, Washington, v. 16, p. 263–282, 1934.

MENDONÇA, A. H. **Influência da abertura de clareiras na regeneração natural em florestas tropicais**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 205–214, 2003.

MEYER, H. A. **Diameter distribution series in even-aged stands**. *Yale University School of Forestry Bulletin*, New Haven, n. 28, p. 1–104, 1930.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Relatório sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília: MMA, 2018.

MIOT, H. A. **Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais**. *Jornal Vascular Brasileiro*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 88–91, 2017.

MONTEIRO, F. G. **Dinâmica e projeções da distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista na região Centro-Sul do Paraná.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, 2019.

MOURA, C. R.; SANTOS, J. B. **Serviços ambientais da Floresta Ombrófila Mista.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, Brasília, v. 23, n. 1, p. 77–91, 2017.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. **Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 105–119, 2001.

ODUM, E. P. **Fundamentals of ecology.** 3. ed. Philadelphia: W. B. Saunders, 1971. 546 p.

OLIVEIRA, R. R. et al. **Estrutura florística da Floresta Ombrófila Mista.** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 27, n. 1, p. 1–13, 2020.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. **Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in southeastern Brazil and the influence of climate.** *Biotropica*, Washington, v. 32, n. 4b, p. 793–810, 2000.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. **Estrutura diamétrica em florestas nativas.** Forest Science, Washington, v. 59, n. 2, p. 203–214, 2013.

ORELLANA, E. et al. **Distribuições diamétricas aplicadas em florestas tropicais.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 290, p. 45–52, 2009.

ORELLANA, E. et al. **Modelagem de distribuições diamétricas.** Ecological Modelling, Amsterdam, v. 276, p. 67–74, 2014.

PAYANDEH, B. **Comparison of methods for assessing spatial distribution of trees.** Forest Science, Washington, v. 16, n. 3, p. 312–317, 1970.

PEDROSO, B. C. **Comportamento dinâmico entre espécies nativas e *Ligustrum lucidum* (W. T. Aiton) em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2019.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal.** Curitiba: Editado pelos autores, 1997. 316 p.

PERAMAN, R. et al. **Stand structure in tropical forests.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 256, p. 1874–1887, 2008.

PIELOU, E. C. **The measurement of diversity in different types of biological collections.** Journal of Theoretical Biology, v. 13, p. 131–144, 1966.

PRODAN, M. et al. **Forest biometrics**. Freiburg: Springer-Verlag, 1997.

PULZ, O. **Mortalidade em florestas tropicais: processos regulares e irregulares**. Floresta, Curitiba, v. 28, n. 2, p. 211–223, 1998.

PULZ, O.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. S. **Avaliação de métodos de prognose florestal**. Revista Árvore, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 9–21, 1999.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 2 maio 2025.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense: introdução, fisionomia, fitogeografia e conservação da vegetação catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979. 320 p.

RIBEIRO, M. C. et al. **The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed?** Biological Conservation, Amsterdam, v. 142, p. 1141–1153, 2009.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. **As unidades fitogeográficas do estado do Paraná**. Ciência & Ambiente, Santa Maria, n. 24, p. 75–92, jan./jun. 2002.

SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal sustentável: princípios, critérios e indicadores**. Brasília: EMBRAPA, 2006. 228 p.

SANQUETTA, C. R. et al. **Dinâmica e estrutura de florestas inequiâneas**. Cerne, Lavras, v. 20, n. 4, p. 529–540, 2014.

SANQUETTA, C. R. et al. **Advances in forest growth and yield modelling**. Forests, Basel, v. 11, n. 3, e287, 2020.

SAWCZUK, A. R. **Florística e estrutura horizontal no período 2002–2008 de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Estado do Paraná – Irati, PR**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2009.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Estrutura e dinâmica de florestas naturais**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 11–28, 2000.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1994.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **Modelos de prognose para florestas nativas**. Cerne, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1–18, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **Cadeias de Markov aplicadas a florestas nativas**. Revista Árvore, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 69–80, 1998.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 117 p.

SILVA, J. A. **Manejo florestal sustentável: princípios e práticas para conservação dos ecossistemas**. Curitiba: UFPR, 2015. 248 p.

SIMPSON, E. H. **Measurement of diversity**. Nature, London, v. 163, p. 688, 1949.

SMIRNOV, N. **Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions**. Annals of Mathematical Statistics, v. 19, p. 279–281, 1948.

SORENSEN, T. **A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species**. Biologiske Skrifter, Copenhagen, v. 5, n. 4, p. 1–34, 1948.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. **Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR)**. Floresta, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 245–252, 2008.

SOUZA, C. R. **Dinâmica estrutural e projeção da distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos climáticos de Guarapuava – PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 2003. 106 p.

TROPICOS. **Tropicos [recurso eletrônico]**. Disponível em: <http://www.tropicos.org/>. Acesso em: 17 maio 2024.

USHER, M. B. **A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests**. Journal of Applied Ecology, London, v. 3, n. 2, p. 355–367, 1966.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VANTROBA, E. **Dinâmica estrutural de Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. Revista Floresta, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 21–35, 2018.

VIBRANS, A. C.; MCROBERTS, R. E.; LINGNER, D. V.; NICOLETTI, A. L. **Extensão e representatividade do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC)**. Floresta, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 9–22, 2012.

WARD, J. H. Jr. **Hierarchical grouping to optimize an objective function**. Journal of the American Statistical Association, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.

WEBB, C. O. et al. **Phylogenetic community structure in tropical forests**. Ecology, Washington, v. 92, n. 12, p. 2240–2250, 2011.

WEIBULL, W. **A statistical distribution function of wide applicability**. Journal of Applied Mechanics (ASME), v. 18, p. 293–297, 1951.