

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**Produtividade e comportamento de *Ilex paraguariensis*
A.St.-Hil. (Erva-mate) sob dois regimes de manejo em
Floresta Ombrófila Mista**

TESE DE DOUTORADO

FRANCISCO ALBERTO PUTINI

GUARAPUAVA - PR

2019

FRANCISCO ALBERTO PUTINI

Produtividade e comportamento de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Erva-mate) sob dois regimes de manejo em Floresta Ombrófila Mista

Tese apresentado à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador:

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

GUARAPUAVA - PR

2019

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Santa Cruz

Putini, Francisco Alberto

P988p Produtividade e comportamento de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (Erva-mate) sob dois regimes de manejo em Floresta Ombrófila Mista / Francisco Alberto Putini. – – Guarapuava, 2019.

xiii, 74 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2019.

Orientador: Luciano Farinha Watzlawick

Banca examinadora: Luciano Farinha Watzlawick, Sidnei Osmar Jadoski, Vagner Alex Pesck, Vanderlei Aparecido de Lima, Eleandro José Brun

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Estrutura populacional. 4. Fenologia. 5. Sistema silvipastoril. 6. Sucessão secundária. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

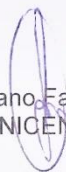
CDD 630

Francisco Alberto Putini

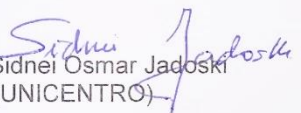
**PRODUTIVIDADE E COMPORTAMENTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL.
(ERVA MATE) SOB DOIS REGIMES DE MANEJO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2019.



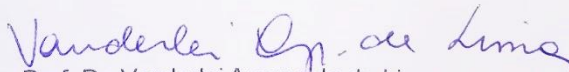
Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Vagner Alex Pesck
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Vanderlei Aparecido de Lima
(UTFPR)



Prof. Dr. Eleandro José Brun
(UTFPR)

GUARAPUAVA-PR
2019

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pela oportunidade, pela orientação e principalmente pelos incentivos e paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unicentro, pela oportunidade.

A CAPES pela concessão da bolsa, sem a qual este trabalho não teria sido realizado.

A senhora Agnes, por abrir as portas de sua propriedade para a pesquisa.

A Guayaki e Alex Pryor pela disponibilização das informações de colheita.

Aos professores que contribuíram com partes do quebra-cabeças que este trabalho se propôs montar.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ciências Florestais e Forrageiras que contribuíram no campo, nas análises e discussões, especialmente a Edson Gardin, Luiz Carlos Zerbielli, Marcos Leandro Garcia, Mariane Dal Comune, Michael Rogers Bernert, Richieli Rodrigues Silva e Suzamara Biz.

A todos que colaboraram na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivos Específicos	2
3. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.....	3
4. MATERIAL E MÉTODOS	6
4.1. Local do experimento.....	6
5. CAPÍTULO 1: ESTRUTURA E DINÂMICA DE UMA POPULAÇÃO DE <i>Ilex Paraguariensis</i> A.St.-Hil. SOB DOIS REGIMES DE MANEJO.....	8
5.1. Resumo.....	8
5.2. Abstract	9
5.3. Introdução.....	10
5.4. Material e Métodos.....	12
5.5. Resultados e Discussão	14
5.6. Referências Bibliográficas	29
6. CAPÍTULO 2: FENOLOGIA DE UMA POPULAÇÃO DE <i>Ilex Paraguariensis</i> A. St. Hill. SOB DOIS REGIMES DE MANEJO	34
6.1. Resumo.....	34
6.2. Abstract	35
6.3. Introdução.....	36

6.4.	Material e Métodos.....	38
6.5.	Resultados e Discussão	40
6.6.	Referências Bibliográficas	48
7.	CAPÍTULO 3: INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS NA PRODUTIVIDADE DE <i>Ilex Paraguariensis</i> A. St. Hill.	50
7.1.	Resumo.....	50
7.2.	Abstract	51
7.3.	Introdução.....	52
7.4.	Material e Métodos.....	53
7.5.	Resultados e Discussão	55
7.6.	Referências Bibliográficas	63
8.	CONCLUSÕES.....	66
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
10.	ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Região de ocorrência natural da erva-mate. Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA e ROTTA, 1985).....	4
Figura 2. Folhas de <i>Ilex paraguariensis</i>	5
Figura 3. 1 - Flor masculina. 2 - Mesmo na seção longitudinal. 3 - Flores femininas. 4 – O mesmo na seção longitudinal. 5 - Fruto. 6 - O mesmo na seção longitudinal. 7 - O mesmo em seção transversal. A – Ramo com flores masculinas. B – Ramo com flores femininas. C – Ramo com frutos. (Imagem: Franz Eugen Köhler).....	5
Figura 4. Croqui de localização da área de estudos no Município de Turvo-PR.	7
Figura 5. Número de indivíduos de <i>I. paraguariensis</i> nas unidades amostrais, por ano de mensuração e regime de manejo (SP = silvipastoril, MS = sucessão secundária).	18
Figura 6. Distribuição diamétrica da sinusia arbórea nos dois anos de mensuração e nos dois regimes de manejo.	20
Figura 7. Distribuição diamétrica da sinusia arbórea para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração.	20
Figura 8. Distribuição diamétrica da população de <i>I. paraguariensis</i> , nos dois anos de mensuração e regimes de manejo avaliados. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a sinusia arbórea.	21
Figura 9. Distribuição diamétrica da população de <i>I. paraguariensis</i> , nos dois anos de mensuração e regimes de manejo avaliados. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a população da espécie.	22
Figura 10. Distribuição diamétrica da população de <i>Ilex paraguariensis</i> , para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a sinusia arbórea.....	23
Figura 11. Distribuição diamétrica da população de <i>Ilex paraguariensis</i> , para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a população da espécie.	24

Figura 12. Distribuição espacial dos indivíduos nas áreas sob sistema silvipastoril e na floresta em sucessão secundária. Os triângulos representam os indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> e os círculos os indivíduos das espécies heliófilas e umbrófilas. (A) <i>Ilex paraguariensis</i> , (B) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies heliófilas e (C) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies umbrófilas no sistema silvipastoril; (D) <i>Ilex paraguariensis</i> , (E) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies heliófilas e (F) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies umbrófilas na floresta em sucessão secundária.....	25
Figura 13. Padrão espacial da função univariada dos indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> . (A) área silvipastoril e (B) floresta em sucessão secundária, no município de Turvo, PR. Os envelopes de confiança estão identificados pelas linhas pontilhadas e o valor de K pela linha contínua.	26
Figura 14. Padrão espacial da função bivariada para a associação entre os indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> e os indivíduos das espécies heliófilas e umbrófilas. (A) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies heliófilas, (B) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies umbrófilas no sistema silvipastoril; (C) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies heliófilas, (D) <i>Ilex paraguariensis</i> x espécies umbrófilas na área de floresta em sucessão secundária, no município de Turvo, PR. Os envelopes de confiança estão identificados pelas linhas pontilhadas e o valor de K pela linha contínua.	27
Figura 15. Croqui de localização dos indivíduos selecionados para o estudo fenológico.....	38
Figura 16. Padrão fenológico de enfolhamento de <i>Ilex paraguariensis</i> nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.	41
Figura 17. Padrão fenológico de desfolhamento de <i>Ilex paraguariensis</i> nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.	41
Figura 18. Valores médios mensais das variáveis climáticas de temperatura média (°C) e precipitação (mm) correspondente ao período do estudo (2013 a 2014). Dados obtidos na estação meteorológica da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus CEDETEG.	42
Figura 19. Padrão fenológico de botões florais de <i>Ilex paraguariensis</i> nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.	43
Figura 20. Padrão fenológico da floração de <i>Ilex paraguariensis</i> nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.	44

Figura 21. Padrão fenológico de frutificação de <i>Ilex paraguariensis</i> nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) frutos imaturos e (B) frutos maduros.	45
Figura 22: Croqui de localização das unidades amostrais com levantamento de solos e dossel, utilizadas para correlação destas variáveis com a produtividade.	53
Figura 23: Matriz de correlação de Spearman para variáveis ambientais. Valores mensurados para cada unidade amostral. (pH A = pH no horizonte A; pH B = pH no horizonte B; IAF = índice de área foliar; PAR = radiação fotossinteticamente ativa; Ca = cálcio; Peso = peso de biomassa área colhida; IBA = incremento em área basal; Mg = magnésio; V% = saturação de bases; K = potássio; CTC = capacidade de troca catiônica; SB = soma de bases; P = fósforo; Mo = matéria orgânica; M% = saturação de alumínio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial).	56
Figura 24. Variâncias associadas às componentes principais.	57
Figura 25: Contribuição percentual das variáveis na primeira componente. A linha vermelha corresponde a 70% da contribuição percentual acumulada.	58
Figura 26: Contribuição percentual das variáveis na segunda componente. A linha vermelha corresponde a 70% da contribuição percentual acumulada.	58
Figura 27: Contribuição percentual das variáveis na terceira componente. A linha vermelha corresponde a 70% da variância acumulada.	59
Figura 29. Contribuição das variáveis nas componentes principais 1 e 3. Em verde estão destacadas as unidades amostrais com maior peso foliar e em vermelho aquelas com menor peso.	60
Figura 30. Contribuição das variáveis nas componentes principais 2 e 3. Em verde estão destacadas as unidades amostrais com maior peso foliar e em vermelho aquelas com menor peso.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de espécies heliófilas e umbrófilas amostradas nas áreas sob manejo Silvopastoril (SP) e Floresta em Sucessão Secundária (SS) de Floresta Ombrófila Mista Alto Montana, no município de Turvo-PR.	14
Tabela 2. Resultados dos estimadores fitossociológicos para <i>I. paraguariensis</i> , para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração (N = número de indivíduos amostrados; DA = densidade absoluta, em número de indivíduos por hectare; DR = densidade relativa, em %; DoA = dominância absoluta, em m ² por hectare; DoR = dominância relativa, em %; FA = frequência absoluta, em % de unidades amostrais em que a espécie ocorre; FR = frequência relativa, em % relativo a frequência de todas as espécies encontradas; VI = valor de importância, em %). ...	17
Tabela 3. Valores das correlações de Spearman (r_s) entre as fenofases vegetativas de <i>Ilex paraguariensis</i> e as variáveis climatológicas para os anos de 2013 e 2014 na sucessão secundária.	46
Tabela 4. Matriz de correlação entre as fases fenológicas e variáveis climáticas para os anos de 2013 e 2014, para o sistema silvipastoril.	46
Tabela 5. Produtividade de biomassa comercial e incremento em área basal obtidas no sistema silvipastoril, por unidade amostral (N = número de plantas; IBA = incremento em área basal).	55
Tabela 6. Resultados obtidos na análise de componentes principais.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultados da análise química de solos, por unidade amostral.....	73
Quadro 2: Resultados obtidos do imageador para a cobertura do dossel e luminosidade incidente.....	74

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CAP	Circunferência à altura do peito
DA	Densidade absoluta.
DAP	Diâmetro a altura do peito, 1,3m de altura do solo.
DoA	Dominância absoluta.
DoR	Dominância relativa.
DA	Densidade absoluta
DR	Densidade relativa.
FA	Frequência absoluta.
FR	Frequência relativa.
G	Área basal
GPS	Global Position System (Sistema de posicionamento global)
IAF	Índice de Área Foliar
IPg	Incremento periódico em área basal
SS	Floresta em sucessão secundária
N	Número de indivíduos amostrados.
PAR	Photosynthetic Active Radiation (Radiação fotossinteticamente ativa)
SNMM	Sobre o nível médio dos mares.
SP	Sistema silvipastoril.
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
VI	Valor de importância fitossociológica.

RESUMO

Francisco Alberto Putini. Produtividade e comportamento de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Erva-mate) sob dois regimes de manejo em Floresta Ombrófila Mista

O presente estudo foi desenvolvido no Município de Turvo, PR, onde o extrativismo de erva-mate é uma atividade tradicional. Duas áreas vizinhas de 1,8 e 1,64 hectares foram divididas em unidades amostrais de 400m². As áreas encontram-se em manejo silvipastoril e floresta em sucessão secundária, respectivamente. Nas unidades amostrais foram identificadas e realizada a medição do CAP de todas as árvores com CAP igual ou superior a 5cm. Esta medição foi realizada nos anos de 2012 e 2015. Também foi anotada a localização dos 3702 indivíduos medidos, em relação ao vértice sudoeste de cada uma das áreas. Foi avaliada a distribuição espacial dos indivíduos de *Ilex paraguariensis*, a estrutura diamétrica e a densidade, com diferenças significativas entre as duas áreas na estrutura diamétrica e densidade. Na sucessão secundária a espécie ocupa o sexto lugar na posição sociológica, enquanto que no sistema silvipastoril encontra-se na primeira posição. Na fenologia foram avaliados o brotamento e queda de folhas, floração, frutificação e ausência de fase fenológica. Frutificação e queda de folhas nas fêmeas não apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas. Todas as demais fases apresentaram maior intensidade e maior período de ocorrência no sistema silvipastoril. Nas duas áreas a queda de folhas apresentou correlação apenas com a temperatura mínima. Na avaliação das variáveis abióticas que influenciam a produtividade, apenas o sistema silvipastoril foi avaliado em função de não ter ocorrido colheita na sucessão secundária no período de estudado. 23 unidades amostrais foram avaliadas quanto a caracterização química do solo e incidência de luminosidade. Foi realizada análise de componentes principais para avaliar quais variáveis estão relacionadas ao peso de folhas na colheita e ao incremento em área basal (IBA). O peso apresentou correlação negativa com o percentual de alumínio no solo (M%) e correlação positiva com o pH, teor de cálcio e radiação fotossinteticamente ativa. O manejo silvipastoril realizado na área de estudos incrementa a produção e favorece o desenvolvimento de *I. paraguariensis*, em detrimento das demais espécies nativas.

Palavras-Chave: Estrutura populacional, fenologia, sistema silvipastoril, sucessão secundária.

ABSTRACT

Francisco Alberto Putini. Productivity and behavior of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Erva-Mate) under two management regimes in mixed ombrophilous forest

The present study was developed in the Municipality of Turvo, PR, where the extractivism of yerba mate is a traditional activity. Two neighboring areas of 1.8 and 1.64 hectares were divided into 400m² sample units. The areas are in silvopastoral and forest management in secondary succession, respectively. In the sample units were identified and the CAP was measured for all trees with CAP equal to or greater than 5cm. This measurement was carried out in the years of 2012 and 2015. The location of the 3702 individuals measured in relation to the southwest vertex of each of the areas was also noted. The spatial distribution of *Ilex paraguariensis* individuals, the diametric structure and the density were evaluated, with significant differences between the two areas in the diametric structure and density. In secondary succession the species occupies the sixth place in the sociological position, whereas in the silvopastoral system it is in the first position. Phenology was evaluated leaf sprouting and fall, flowering, fruiting and absence of phenological phase. Fruiting and leaf fall in females did not show significant differences between the two areas. All other phases presented higher intensity and longer period of occurrence in the silvopastoral system. In both areas the leaf fall showed correlation only with the minimum temperature. In the evaluation of the abiotic variables that influence productivity, only the silvopastoral system was evaluated because there was no harvest in the secondary succession in the studied period. 23 sample units were evaluated for chemical characterization of soil and incidence of light. Principal component analysis was performed to evaluate which variables are related to leaf weight at harvest and to increment in basal area (IBA). The weight had a negative correlation with the percentage of aluminum in the soil (M%) and positive correlation with pH, calcium content and photosynthetic active radiation. The silvopastoral management carried out in the study area increases the production and favors the development of *I. paraguariensis*, to the detriment of the other native species.

Keywords: Population structure, phenology, silpastoral system, secondary succession.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, a cultura da erva-mate sofreu um forte declínio na produção provocado, principalmente, pelo baixo valor pago ao produtor que, em muitos casos, optou pela mudança para outra cultura com maior retorno econômico. Entretanto, a partir de 2011, o valor pago ao produtor teve um reajuste da ordem de 400%, provocando euforia nos produtores e consequentemente inflacionando os valores de mudas e sementes.

Na região centro-sul do Paraná a produção está concentrada na exploração de ervais nativos, onde o manejo é feito de forma empírica. Existem poucos trabalhos científicos sobre a produtividade de biomassa da erva-mate, e todas as referências encontradas na literatura, para este trabalho, são em ervais plantados.

O aumento no preço pago ao produtor tem incentivado também a procura por mudas, que na grande maioria dos casos são produzidas sem critérios de seleção de matrizes. O desconhecimento da produtividade de sementes e dos fatores que a afetam dificulta o planejamento da produção e influenciam diretamente na qualidade do produto final.

Esta pesquisa pretende contribuir para o conhecimento da produção de biomassa comercial de erva-mate em ervais nativos, bem como dos fatores ambientais que afetam a produtividade e auxiliar na elaboração de técnicas e metodologias de manejo para a espécie.

O trabalho está estruturado em três capítulos. No capítulo 1 são tratados os temas relacionados a estrutura da população quanto a sinusia arbórea e aborda as questões fitossociológicas, estrutura diamétrica e distribuição espacial. No capítulo 2 investiga-se o comportamento fenológico de *I. paraguariensis*. No capítulo 3 algumas variáveis ambientais são correlacionadas com a produtividade da espécie.

2. OBJETIVOS

Conhecer a influência do ambiente e do extrativismo sobre a estrutura, o comportamento fenológico e a produtividade de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Erva-mate) em duas áreas com diferentes regimes de manejo, em Turvo-PR.

2.1. Objetivos Específicos

- Comparar a estrutura da população de *I. paraguariensis* e suas diferenças nas duas áreas de estudo;
- Conhecer o comportamento fenológico da população de *I. paraguariensis* nas duas áreas de estudo;
- Avaliar a influência do manejo para exploração na estrutura populacional e no comportamento fenológico da espécie;
- Determinar a importância das variáveis abióticas sobre a produtividade da espécie.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

A erva-mate é conhecida também como congonha ou simplesmente mate. É uma planta perenifólia que ocorre naturalmente nos três estados do sul do Brasil, São Paulo e Mato Grosso do Sul, além de Argentina e Paraguai. É característica da floresta com araucárias, onde chega a formar capões homogêneos. Atinge até 15 m de altura e 40 cm de DAP. As folhas são coriáceas (Figura 2), com 8 a 10 cm de comprimento e 3 a 4 cm de largura. Dióica, com flores geralmente tetrâmeras, de até 7 mm de diâmetro (Figura 3). Os frutos são bagas esféricas, com 4 sementes, de tonalidade vermelha a negra, com até 5,5 mm de diâmetro. Floresce nos meses de outubro a dezembro e os frutos amadurecem de janeiro a março. As folhas são utilizadas para o preparo do chimarrão e do chá mate, muito consumido no país e exportado para todo o mundo. É muito cultivada no sul do país, porém a maior parte da produção ainda resulta da exploração de ervais nativos (LORENZI, 2002; BACKES e IRGANG, 2002).

O cultivo da erva-mate gera mais de 710 mil empregos diretos e abrange cerca de 180 mil propriedades localizadas no sul do Brasil e no Mato Grosso do Sul, em sua maioria pequenas e médias propriedades rurais. Movimenta mais de R\$ 175 milhões anuais, conferindo à espécie uma importância social expressiva (EMBRAPA, 2018).

Ocorre em climas temperado e subtropical (Cfb e Cfa, segundo Koeppen), com chuvas regulares e distribuídas ao longo do ano, com médias de 1500 a 2000 mm. As temperaturas médias anuais variam de 15 a 18°C, com geadas frequentes ou pouco frequentes, dependendo da altitude, que varia de 500 a 1500 m sobre o nível do mar (IBGE, 2017). Os solos são de boa profundidade, boa permeabilidade e fertilidade natural média a alta. Solos com menos de um metro de profundidade causam queda na produtividade e reduzem a vida útil das plantas. Não tolera solos encharcados e/ou compactados (EMBRAPA, 2013).

É encontrada no sul dos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, no norte do Rio Grande do Sul e boa parte dos estados do Paraná e Santa Catarina. Além do Brasil ocorre também no Paraguai e norte da Argentina (Figura 1).

Observações empíricas em campo indicam que erva-mate possui um crescimento em períodos alternados ao longo do ano, e permanece estagnado no inverno (SANSBERRO et al., 2002). Rakocevit et al (2003) descreveram a fotomorfogênese de plântulas de erva-mate, evidenciando que estas tendem a evitar a sombra.

Rakocevic et al (2006) concluíram ainda que a erva-mate apresenta ondas anuais de crescimento na primavera e outono. Os períodos de estação do crescimento no verão e no inverno estão relacionados respectivamente, ao fotoperíodo e às temperaturas mínimas.

Além do chimarrão, do tererê e chás, a erva-mate é utilizada na fabricação de diversos produtos nas indústrias medicinais, cosmética e de alimentos (DE PAULA e CHOCIAI, 2000; AZZOLINI e MACCARI JUNIOR, 2000; MACCARI JUNIOR e SANTOS, 2000). A indústria tem buscado o desenvolvimento de novos produtos fabricados a partir da erva-mate, para atender a expansão do mercado. Alguns exemplos são corantes naturais, conservantes, bombons, sorvetes e chicletes (BUENO E CARDOSO, 2015).

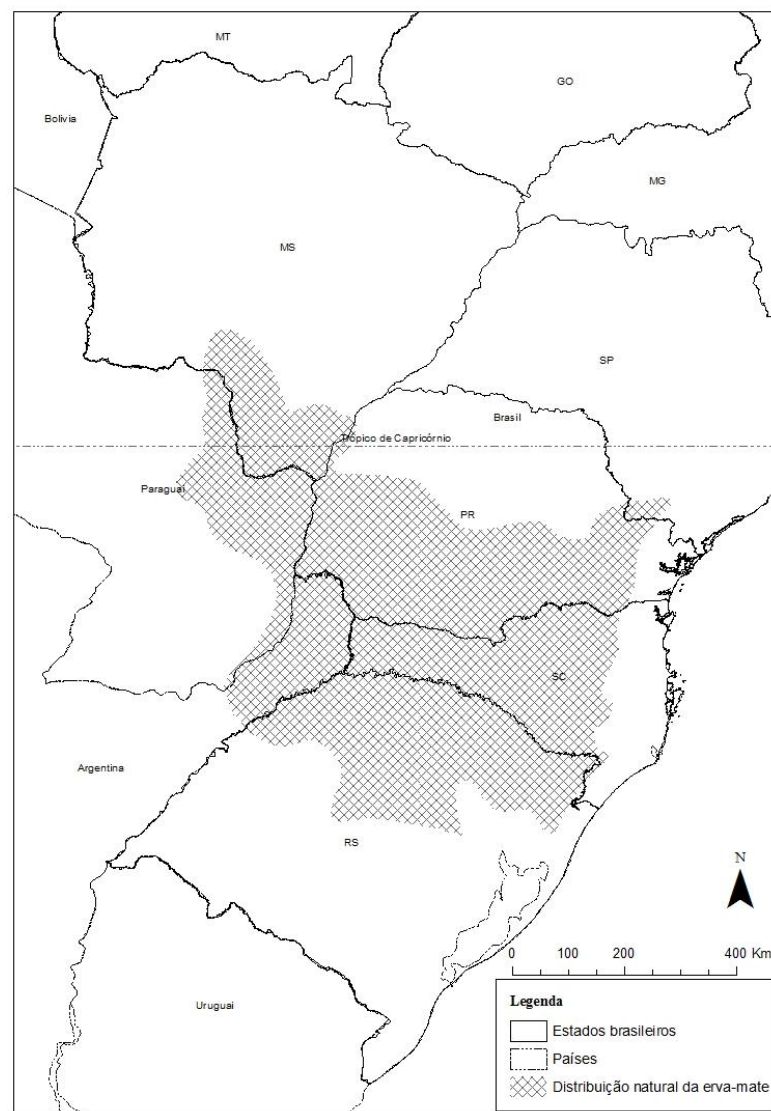


Figura 1. Região de ocorrência natural da erva-mate. Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA e ROTTA, 1985).



Figura 2. Folhas de *Ilex paraguariensis*.



Figura 3. 1 - Flor masculina. 2 - Mesmo na seção longitudinal. 3 - Flores femininas. 4 - O mesmo na seção longitudinal. 5 - Fruto. 6 - O mesmo na seção longitudinal. 7 - O mesmo em seção transversal. A - Ramo com flores masculinas. B - Ramo com flores femininas. C - Ramo com frutos. (Imagem: Franz Eugen Köhler).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do experimento

A área para a realização do presente estudo localiza-se no Sítio *Edelweiss*, entre as coordenadas geográficas 25° 03' 25'' e 25° 03' 37'' Latitude Sul, 51° 31' 25'' e 51° 32' 10'' Longitude Oeste, no município de Turvo – PR (Figura 4). Possui altitude média de 1056 m ao S.N.M.M.

O clima da região, conforme classificação de Köppen é caracterizado como clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com os verões amenos e os invernos com a ocorrência de severas geadas, não possuindo estações secas. As médias das temperaturas dos meses mais quentes não são superiores a 22°C e a dos meses mais frios estão entre -3°C e 18°C (PARANÁ, 1987; IAPAR, 1994; ALVARES et al., 2013). As precipitações são bem distribuídas e a precipitação média anual entre 1600 e 1800 mm. Estações de verão e inverno são bem definidas.

O solo da área de estudo classifica-se como Latossolo Bruno Distrófico. O relevo apresenta-se desde plano, ondulado e montanhoso, sendo o último de maior predominância (EMBRAPA, 2013).

A vegetação natural conforme classificação do IBGE (+2012), refere-se à Floresta Ombrófila Mista de formação Alto Montana (FOMAM), tendo esta classificação relação estrita com a altitude. A floresta com Araucária cobria originalmente cerca de 200.000 km² em todo o Brasil, ocorrendo no Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul do estado de São Paulo (3%), adentrando até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

A propriedade possui 26,4 hectares de área e seu histórico de uso do solo deriva de sistema de faxinal desativado a mais de 30 anos, onde foram explorados produtos madeiráveis e não madeiráveis, além de pastoreio de suínos, equinos, caprinos e bovinos. A área teve seu dossel raleado, visando à entrada de luz e o favorecimento de espécies madeireiras e erveiras nativas e adensadas.

A área de estudos possui 3,44 ha, dos quais 1,8 ha são manejados em sistema silvipastoril (gado e erva-mate) e 1,64 ha são destinados a preservação de floresta em sucessão secundária. Estão instaladas no local 86 unidades amostrais 400 m² cada (20 x 20m) onde foram realizados os estudos de florística, estrutura da vegetação e distribuição espacial como parte do

projeto “Vegetação e mecanismos de regeneração natural em dois fragmentos de Floresta Ombrófila Mista sob o sistema de faxinais, em diferentes estágios de sucessão” (dados não publicados). Projeto este realizado pelo Laboratório de Ciências Florestais e Forrageiras (LCFF) da UNICENTRO com apoio da Fundação Araucária.

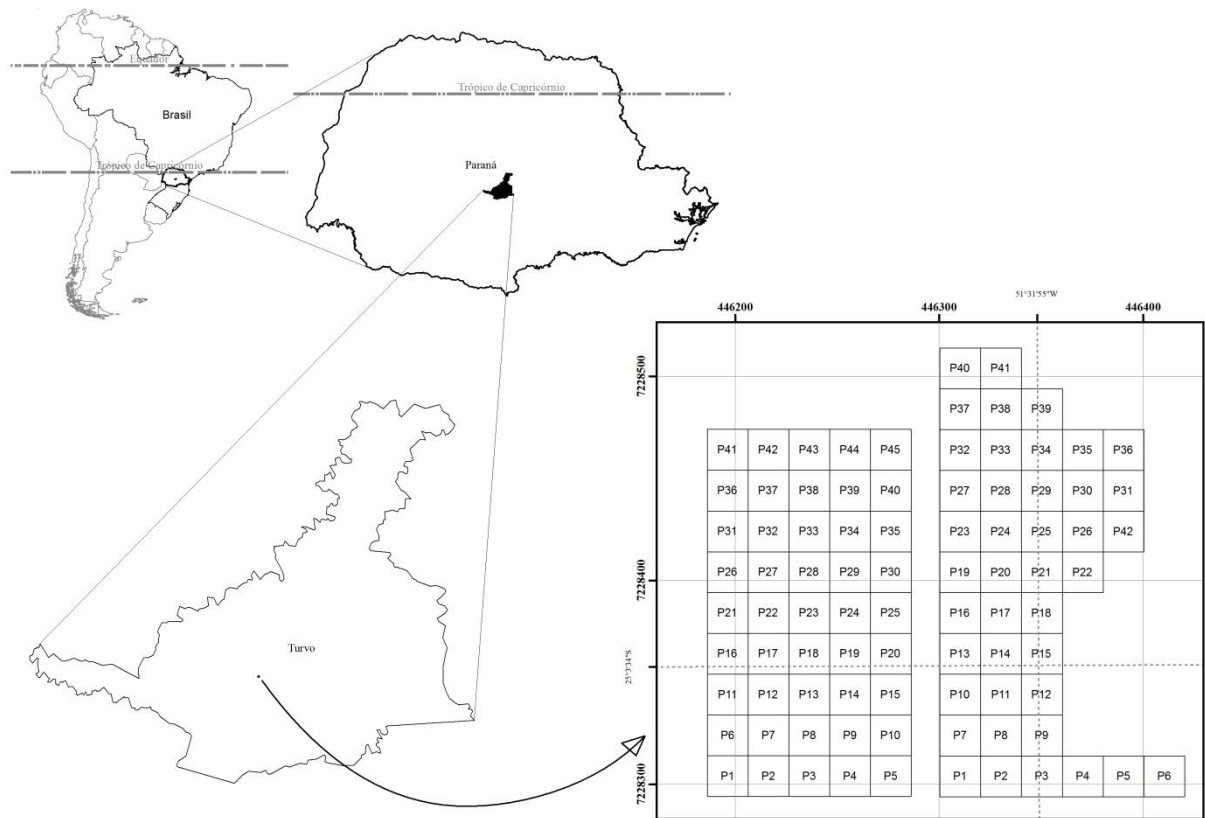


Figura 4. Croqui de localização da área de estudos no Município de Turvo-PR.

5. CAPÍTULO 1: ESTRUTURA E DINÂMICA DE UMA POPULAÇÃO DE *Ilex Paraguariensis* A.St.-Hil. SOB DOIS REGIMES DE MANEJO

5.1. Resumo

Francisco Alberto Putini. Estrutura e dinâmica de uma população de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. sob dois regimes de manejo.

Duas áreas vizinhas sob regimes de manejo diferentes foram comparadas quanto aos parâmetros fitossociológicos, estrutura diamétrica, densidade e distribuição espacial. A área 1 é destinada a conservação e apresenta uma floresta em processo de sucessão secundária. A área 2 é manejada em sistema silvipastoril com colheita da erva-mate a cada 18 meses. As avaliações ocorreram nos anos de 2012 e 2015. Os resultados demonstram que o manejo silvipastoril favorece a população de *Ilex paraguariensis* principalmente quanto a densidade de indivíduos (N=233 na sucessão secundária e 439 no sistema silvipastoril) e não possui efeito sobre a distribuição espacial da espécie que demonstra padrão aleatório nas duas áreas. Entretanto, o manejo altera a estrutura diamétrica e dificulta a regeneração de toda a sinusia arbórea, incluindo *I. paraguariensis*.

Palavras chave: fitossociologia, densidade, estrutura diamétrica, distribuição espacial.

5.2. Abstract

Francisco Alberto Putini. Structure and dynamics of a population of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. under two management regimes in Turvo-PR.

Two neighboring areas under different management regimes were compared for phytosociological parameters, diameter structure, density and spatial distribution. Area 1 is intended for conservation and presents a forest in the process of secondary succession. Area 2 is managed in silvopastoral system with harvest of the yerba mate every 18 months. Evaluations occurred in the years of 2012 and 2015. The results show that silvipastoral management favors *Ilex paraguariensis* population mainly in the density of individuals (N = 233 in the secondary succession and 439 in the silvopastoral system) and has no effect on the spatial distribution of the species that shows a random pattern in both areas. However, management alters the diametric structure and hinders the regeneration of the entire tree sinusia, including *I. paraguariensis*.

Keywords: phytosociology, density, diametric structure, spatial distribution

5.3.Introdução

A exploração de *I. paraguariensis* tem sofrido forte pressão em ambientes naturais nos últimos anos, em função do aumento de valor pago ao produtor pela indústria de beneficiamento.

No Paraná, o maior estado produtor no Brasil, a exploração de populações naturais de erva-mate é mais comum do que o manejo de ervais plantados. Nestas áreas são utilizadas práticas de manejo empíricas que visam, na maioria dos casos, a obtenção de produção máxima no menor prazo possível. Desta forma, a condição fitossanitária e a produção em longo prazo são relegadas a segundo plano.

As florestas nativas caracterizam-se pela grande complexidade em sua composição, com um grande número de espécies com as mais diferentes características ecológicas tecnológicas e silviculturais, poucas são as informações de como as plantas se desenvolvem. Neste sentido, as florestas nativas são resultantes da interação de diversos fatores que coevoluem ao longo do espaço e tempo (AMARAL et al., 2012).

Na maioria dos habitats, a vegetação fornece a estrutura principal do ambiente. A complexidade da estrutura da vegetação está intimamente relacionada a biodiversidade e aos serviços dos ecossistemas. Portanto, as medidas da estrutura da vegetação podem servir como indicadores na gestão dos ecossistemas (RUTTEN et al., 2015).

Estudos em estrutura de populações normalmente abordam a situação genética, que se refere a frequência de alelos na população; distribuição etária que observa a frequência de indivíduos em estágios ou ciclos de vida; o número de indivíduos em classes de tamanho e a estrutura espacial, que trata da distribuição de indivíduos em um espaço físico. Estas estruturas são analisadas de acordo com os padrões de ingresso, mortalidade e migração na população (SILVERTOWN e CHARLESWORTH, 2005).

A análise da distribuição espacial tem sido utilizada por pesquisadores para entender o padrão de distribuição de populações vegetais e suas interações com o ambiente (FORTIN, 2002). O tamanho, a ocorrência e o espaçamento dos indivíduos podem ser utilizados para expressar o padrão de distribuição espacial da população (LIEBHOLD e GUREVITCH, 2002).

Os padrões de distribuição espacial das plantas diferem-se com base em diversos processos e dinâmicas como as competições intra e interespecíficas, como também de

perturbação ou heterogeneidade ambiental e dispersão de sementes (KANG et al., 2017). A ação destes agentes, conforme Townsend et al. (2010), pode apontar os três diferentes padrões de distribuição: agregado, aleatório e uniforme.

Diante disso, o primeiro passo no estudo da distribuição espacial de espécies de plantas é a descrição do padrão espacial, iniciando-se pela hipótese inicial do padrão espacialmente aleatório, contra duas hipóteses alternativas de padrão agregado e padrão uniforme (ARAÚJO et al., 2014). Partindo deste pressuposto, torna-se importante compreender o padrão espacial das espécies, principalmente em ecossistemas com diferentes níveis de conservação.

O manejo tradicional da erva-mate, frequentemente inclui a eliminação de árvores de outras espécies para incrementar a incidência de luz e conseqüentemente a produção de biomassa foliar da espécie. De acordo com Schneider (2008), quando as árvores crescem na sombra e posteriormente esta sombra é retirada, suas folhas não são adaptadas a maior intensidade luminosa, a pressão de ventos, chuvas, pragas, doenças, efeitos de déficit hídrico, além de outros fatores, podendo não se adaptarem à nova condição, ocorrendo, então, mortalidade, devido a essa rápida mudança de ambiente. O que provoca mudanças na estrutura da população e de toda a sinúsia arbórea.

Índices de dispersão também são utilizados para descrever o padrão de distribuição espacial de uma população (LUDWIG e REYNOLDS, 1988). Outra metodologia utiliza combinações de diferentes tamanhos/espaçamentos de parcelas, visando acompanhar mudanças na variância em torno do número médio de indivíduos por parcela. Existem duas abordagens, na primeira, denominada método de variância entre blocos de parcelas e aplicada pela primeira vez por Greig-Smith (1952), o tamanho da parcela é aumentado através do agrupamento de dados de parcelas contíguas. Na segunda, o de variância entre parcelas pareadas, baseia-se em comparações utilizando dados de distâncias diferentes entre parcelas.

A escassez dos recursos florestais tem induzido a necessidade de melhoria dos métodos de quantificação e avaliação dos produtos florestais madeireiros e não madeireiros. Projetos técnicos de manejo florestal são constituídos, basicamente, por variáveis dendrométricas. O conhecimento das variáveis florestais exige precisão nos métodos de medição e cálculo, que combinados com experiências práticas permitem a criação de novos aparelhos e metodologias (CUNHA, 2004) para maximizar a eficiência no processo

produtivo.

Métodos não destrutivos e de fácil obtenção são utilizadas para estimar, com certo grau de precisão, a produtividade de uma floresta. Essas estimativas podem ser produzidas por regressões de dados provenientes de inventário florestal (DAP e altura), por sensoriamento remoto e com o uso de um banco de dados georreferenciado (HIGUCHI e CARVALHO-JUNIOR, 1994).

Este trabalho tem o objetivo de entender se o regime de manejo altera a estrutura da população, a distribuição diamétrica e espacial da população de *I. paraguariensis*.

5.4. Material e Métodos

5.4.1. Delineamento Experimental

Dois remanescentes florestais vizinhos, com área de 3,44 hectares e regimes de manejo diferentes foram avaliados entre os anos de 2013 e 2015 com relação ao diâmetro e localização espacial dos indivíduos. A área 1 é uma floresta destinada a conservação tratada aqui como “sucessão secundária, possui 1,64 ha. A Área 2 é manejada como um sistema silvipastoril, no período de estudo a área foi utilizada por rebanhos bovinos e ovinos, bem como a exploração comercial de *Ilex paraguariensis*, com podas de colheita realizadas a cada 18 meses, apresenta 1,8 ha.

As duas áreas foram divididas em unidades amostrais quadradas de 400m² cada, excluindo-se as bordas. Nestas unidades todas as árvores com diâmetro igual ou superior a 5 cm receberam uma placa de metal com código numérico, foram medidas (DAP), identificadas e sua posição espacial foi determinada em uma grade com coordenadas x e y (em cm), referentes a distância da planta até as laterais da unidade amostral. A medição do diâmetro foi realizada em dois momentos para avaliação do incremento em área basal, nos anos de 2013 e 2015. Os vértices das unidades amostrais foram marcados em campo com estacas de madeira e sua localização espacial foi determinada pela distância e azimute em relação a um ponto de coordenada conhecida.

5.4.2. Fitossociologia

Os estimadores fitossociológicos, para caracterização da estrutura horizontal, foram calculados de acordo com Sanqueta et al (2014). Os valores calculados são expressos em

unidades absolutas, que é a unidade da variável por hectare, e unidades relativas, que é a relação entre o valor calculado para a espécie e o valor calculado para a comunidade. Estes valores são o número total de indivíduos amostrados, densidade que expressa em número de indivíduos por área, dominância que é a soma das áreas transversais de todos os indivíduos da mesma espécie por área, e frequência que é a ocorrência da espécie nas unidades amostrais.

5.4.3. Densidade e Estrutura Diamétrica

As densidades da comunidade e da população de *Ilex paraguariensis* foram determinadas pelo número total de árvores em cada unidade amostral. A estrutura diamétrica considera o diâmetro médio em cada unidade amostral, divididos em classes de diâmetro, para a comunidade e a população de *I. paraguariensis*. As estimativas para a comunidade incluem *I. paraguariensis*.

A amostragem abrangeu todos os indivíduos com $DAP \geq 5$ cm em duas áreas da propriedade rural, sendo uma área sob regime silvipastoril e outra uma floresta em processo de sucessão secundária. Todos os indivíduos foram identificados, conforme a APG IV (2016) e georreferenciados, para obtenção das coordenadas (x, y), com auxílio de fita métrica. A localização dos indivíduos foi realizada pela medição da distância da planta até os lados sul e oeste da unidade amostral, cujo vértice sudoeste teve a localização determinada com a obtenção do ângulo e distância deste até um ponto de coordenada conhecida.

5.4.4. Distribuição Espacial

Para análise da distribuição espacial foi aplicada a função K (RIPLEY, 1977), com objetivo de testar a hipótese de completa aleatoriedade espacial (CAE), na forma univariada, para avaliar a distribuição da *Ilex paraguariensis* nos dois sistemas de manejo e na forma bivariada, para observar a associação espacial entre a *Ilex paraguariensis* e as espécies heliófilas e umbrófilas. A função K registra todas as distâncias entre as árvores, por meio de um círculo de raio (s), considerando a árvore como o centro, contabilizando os vizinhos inseridos na área deste círculo.

A hipótese de CAE foi testada por meio de envelopes de confiança 99%, a partir de 499 simulações randômicas de Monte Carlo. Caso os valores estimados da função K estejam dentro dos envelopes, será aceita a hipótese nula, ou seja, o padrão será aleatório. Se os

valores estiverem fora dos envelopes será a hipótese alternativa, podendo ocorrer padrão agregado (valores positivos) ou padrão regular (valores negativos).

Com objetivo de evitar decréscimos significativos nas últimas classes de distância, o padrão espacial foi avaliado até metade do menor lado da parcela, ou seja, 30 metros nas duas áreas do estudo. Os valores obtidos pela função K foram transformados para função L(t), com objetivo de melhorar a compreensão dos valores estimados. As análises foram realizadas no programa SpPack 1.38 (PERRY, 2004).

5.5. Resultados e Discussão

Tabela 1. Relação de espécies heliófilas e umbrófilas amostradas nas áreas sob manejo Silvicultoril (SP) e Floresta em Sucessão Secundária (SS) de Floresta Ombrófila Mista Alto Montana, no município de Turvo-PR.

Família/Espécie	Nome comum	<i>n</i>		Classificação
		SP	SS	
AQUIFOLIACEAE				
<i>Ilex brevicauspis</i> Reissek	Caúna-miúda	1		Umbrófila
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Erva-mate	289	158	Umbrófila
<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek	Orelha de mico	4	23	Umbrófila
ARAUCARIACEAE				
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Araucária	155	144	Heliófila
ARECACEAE				
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Jerivá	1	12	Umbrófila
ASTERACEAE				
<i>Dasyphyllum spinescens</i> (Less.) Cabrera	Não-me-toque		1	Heliófila
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabr.	Cambará		12	Heliófila
<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme	Vassourão-branco	1	5	Heliófila
<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	Vassourão-cambará	2		Heliófila
<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob.	Vassourão-preto	11	153	Heliófila
BIGNONIACEAE				
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	Caroba	1		Heliófila
<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	Carobinha		7	Heliófila
BORAGINACEAE				
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	Louro-mole		26	Heliófila
CANELLACEAE				
<i>Cinnamodendron dinisii</i> Schwanke	Pimenteira	1	16	Heliófila

CELASTRACEAE				
<i>Maytenus evonymoides</i> Reissek	Tiriveiro	1		Heliófila
CLETHRACEAE				
<i>Clethra scabra</i> Pers	Carne de vaca	140		Heliófila
CUNONIACEAE				
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Guaraperê	9	43	Heliófila
<i>Weinmannia paulliniifolia</i> Pohl ex Ser	Gramamunha	1		Heliófila
CYATHEACEAE				
<i>Cyathea corcovadensis</i> (Raddi.) Domin.	Xaxim-de-espinho	72		Umbrófila
DICKSONIACEAE				
<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Xaxim	23	68	Umbrófila
ELAEOCARPACEAE				
<i>Sloanea lasiocoma</i> K.Schum.	Sapopema	4	29	Heliófila
EUPHORBIACEAE				
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Laranjeira-do-mato	2		Heliófila
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Leiteiro	7		Heliófila
FABACEAE				
<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá	1		Heliófila
LAURACEAE				
<i>Cinnamomum amoenum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	Canela-alho	2	6	Heliófila
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	Canela-alho	1	2	Heliófila
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	Canela-sebo	5	18	Heliófila
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-imbuia	1	1	Heliófila
<i>Ocotea acutifolia</i> (Ness) Mez	Canela-branca	2		Heliófila
<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	Canela		3	Heliófila
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	Imbuia	67	26	Heliófila
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Canela-guaicá	2	12	Heliófila
<i>Ocotea silvestris</i> Vattimo-Gil	Canela		1	Heliófila
MELASTOMATAACEAE				
<i>Miconia sellowiana</i> Naudin	Pixirica	2		Heliófila
MELIACEAE				
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart	Canjarana	1		Heliófila
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro-rosa	4	32	Heliófila
<i>Trichilia elegans</i> A. Juss.	Catiguá-miúdo		3	Heliófila

MYRTACEAE				
<i>Calyptanthes concinna</i> DC.	Guamirim-facho		2	Heliófila
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	Guabirobeira	32	61	Heliófila
<i>Eugenia hiemalis</i> Cambess.	Batinga	1	4	Heliófila
<i>Eugenia platysema</i> O.Berg			2	Heliófila
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira		1	Heliófila
<i>Eugenia uruguayensis</i> Cambess.	Cambuí-pitanga	1		Heliófila
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	Guamirim	4		Heliófila
<i>Myrcia hatschbachii</i> D. Legrand	Caingá		1	Heliófila
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Cambuí-verde	1		Heliófila
<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	Guamirim-cascudo	3	6	Heliófila
<i>Myrcianthes gigantea</i> (D. Legrand) D. Legrand	Pau-pelado		1	Heliófila
<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	Cambuizinho	2	2	Heliófila
PRIMULACEAE				
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult	Capororoquinha		66	Heliófila
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororoca	1	140	Heliófila
ROSACEAE				
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-brabo	14	61	Heliófila
RUBIACEAE				
<i>Coussarea contracta</i> (Walp.) Müll. Arg.	Cinzeiro-preto		1	Heliófila
<i>Rudgea parquioides</i> (Cham.) Müll.Arg.	Pimenteirinha		1	Umbrófila
RUTACEAE				
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica	1	6	Heliófila
SALICACEAE				
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Guaçatunga-branca	2	7	Umbrófila
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	Guaçatunga-vermelha	3	70	Umbrófila
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Cafezeiro do mato	3	19	Umbrófila
<i>Xylosma ciliatifolia</i> (Clos) Eichler	Sucará		1	Umbrófila
SAPINDACEAE				
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	Vacum		11	Heliófila
<i>Cupania vernalis</i> Cambess	Cuvatã		8	Heliófila
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Miguel-pintado	3	77	Heliófila
SOLANACEAE				
<i>Solanum granuloseprosum</i> Dunal			1	Heliófila

STYRACACEAE				
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	Carne-de-vaca	2		Heliófila
SYMPLOCACEAE				
<i>Symplocos tenuifolia</i> Brand	Maria-mole	1	40	Heliófila
THEACEAE				
<i>Laplacea fruticosa</i> (Schrad.) Kobuski	Santa-rita	1		Heliófila
WINTERACEAE				
<i>Drimys brasiliensis</i> Miers	Cataia	2	16	Umbrófila

5.5.1. Fitossociologia

Os resultados dos estimadores fitossociológicos são apresentados na Tabela 2. **Resultados dos estimadores fitossociológicos para *I. paraguariensis*, para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração (N = número de indivíduos amostrados; DA =** e demonstram o aumento nos valores de *I. paraguariensis* em todos os parâmetros no sistema silvipastoril, em comparação à sucessão secundária. O resultado é evidenciado no valor de importância fitossociológica (Tabela 1Tabela 2**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) que é, aproximadamente, 4 vezes maior no sistema silvipastoril nos dois momentos analisados.

Tabela 2. Resultados dos estimadores fitossociológicos para *I. paraguariensis*, para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração (N = número de indivíduos amostrados; DA = densidade absoluta, em número de indivíduos por hectare; DR = densidade relativa, em %; DoA = dominância absoluta, em m² por hectare; DoR = dominância relativa, em %; FA = frequência absoluta, em % de unidades amostrais em que a espécie ocorre; FR = frequência relativa, em % relativo a frequência de todas as espécies encontradas; VI = valor de importância, em %).

Ambiente	Ano	Posição Sociológica	N	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	VI
Sucessão Secundária	2012	6	233	138,69	9,38	0,52	1,45	100	4,92	5,25
	2015	6	233	138,69	9,38	0,63	1,72	100	4,92	5,34
Silvipastoril	2012	1	439	243,89	42,54	1,33	6,03	100	16,07	21,55
	2015	1	439	243,89	42,54	1,47	6,38	100	16,07	21,66

5.5.2. Densidade e Estrutura Diamétrica da Sinusia Arbórea

A densidade de indivíduos não apresentou mudanças ao longo do tempo, mas apresentou número muito maior de plantas por unidade amostral no sistema silvipastoril (Figura 5). Este fato evidencia a influência do manejo sobre a estrutura da população. Neste sistema a área é roçada para eliminação das plantas competidoras e a regeneração de *Ilex paraguariensis* é poupada justamente para adensar a população. A variação no número de indivíduos também é maior no sistema silvipastoril.

As observações de número de indivíduos por hectare apresentaram dados não paramétricos. O teste de Kruskal Wallis indicou que pelo menos um dos conjuntos de observações é diferente dos demais. O teste de Mann-Whitney demonstrou que não há diferença significativa entre anos de 2012 e 2015 na mesma área (Silvipastoril: $\alpha=0,05$, p-valor=0,423; Sucessão Secundária: $\alpha=0,05$, p-valor=0,7996).

Entretanto, a comparação entre as duas áreas mostrou significância nos dois anos avaliados (2012: $\alpha=0,05$, p-valor= $7,074e^{-6}$; 2015: $\alpha=0,05$, p-valor=0,0001101).

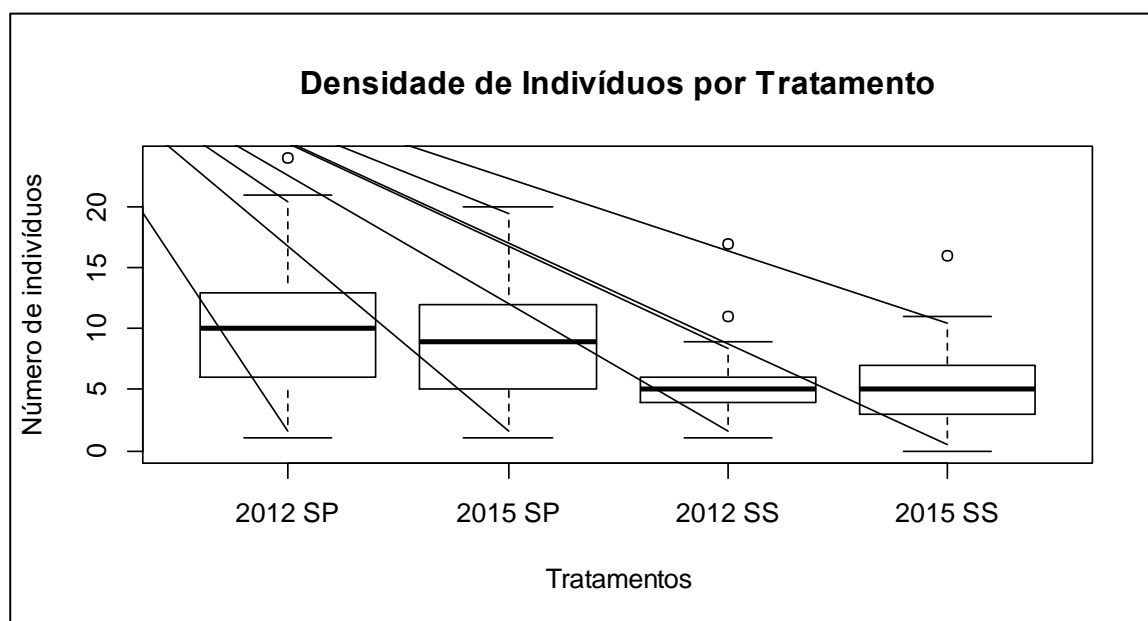


Figura 5. Número de indivíduos de *I. paraguariensis* nas unidades amostrais, por ano de mensuração e regime de manejo (SP = silvipastoril, MS = sucessão secundária).

A densidade de indivíduos de *I. paraguariensis* em áreas de extrativismo na região centro-sul do Paraná é muito variável e depende de fatores como a densidade natural, as práticas empíricas de manejo e os usos associados da floresta, que normalmente são a criação de bovinos, ovinos, suínos e equinos.

Ambas as áreas deste estudo apresentam densidade de *I. paraguariensis* maior do que em outros trabalhos encontrados na literatura. Em Inácio Martins, Signor et al (2015) encontraram 56 indivíduos por hectare, enquanto que Albuquerque et al (2011) encontraram 36 indivíduos por hectare no Município de Rebouças. Os valores encontrados (Tabela 2) na sucessão secundária sugerem que a densidade da espécie é naturalmente alta nesta região, enquanto que os resultados para o sistema silvipastoril indicam que a prática de roçada seletiva tem sido bem-sucedida no incremento da densidade de indivíduos para esta espécie.

Entretanto, o valor de importância encontrado (Tabela 2) na sucessão secundária é menor do que o encontrado em outros trabalhos. Signor et al (2015) encontraram 9,7% e Albuquerque et al (2011) encontraram 6,31%. Percebe-se que a densidade relativa é a variável mais importante na composição do VI para *I. paraguariensis* na área de estudos.

5.5.3. Estrutura Diamétrica da Sinusia Arbórea

Como esperado, a distribuição diamétrica apresentou comportamento não paramétrico. Desta forma, para comparar a distribuição entre as duas áreas e entre os anos foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, equivalente a ANOVA para dados não paramétricos. O teste indicou que há pelo menos um conjunto de amostras que difere das demais ($\alpha=0,05$, $p\text{-valor}<2,2\times 10^{-16}$).

Para verificar quais amostras diferem entre si foi utilizado o teste de Mann-Whitney, com duas amostras independentes, de modo a verificar se há diferença entre as duas áreas. As áreas mostraram diferença significativa no ano de 2012 ($\alpha=0,05$, $p\text{-valor}<2,62\times 10^{-12}$) e 2015 ($\alpha=0,05$, $p\text{-valor}<2,05\times 10^{-18}$), indicando que há diferenças entre as áreas em função do regime de manejo (Figura 6).

Na estrutura diamétrica da sinusia arbórea foram registrados os ingressos de novos indivíduos e a mortalidade. Em função disto, consideraram-se as medições da mesma área como amostras independentes, em função de que houve número diferente de observações nos anos de 2012 e 2015. Portanto, neste caso também foi utilizado o teste de Mann-Whitney para comparação da mediana entre as amostras.

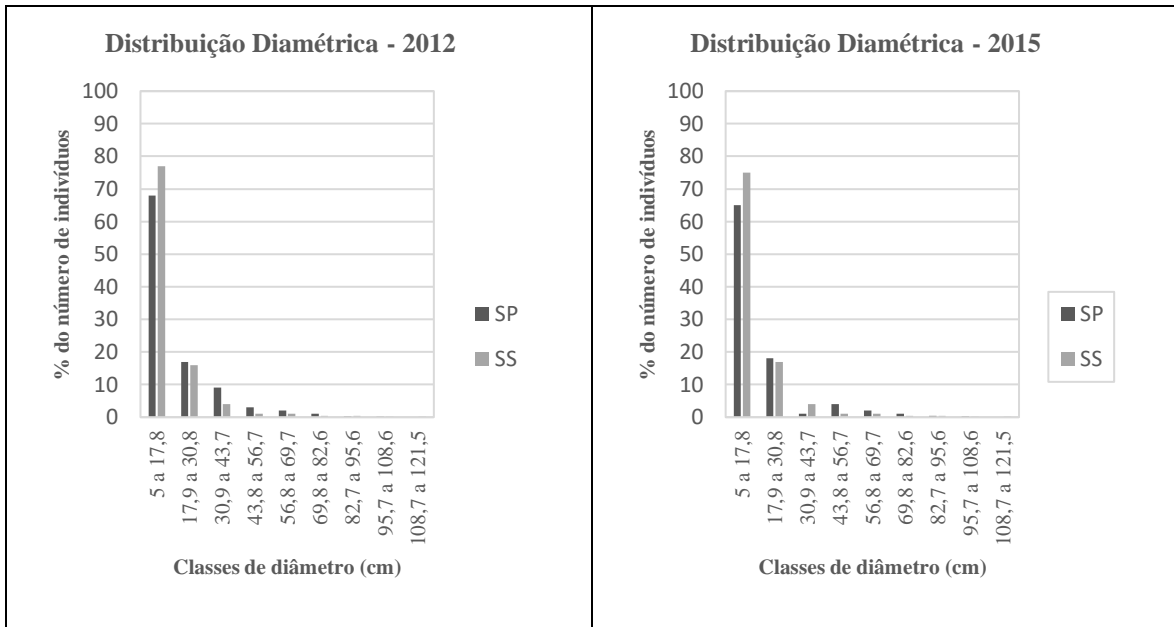


Figura 6. Distribuição diamétrica da sinusia arbórea nos dois anos de mensuração e nos dois regimes de manejo.

A sinusia arbórea apresentou diferença significativa na comparação entre as duas áreas estudadas (Figura 6).

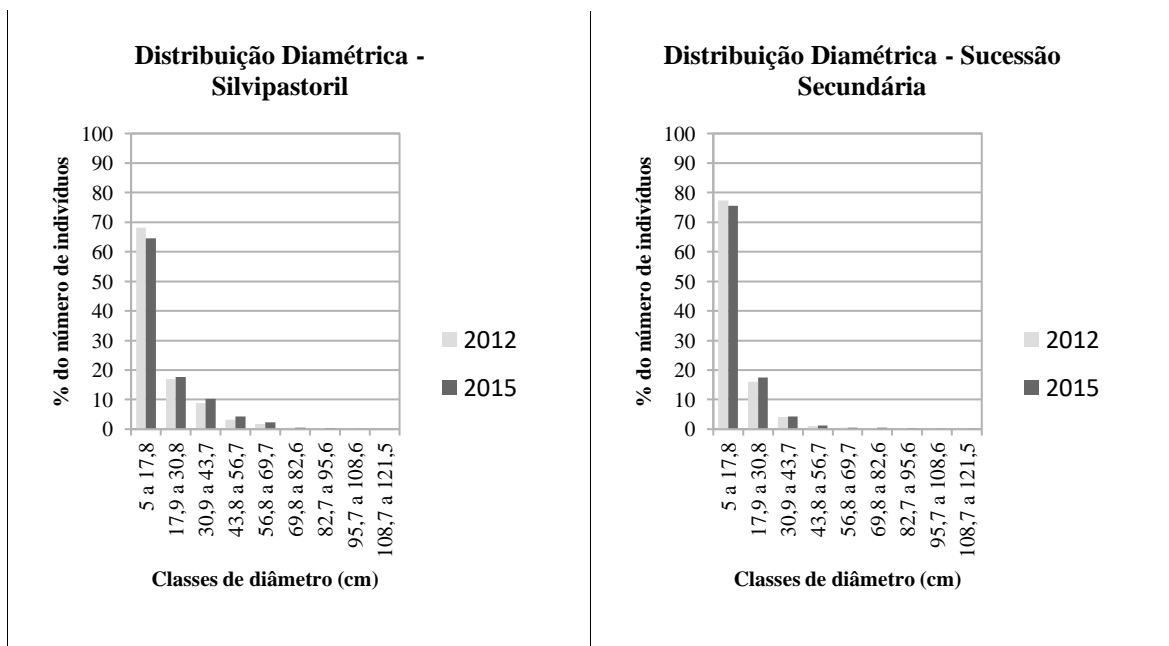


Figura 7. Distribuição diamétrica da sinusia arbórea para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração.

O sistema silvipastoril não apresentou diferença entre os anos ($\alpha=0,05$, p-valor $<2,28 \times 10^{-05}$), da mesma forma a sucessão secundária também demonstrou estabilidade quanto à estrutura diamétrica ($\alpha=0,05$, p-valor $<9,68 \times 10^{-06}$) (Figura 7).

A distribuição diamétrica da sinusia arbórea corresponde ao modelo exponencial negativo (DURIGAN 2012) para as duas áreas no ano de 2012. Em 2015, o sistema silvipastoril desmonstrou descontinuidade no formato “J invertido” na análise gráfica da estrutura arbórea, de forma mais evidente na classe de 30,9 a 43,7 cm de diâmetro (Figura 6).

5.5.4. Estrutura Diamétrica da População de *I. Paraguariensis*

A distribuição diamétrica de erva-mate também apresentou comportamento não paramétrico e as análises transcorreram da mesma forma que para a sinusia arbórea. Com exceção da comparação entre os anos, em que foi possível avaliar os mesmos indivíduos e comparar as diferenças como amostras relacionadas. O teste de Kruskal-Wallis indicou que há pelo menos um conjunto de amostras que difere das demais ($\alpha=0,05$, p-valor $<2,2 \times 10^{-16}$).

O teste de Mann-Whitney demonstrou diferença significativa no ano de 2012 ($\alpha=0,05$, p-valor $<4,76 \times 10^{-14}$) e 2015 ($\alpha=0,05$, p-valor $<6,48 \times 10^{-8}$), indicando que há diferenças na estrutura da população, causadas pelo regime de manejo (Figura 8).

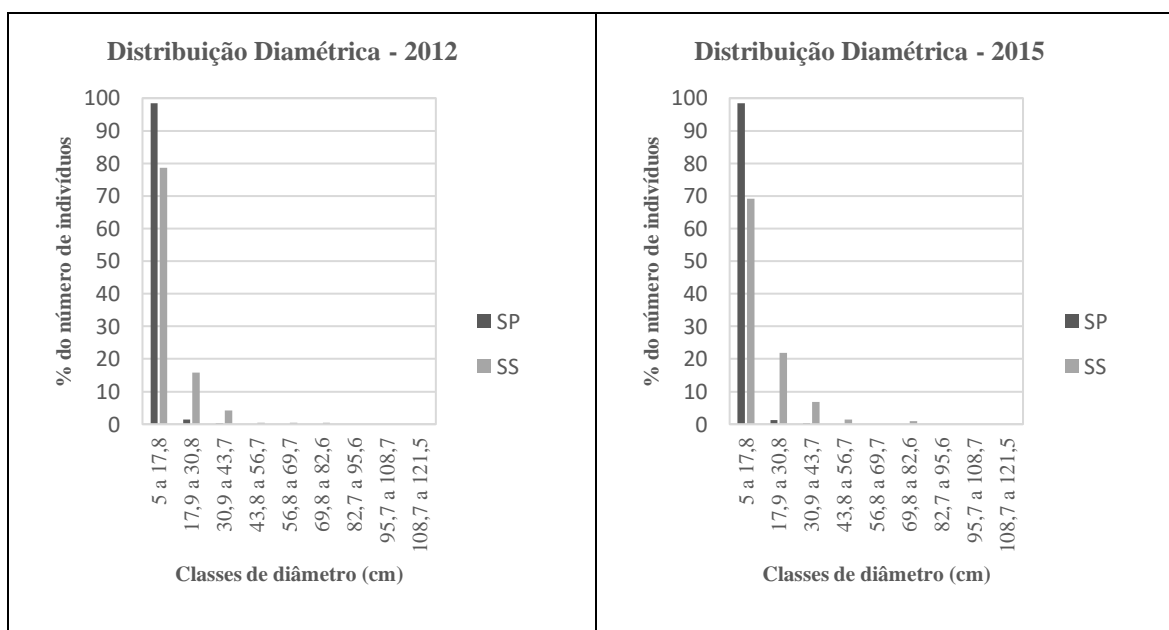


Figura 8. Distribuição diamétrica da população de *I. Paraguariensis*, nos dois anos de mensuração e regimes de manejo avaliados. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a sinusia arbórea.

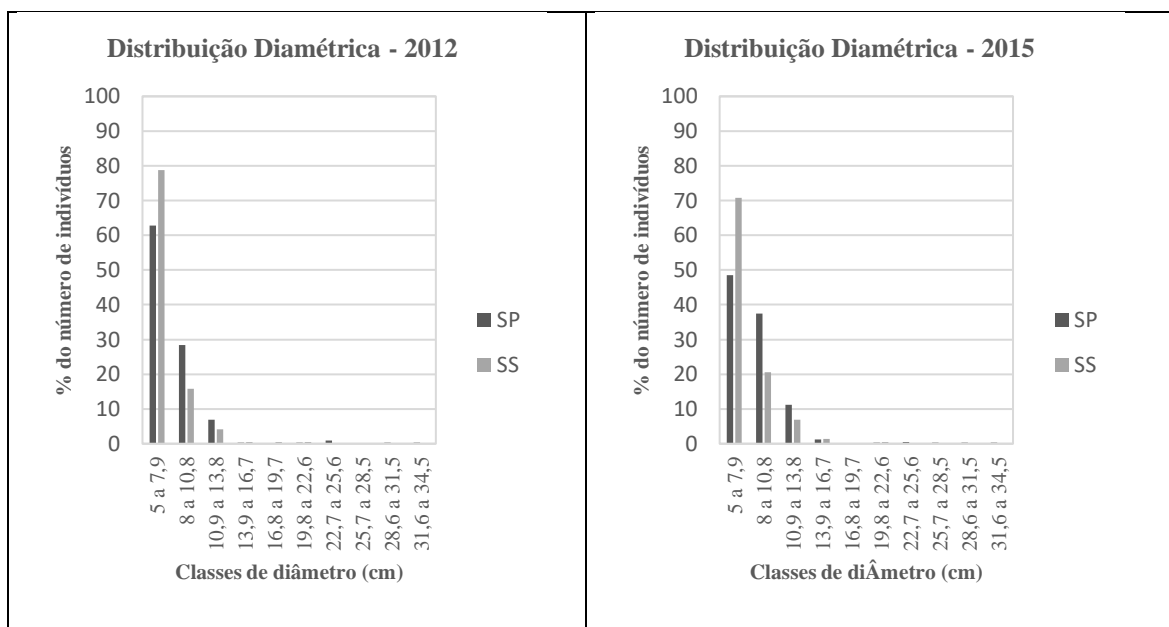


Figura 9. Distribuição diamétrica da população de *I. paraguariensis*, nos dois anos de mensuração e regimes de manejo avaliados. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a população da espécie.

Para verificar se a mesma área apresentou mudança na distribuição diamétrica nos dois anos avaliados, foi utilizado o teste de Wilcoxon, com duas amostras relacionadas. As duas áreas não apresentaram diferença entre os anos de 2012 e 2015 ($\alpha=0,05$, p-valor $<1,48 \times 10^{-32}$ para o sistema silvipastoril e $\alpha=0,05$, p-valor $<6,64 \times 10^{-25}$ para a sucessão secundária) (Figura 9).

Fica evidente que o regime de manejo silvipastoril dificulta o recrutamento e ingresso de novos indivíduos, quando comparado à sucessão secundária. Entretanto, os dois regimes de manejo apresentaram queda na frequência de indivíduos na primeira classe de diâmetro no intervalo entre os anos de avaliação (Figura 9).

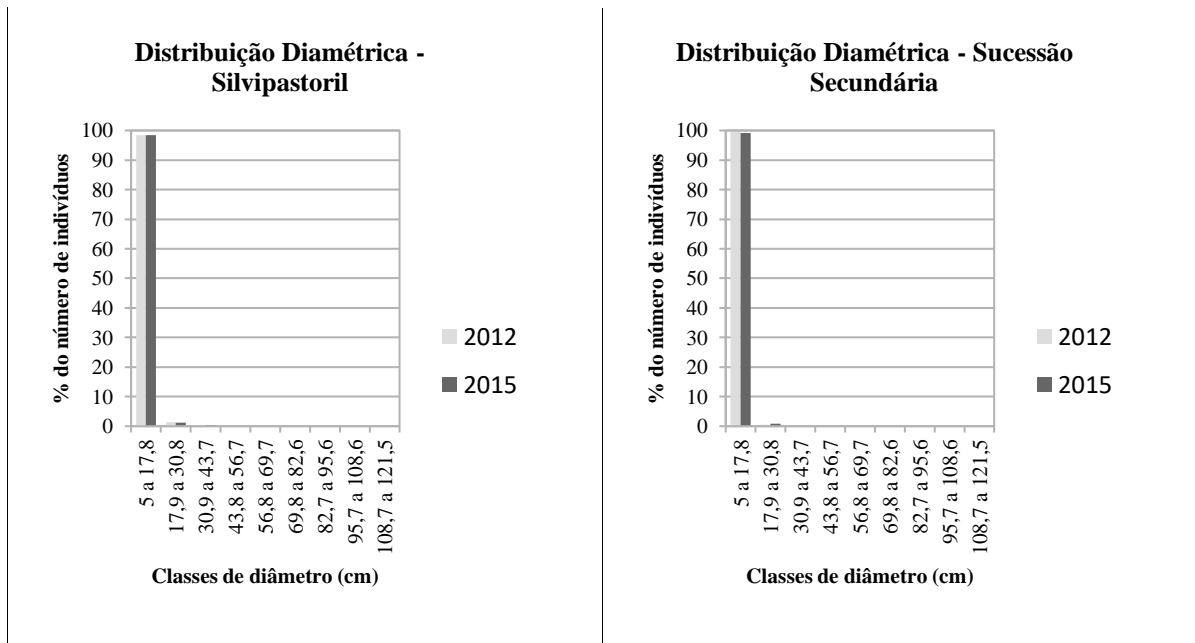


Figura 10. Distribuição diamétrica da população de *Ilex paraguariensis*, para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a sinusia arbórea.

Na análise da distribuição de diâmetro da população de *I. paraguariensis*, a espécie apresentou pequena quantidade de indivíduos nas classes de maior diâmetro. O sistema silvipastoril demonstrou descontinuidade na distribuição de indivíduos entre as classes, e menor recrutamento na primeira classe no ano de 2015 (Figura 11).

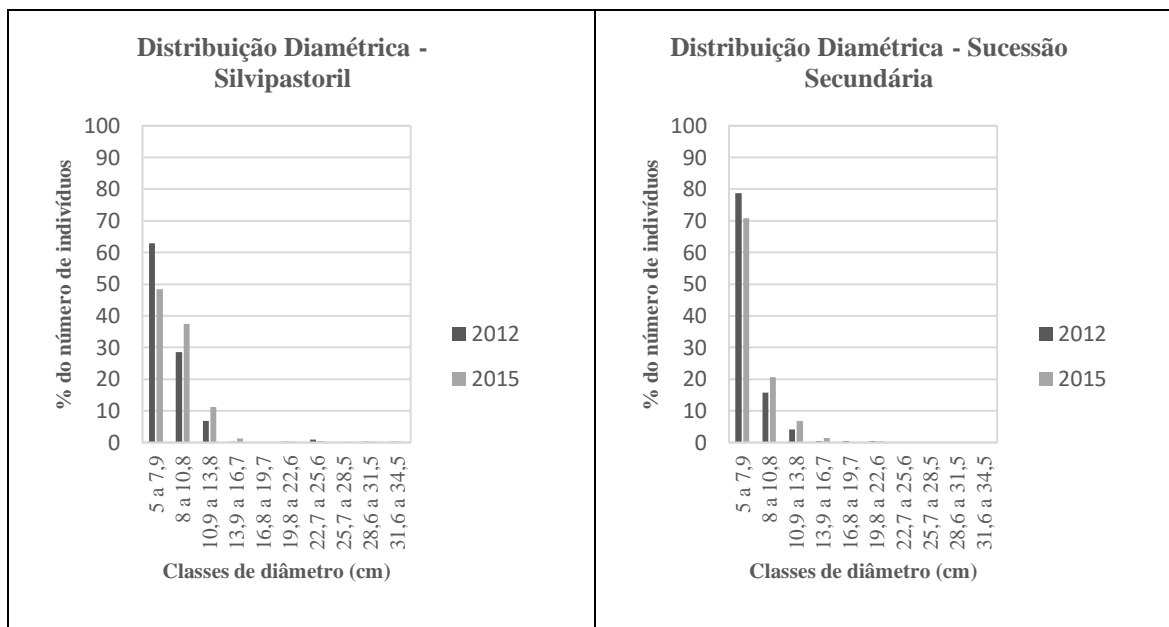


Figura 11. Distribuição diamétrica da população de *Ilex paraguariensis*, para cada um dos regimes de manejo e ano de mensuração. Os gráficos consideram a distribuição da espécie nas classes de diâmetro calculadas para a população da espécie.

Em campo, foi possível verificar a retirada de árvores de espécies e diâmetros variados no sistema silvipastoril, com o objetivo de diminuir o sombreamento e beneficiar a pastagem. No caso de *I. paraguariensis*, houve o rebaixamento das árvores para facilitar a colheita, o que fez com muitas árvores ficassem abaixo da altura de 1,3m de altura e não pudessem ser mensuradas no ano de 2015.

O sistema silvipastoril objetiva proporcionar benefícios ao sistema animal-solo-planta, cuja integração pode, na teoria, incrementar a produtividade e qualidade da pastagem, além de promover a sustentabilidade do sistema (Araújo et al. 2011). Entretanto, neste caso específico, a evolução da estrutura diamétrica no sistema silvipastoril suscita dúvidas quanto a sustentabilidade no longo prazo.

5.5.5. Distribuição Espacial

Foram amostrados 663 indivíduos na área sob Sistema Silvopastoril (SP), sendo 289 de *Ilex paraguariensis* (43,7%), 333 de espécies heliófilas (50,4%) e 39 de espécies umbrófilas (5,9%). Na área em processo de sucessão secundária (SS – sucessão secundária) foram amostrados 1628 indivíduos, sendo 159 de *Ilex paraguariensis* (9,8%), 1180 de espécies heliófilas (72,5%) e 289 de espécies umbrófilas (17,7%) (Tabela 1).

A distribuição espacial dos indivíduos amostrados nas áreas silvipastoril e na floresta em sucessão secundária estão representadas na Figura 12:

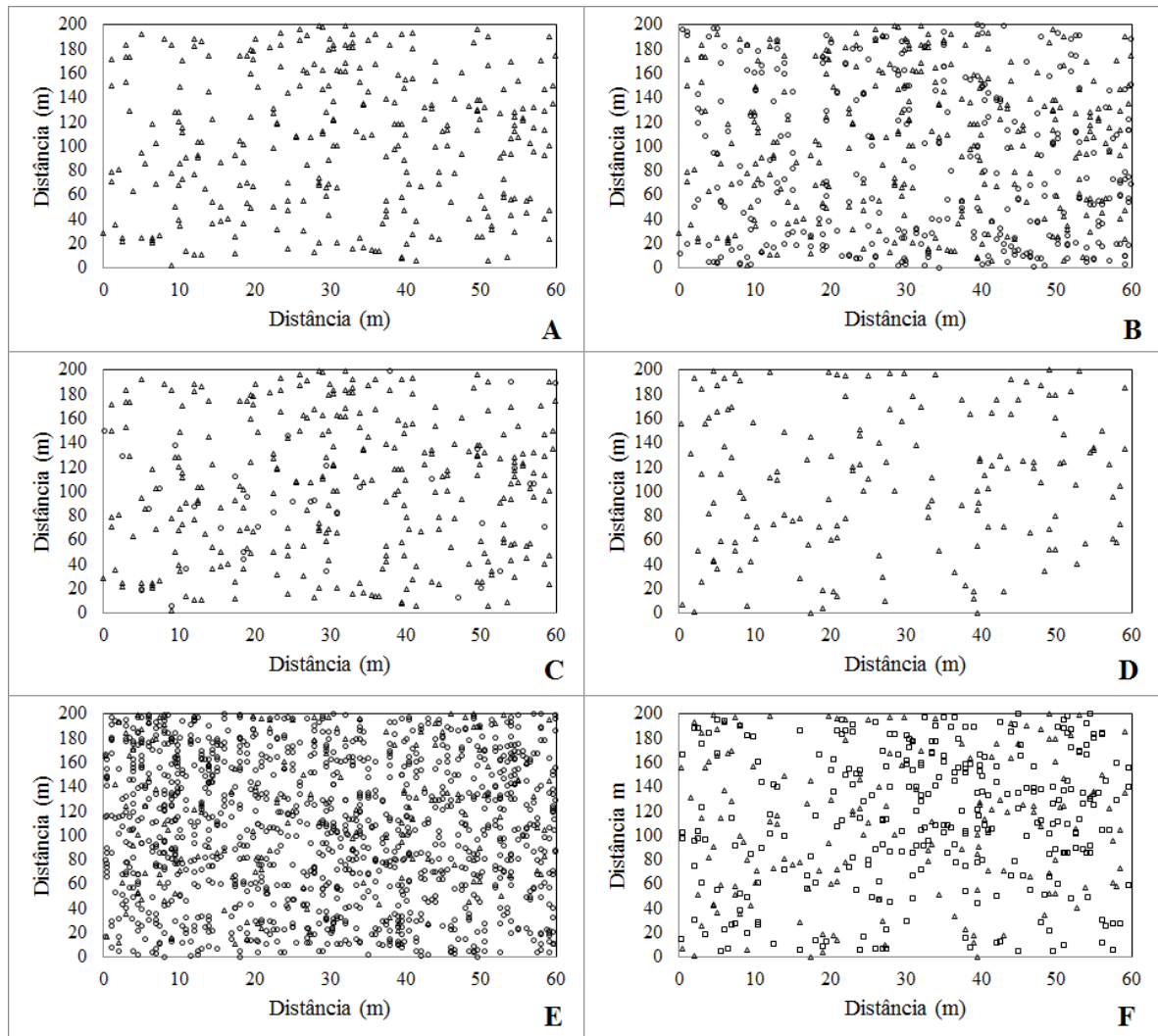


Figura 12. Distribuição espacial dos indivíduos nas áreas sob sistema silvipastoril e na floresta em sucessão secundária. Os triângulos representam os indivíduos de *Ilex paraguariensis* e os círculos os indivíduos das espécies heliófilas e umbrófilas. (A) *Ilex paraguariensis*, (B) *Ilex paraguariensis* x espécies heliófilas e (C) *Ilex paraguariensis* x espécies umbrófilas no sistema silvipastoril; (D) *Ilex paraguariensis*, (E) *Ilex paraguariensis* x espécies heliófilas e (F) *Ilex paraguariensis* x espécies umbrófilas na floresta em sucessão secundária.

Os padrões de distribuição espacial dos indivíduos de *Ilex paraguariensis* estão apresentados na Figura 13

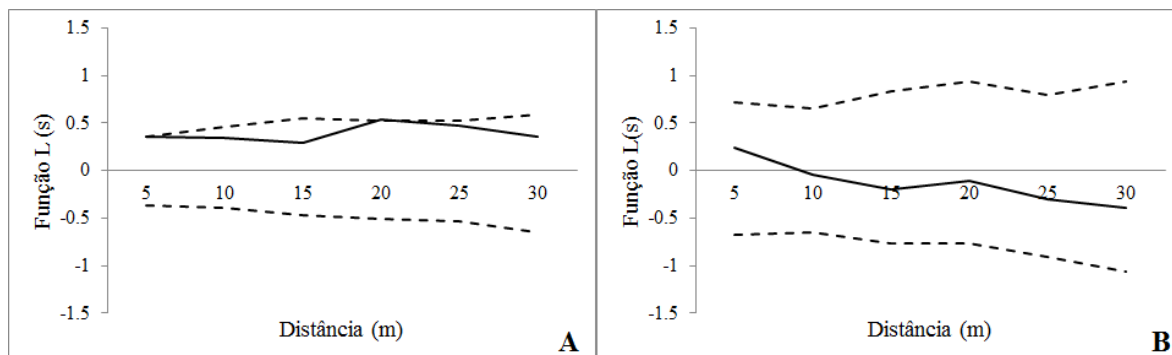


Figura 13. Padrão espacial da função univariada dos indivíduos de *Ilex paraguariensis*. (A) área silvipastoril e (B) floresta em sucessão secundária, no município de Turvo, PR. Os envelopes de confiança estão identificados pelas linhas pontilhadas e o valor de K pela linha contínua.

Conforme a análise dos envelopes de confiança foi possível observar que a distribuição espacial dos indivíduos *I. paraguariensis* atenderam à hipótese da Completa Aleatoriedade Espacial (hipótese nula), devido os valores da função k estar dentro do intervalo de confiança. Assim, a espécie apresentou padrão aleatório.

O que pode ter interferido no padrão espacial da espécie é a síndrome de dispersão das sementes. De acordo com Carvalho (2003), os frutos e sementes de *I. paraguariensis* são dispersos por aves, aumentando-se assim, a sua área de abrangência, podendo os indivíduos serem dispersos próximos a planta-mãe, como também em áreas mais distantes. O padrão de distribuição espacial aleatório indica que não há uma limitação ambiental para a dispersão da espécie.

Além disso, apesar do caráter gregário de *I. paraguariensis* (SILVESTRE et al., 2012), o padrão espacial observado no presente estudo foi divergente, provavelmente, devido a fatores limitantes ou condicionantes, como a interferência antrópica no ambiente, nas áreas do estudo, condições edafoclimáticas diferenciadas, baixa frequência de dispersores, entre outros fatores (KANIESKI et al., 2012).

Os padrões espaciais, por meio da análise bivariada, entre os indivíduos de *I. paraguariensis* e as espécies heliófilas e umbrófilas nas áreas silvipastoril e de floresta em sucessão secundária estão demonstrados na Figura 14.

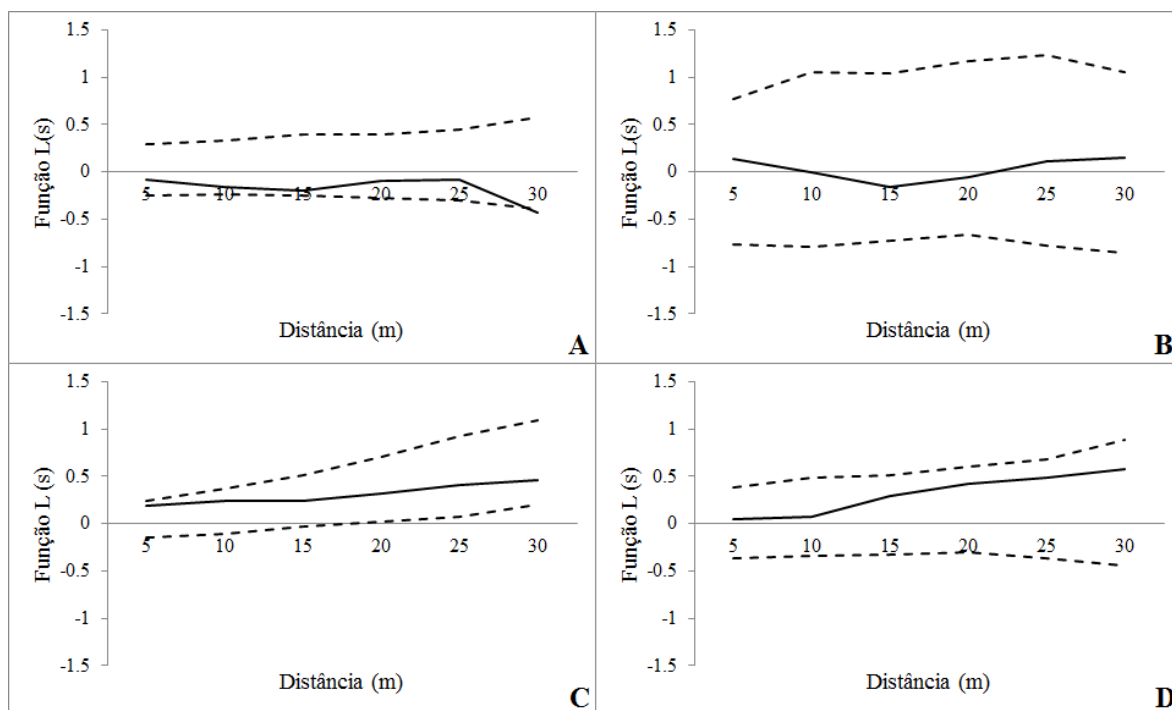


Figura 14. Padrão espacial da função bivariada para a associação entre os indivíduos de *Ilex paraguariensis* e os indivíduos das espécies heliófilas e umbrófilas. (A) *Ilex paraguariensis* x espécies heliófilas, (B) *Ilex paraguariensis* x espécies umbrófilas no sistema silvipastoril; (C) *Ilex paraguariensis* x espécies heliófilas, (D) *Ilex paraguariensis* x espécies umbrófilas na área de floresta em sucessão secundária, no município de Turvo, PR. Os envelopes de confiança estão identificados pelas linhas pontilhadas e o valor de K pela linha contínua.

De acordo com análise bivariada entre a distribuição espacial de *I. paraguariensis* em conjunto com as espécies heliófilas e umbrófilas, verificou-se que todas associações da análise bivariadas apresentaram padrões aleatórios, aceitando-se a hipótese nula. Com isso, o sistema de manejo não influenciou no padrão espacial.

De acordo com Silva et al. (2012), o padrão espacial aleatório ocorre quando a posição de todos os indivíduos dentro de uma população é independente de todos os outros, de tal maneira que qualquer um tem uma chance igual e independente de ocorrer em qualquer ponto da área considerada. Adicionalmente, o padrão espacial aleatório é predominante em árvores adultas, sendo explicado pela homogeneidade ambiental e, ou, padrões comportamentais não seletivos, ou seja, independente das diferenças de solo, altitude e

grupos ecológicos que possam existir na área, a espécie se desenvolve bem em qualquer local, sendo esse comportamento observado na espécie analisada (DALMASO, 2012).

O padrão espacial, sugerindo que a dispersão de sementes é afetada por fatores mais complexos, como características filogenéticas e adaptações específicas de cada táxon, além de uma série de outros fatores, como dispersores secundários e a relação interespecífica (URBANETZ et al., 2003). Assim, possivelmente, a diversidade genética das espécies umbrófilas e heliófilas sejam elevadas. Para isso, são indicados estudos visando determinar a estrutura genética espacial em nível de espécie nas áreas do presente estudo, especialmente com a *I. paraguariensis*.

Apesar das áreas analisadas serem distintas, aceitou-se a hipótese de completa aleatoriedade espacial na distribuição espacial da *I. paraguariensis*, na forma univariada e na bivariada, quando associada com espécies heliófilas e umbrófilas.

Pode-se concluir que o manejo realizado na área sob sistema silvipastoril altera a estrutura populacional da espécie, principalmente pelo incremento na densidade. Também limita a regeneração natural de todas as plantas da sinusia arbórea. O manejo não interfere no padrão espacial de *I. paraguariensis* em comparação com a sucessão secundária.

5.6.Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J.M.; WATZLAWICK, L.F.; MESQUITA, N.S. Efeitos do Uso em Sistema Faxinal na Florística e Estrutura em Duas Áreas da Floresta Ombrófila Mista no Município de Rebouças, PR. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.21, n.2, p.323-334. 2011.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n.6. 2013, p. 711–728.

APG IV. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.181, n.1, 2016. p. 1-20.

ARAÚJO, R.P.; ALMEIDA, J.C.C.; DEMINICIS, B.B.; ARAÚJO, S.A.C.; RIBEIRO, E.T.; AMORIM, M.M.; RODRIGUES, P.R. **Sistema Silvipastoril Como Alternativa de Uso Da Terra**. Pubvet v.5, n.38. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.22256/pubvet.v5n38.1245>>. Acesso em: 29/09/2018.

AZZOLINI, M.; MACCARI JUNIOR, A. A erva-mate e seu uso medicinal. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 92-104.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Mata Atlântica: as árvores e a paisagem**. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: EMBRAPA-CNPq, 2003.

CHAPMAN C. A.; CHAPMAN L. J.; STRUHSAKER T. T.; ZANNE, A. E.; CLARK, C. J.; POULSEN, J. R. A long-term evaluation of fruiting phenology: importance of climate change. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 1- 14, 2005.

DALMASO, C. A. **Padrões de interações espaciais na regeneração de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer na Floresta Nacional de Irati, Paraná.** 2012. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração em Silvicultura) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Irati, 2012.

DE PAULA, M. L.; CHOCIAI, J. G. Uso e aplicação industrial da erva-mate em cosméticos. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 77-91.

DURIGAN, G. Estrutura e Diversidade de Comunidades Florestais. In.: MARTINS, S.V. **Ecologia de Florestas Tropicais Do Brasil**, 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2012. p. 294-325.

EMBRAPA. Cultivo da erva-mate. **Sistemas de produção**, v.1. Colombo: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, 2005. Sem paginação. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Erva-mate/CultivodaErvaMate>>. Acesso em: 22 jan. 2014.

FITCHETT, J. M.; GRAB, S. W.; THOMPSON, D. I. Plant Phenology and Climate Change: Progress in Methodological Approaches and Application. **Progress in Physical Geography**. v. 39, n. 4, p. 460-482, 2015.

GUERIN, G. R.; CHRISTMAS, M. J.; SPARROW, B.; LOWE, A. J. Projected Climate Change Implications for the South Australian Flora. **Swainsona**, n.30, p.25-31, 2018.

KANIESKI, M. R.; LONGHI, S. J.; NARVAES, I. S.; SOARES, P. R. C.; LONGHI-SANTOS, T.; CALLEGARO, R. M. Diversidade e padrões de distribuição espacial de espécies no estágio de regeneração natural em São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Revista Floresta**, v. 42, n. 3, p. 509-518, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4 ed., v. 1, Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

MACCARI JUNIOR, A.; SANTOS, A. P. R. dos. O alimento erva-mate e a erva-mate em alimentos. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 43-68.

MIRANDA, I. P. A.; RABELO, A.; BUENO, C. R.; BARBOSA, E. M.; RIBEIRO, M. N. S. **Frutos de Palmeiras da Amazônia**. Manaus: MCT INPA, p. 7-10, 2001.

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, v. 26, n. 2, p. 141-159, 1994.

OKSANEN, J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. **Vegan: Community Ecology Package**. R Package Version 2.4.-0. 2016.

PAULA, A.; ALMEIDA FILHO, R.L.; ANJOS, P.; BARRETO, B. Distribuição Espacial de *Pseudopiptadenia Contorta* (DC .) G . P . Lewis & M . P . Lima (Fabaceae/Mimosoideae) em uma Floresta Estacional Decidual em Vitória da Conquista, BA, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v.13, n.1, 2015. p.49-53.

PERRY, G. L. W. SpPack: spatial point pattern analysis in Excel using Visual Basic for Applications 26 (VBA). **Environmental Modelling & Software**, v. 19, n. 6, p. 559-569, 2004.

PIRES, E.Z. **Ecologia de *Ilex paraguariensis* A.St. Hil. em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista na Região do Planalto Catarinense**. Dissertação (mestrado). Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC. Lages, 2012. 88p.

R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2016.

RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistic Society**. v. 39, p. 172-212, 1977.

SANQUETA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; RODRIGUES, A.L.; WATZLAWICK, L.F. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3ed. Curitiba: Multi-Graphic. 2014. 406p.

SFAIR, J. C. **Estatística Circular: Principais Análises Utilizando o R**. 2º ed. 2014. 33p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272175040_Segunda_versao_do_tutorial_de_estadistica_circular_no_R> Acesso em: 04/10/2018.

SIGNOR, P.; GOMES, G.S.; WATZLAWICK, L.F. Produção de Erva-Mate e Conservação da Floresta com Araucária. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.35, n.83, p.199-208. 2015.

SILVA, J.V. **Estrutura Populacional de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Aquifoliaceae) em Fragmentos de Floresta Ombrófila Mista**. Monografia. Setor de Ciências Biológicas, UFPR. Curitiba, 2006. 30p.

SILVA, K. E.; MARTINS, S. V.; SANTOS, N. T.; RIBEIRO, C. A. A. S. Padrões Espaciais Arbóreas Tropicais. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2012. 371p.

SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. A.; BALBINOT, R.; WATZLAWICK, L. F. Análise estrutural e distribuição espacial em remanescente de Floresta Ombrófila Mista, Guarapuava (PR). **Revista Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 259-274, 2012.

URBANETZ, C.; OLIVEIRA, V. M.; RAIMUNDO, R. L. G. Padrão espacial, escala e síndromes de dispersão, 2003. Disponível em: <https://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorios/ne211r3a2003.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Upper Saddle River: Prentice Hall, Princeton, 2012.

ZERBIELLI, L.C. **Produtividade, Luminosidade, Composição Química e Qualidade da Erva-Mate**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal). Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Guarapuava. 2017. 58p.

6. CAPÍTULO 2: FENOLOGIA DE UMA POPULAÇÃO DE *Ilex Paraguariensis* A. St. Hill. SOB DOIS REGIMES DE MANEJO

6.1. Resumo

Francisco Alberto Putini. Fenologia de uma população de *Ilex paraguariensis* A. St. Hill. sob dois regimes de manejo.

Uma população de erva-mate, localizada em duas áreas vizinhas, foi avaliada quanto ao seu comportamento fenológico. A Área 1, com 1,64 hectares é destinada a conservação e apresenta uma floresta em processo de sucessão secundária. A Área 2 tem 1,8 hectares e é destinada ao manejo silvipastoril com colheita de erva-mate a cada 18 meses. 40 indivíduos de *I. paraguariensis* foram monitorados quinzenalmente, ao longo de dois anos. 20 indivíduos foram localizados em cada uma das áreas, sendo 10 machos e 10 fêmeas. Foram avaliados a queda e brotamento de folhas, floração e frutificação com o objetivo de determinar se o manejo influencia o comportamento fenológico da espécie. A frutificação e a queda de folhas nas fêmeas não apresentaram diferença significativa na comparação entre as duas áreas. As demais variáveis analisadas apresentaram diferença estatisticamente significativa, o que demonstra que o manejo silvipastoril altera o comportamento fenológico da espécie. Além disso, verificou-se que, mesmo com padrões semelhantes, todas as variáveis analisadas apresentam maior intensidade e maior período de ocorrência no sistema silvipastoril.

Palavras chave: fenologia, floresta secundária, sistema silvipastoril, manejo florestal.

6.2. Abstract

Francisco Alberto Putini. Phenology of a population of *Ilex paraguariensis* A. St. Hill. under two management regimes.

A population of yerba mate, located in two neighboring areas, was evaluated for its phenological behavior. Area 1, with 1.64 hectares is destined for conservation and presents a forest in process of secondary succession. Area 2 has 1.8 hectares and is destined to the silvopastoral management with harvest of yerba mate every 18 months. 40 individuals of *I. paraguariensis* were monitored biweekly, over two years. 20 individuals were located in each of the areas, 10 males and 10 females. Leaf fall, budding, flowering and fruiting were evaluated in order to determine if the management influenced the phenological behavior of the species. Fruiting and leaf fall in the females did not present a significant difference in the comparison between the two areas. The other analyzed variables presented a statistically significant difference, which shows that silvopastoral management changes the phenological behavior of the species. In addition, it was verified that, even with similar patterns, all analyzed variables present higher intensity and longer period of occurrence in the silvopastoral system.

Keywords: phenology, secondary forest, silvopastoral system, forest management.

6.3.Introdução

Os eventos biológicos cíclicos das plantas e suas associações com as condições climáticas do ambiente são os objetos de estudo do ramo da ecologia denominado fenologia. O acompanhamento dos eventos fenológicos é realizado por meio de observações sistemáticas do ciclo de vida das plantas, que abrange as fenofases vegetativas (enfolhamento e desfolhamento) e as fases reprodutivas (floração e frutificação) (BENCKE; MORELLATO, 2002; PEREIRA et al., 2008).

A fenologia trata da descrição das formas ou fases do ciclo de vida dos seres vivos em um período de tempo (LIETH, 1974). Visa explicar as interações da flora com a fauna e o meio abiótico (KOLLMANN, 1999) e contribui para o entendimento da reposição de recursos na comunidade ao longo do tempo (TALORA e MORELLATO, 2000).

Esses estudos visam descrever padrões para os ciclos biológicos correlacionando-os com variáveis climáticas, como a precipitação, temperatura umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. Assim, a fenologia estuda a intensidade, frequência, e sincronismo dos eventos fenológicos (NEWSTROM et al.; 1994; SANMARTIN-GAJARDO; MORELLATO, 2013).

A compreensão sobre a periodicidade dos eventos vegetativos e reprodutivos das plantas permite conhecer a dinâmica dos ecossistemas, devido fornecer dados importantes para a dispersão, polinização e ciclagem de nutrientes (MORELLATO, 1992). A partir destes estudos, muitos outros envolvendo biologia reprodutiva, coleta de frutos e sementes e manejo sustentável de frutos podem ser desenvolvidos (ALMEIDA; ALVES, 2000; RAMOS; SANTOS, 2005; NEVES et al., 2010).

Estudos relacionados à fenologia são fundamentais em qualquer plano de manejo florestal (FOURNIER, 1974). Além disso, os resultados obtidos na fenologia são utilizados para embasar tendências de alterações nos padrões fenológicos frente às mudanças climáticas (JOCHNER et al., 2013).

Segundo Van Schaik et al. (1993), as vegetações que apresentam maior periodicidade na produção de folhas, flores e frutos são aquelas que ocorrem em climas com maior variação sazonal, sendo que a variação entre as estações seca e úmida é o principal fator correlacionado com a intensidade, sincronia e período de ocorrência das fenofases. Afirmção confirmada por Marques et al. (2004) para Floresta Ombrófila Mista no Paraná,

onde encontrou alta correlação dos eventos fenológicos da comunidade com a temperatura e comprimento do dia.

Richards (1996) e Borchert (1980) afirmam que há menor sazonalidade e sincronia de fenofases em florestas tropicais e subtropicais, mas não a ponto de estas variações serem insignificantes. Da mesma forma, Talora e Morellato (2000), ao testarem a hipótese de que uma floresta sob clima úmido em Ubatuba-SP, com precipitação alta e bem distribuída durante o ano, apresentaria pouca sazonalidade na ocorrência das fenofases da comunidade. As autoras encontraram padrões fenológicos que apresentaram sazonalidade menos acentuada do que aquelas observadas em florestas semidecíduas.

Alberti (2002) encontrou alta correlação entre a fenologia de duas comunidades arbóreas e variáveis climáticas como a temperatura, insolação e precipitação, o que indica, em acordo com outros trabalhos, interdependência entre os dois eventos. Porém, o autor afirma que a frutificação é uma ocorrência mais complexa, e demonstra possuir mais do que simples correlações com variáveis climáticas.

Estudos sobre o comportamento fenológico de comunidades vegetais abordam, normalmente, o período de um ano, de modo que abranja um ciclo meteorológico completo (GUTIÉRREZ, 1990), com observações no mínimo mensais, em dez indivíduos de cada espécie (FOURNIER e CHARPANTIER, 1975). As espécies vegetais da Floresta Ombrófila Mista apresentam variações periódicas nos padrões de crescimento e reprodução, associadas com a sazonalidade climática. Este estudo teve como objetivo analisar, de forma comparativa, os ciclos de crescimento e reprodução de *I. paraguariensis* em dois regimes de manejo, uma floresta secundária sem intervenção antrópica e um sistema silvipastoril adjacentes. A análise da fenologia avaliou as épocas de florescimento, frutificação, brotamento e queda de folhas. Os resultados serão utilizados para inferir se o manejo provoca alterações nos ciclos de crescimento e reprodução da espécie procurando responder às questões: (i) *I. paraguariensis* cresce e reproduz de maneira sazonal em ambos os regimes de manejo? (ii) os ciclos de crescimento e reprodução são correlacionados com a sazonalidade climática em ambas as formas de manejo?

6.4. Material e Métodos

A área de estudos possui 3,44 ha, dos quais 1,8 ha são manejados em sistema silvipastoril (ovinos e erva-mate) e 1,64 ha são destinados a conservação de floresta em sucessão secundária, conforme descrito no capítulo 1. Estão instaladas 45 unidades amostrais no sistema silvipastoril e 41 unidades na floresta em sucessão secundária, com 400m² cada, onde foram realizados os estudos de florística, estrutura da vegetação e distribuição espacial como parte do projeto “Vegetação e mecanismos de regeneração natural em dois fragmentos de Floresta Ombrófila Mista sob o sistema de faxinais, em diferentes estágios de sucessão” (dados não publicados).

O estudo da fenologia compreendeu a avaliação de 40 indivíduos adultos encontrados no levantamento fitossociológico. Foram monitorados pelo prazo de dois anos 20 indivíduos em cada área de estudos, 10 machos e 10 fêmeas, com intervalo de 14 dias e as informações foram anotadas em ficha específica (Figura 15). A seleção dos indivíduos seguiu as recomendações de Fournier e Charpantier (1975) e de Morellato et al. (1989), com a seleção aleatória de plantas.

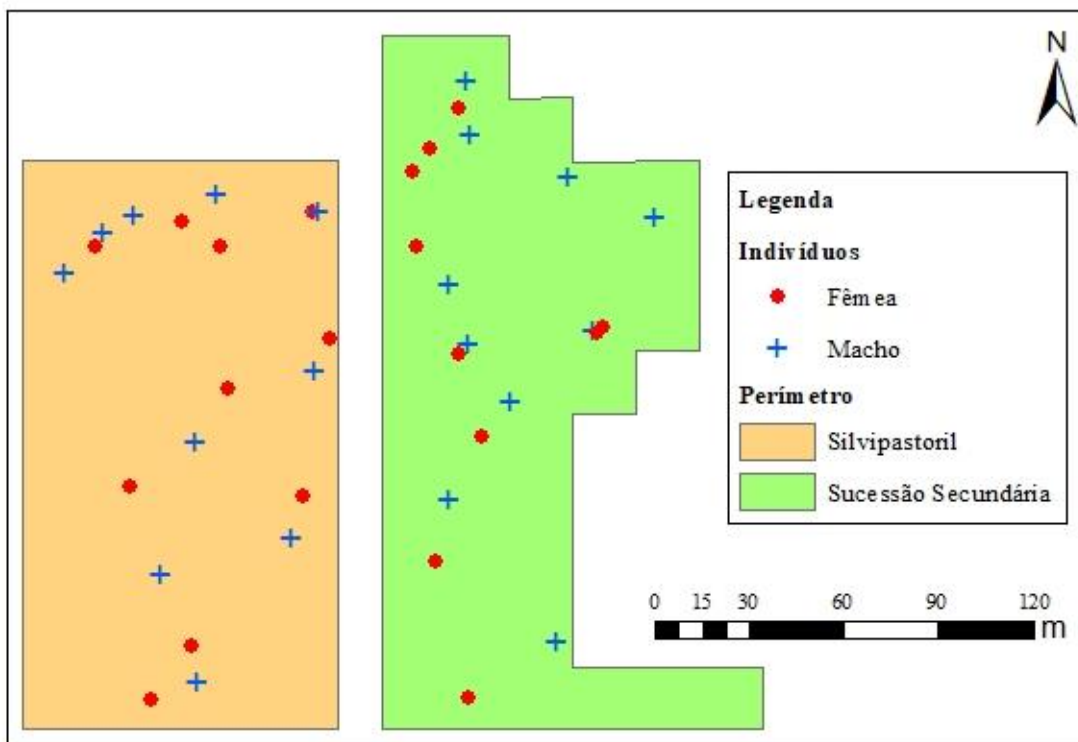


Figura 15. Croqui de localização dos indivíduos selecionados para o estudo fenológico.

As fases consideradas envolvem a presença de botões florais, flores abertas, frutos imaturos e maduros, brotamento e queda de folhas. Além da simples ocorrência destas características, sua intensidade também foi registrada, sendo dividida em grande ou pequena de acordo com o percentual de ramos apresentando a mesma característica onde pequena intensidade é definida como menos de 50% dos ramos, e grande, igual ou maior que 50%. Foi considerada também a ocorrência simultânea de fases.

Foi analisada a distribuição das fases fenológicas no período dos dois anos de observação, considerando a intensidade de cada fase. Os dados fenológicos foram correlacionados, por meio da correlação de Spearman (r_s), com as seguintes variáveis climáticas: precipitação, insolação, temperatura e umidade relativa, obtidas da primeira, segunda, terceira e quarta quinzena antes dos eventos vegetativos e reprodutivos. Os dados climáticos foram obtidos diariamente ao longo do período do estudo na estação meteorológica da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus CEDETEG.

Para confirmar o uso da correlação não-paramétrica de Spearman, os dados fenológicos foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

Para definição da sincronia populacional, com base nos eventos de frutificação, foi considerado com alta sincronia aqueles que apresentarem mais de 60% da proporção de indivíduos com eventos analisados, conforme Bencke e Morellato (2002).

O comportamento fenológico foi analisado pelo teste Rayleigh (Z) para verificar a uniformidade de eventos de distribuição circular (ZAR, 1999). As análises estatísticas e as correlações entre fenofases e variáveis climáticas, o cálculo de intensidade amostral e os testes estatísticos foram realizados no *software* Rstudio com R versão 3.3.2 (R Core Team, 2016). As correlações entre as fases fenológicas e as variáveis climáticas utilizaram o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2009).

Para avaliação dos padrões fenológicos reprodutivos de floração foi utilizada a proposta de classificação de Newstrom et al. (1994), com base na frequência dos ciclos por ano (cada ciclo consiste em um episódio de floração seguido por um intervalo de não floração). As quatro categorias básicas são: 1) contínuo (o florescimento é interrompido apenas por períodos esporádicos e curtos), 2) subanual (a floração ocorre em mais de um ciclo por ano), 3) anual (um único episódio de florescimento durante o ano) e 4) supra-anual (a floração ocorre a intervalos maiores que um ano, sendo que estes podem ocorrer regularmente ou não).

6.5. Resultados e Discussão

Para as análises estatísticas todos os resultados foram convertidos em radianos e, posteriormente, em dados circulares conforme descrito em Sfair (2014). Todas as variáveis apresentaram comportamento não paramétrico.

Para a comparação dos resultados nas duas áreas foi utilizado o teste de Watson-Wheeler, de acordo com a recomendação de Zar (2012). Todas as variáveis fenológicas apresentaram diferenças significativas, exceto frutificação e queda de folhas (p -valor=0,1557 e 0,3102, respectivamente) nas árvores femininas, indicando que o regime de manejo altera a intensidade de fase nos indivíduos, na população e também na época de ocorrência da fenofase.

A produção de folhas nos indivíduos masculinos e femininos de *I. paraguariensis* manteve-se permanente durante todo o período de avaliação. Na área silvipastoril, as maiores intensidades ocorreram nos meses de setembro, outubro e novembro de 2013, com (28,7%, 97,7% e 32,4%, respectivamente), nos indivíduos masculinos e (24,7%, 98,4% e 24,5%, respectivamente), nos indivíduos femininos. Na área da floresta secundária, a produção foliar foi semelhante ao observado na área silvipastoril, com maior produção nos meses de outubro e novembro de 2013 (35,4% e 23,2, respectivamente), nos indivíduos masculinos e (32,4% e 17,3%, respectivamente), nos indivíduos femininos. A maior produção de folhas novas em setembro, na área sob sistema silvipastoril, provavelmente ocorreu por causa do sistema de manejo praticado na área (Figura 16 A e B).

Em relação à senescência foliar, como no enfolhamento, apresentou-se frequente, com maior intensidade nos meses julho e agosto de 2013 nas duas áreas de estudo. As intensidades na área sob sistema silvipastoril foram de (18,1% e 35,2, respectivamente), para os indivíduos masculinos e (13,9% e 27,9%, respectivamente), para os indivíduos femininos. Na área de floresta secundária, os percentuais foram de (11,8% e 12,1%, respectivamente), para os indivíduos masculinos e (13,9 e 27,9%, respectivamente), para os indivíduos femininos (Figura 17 A e B).

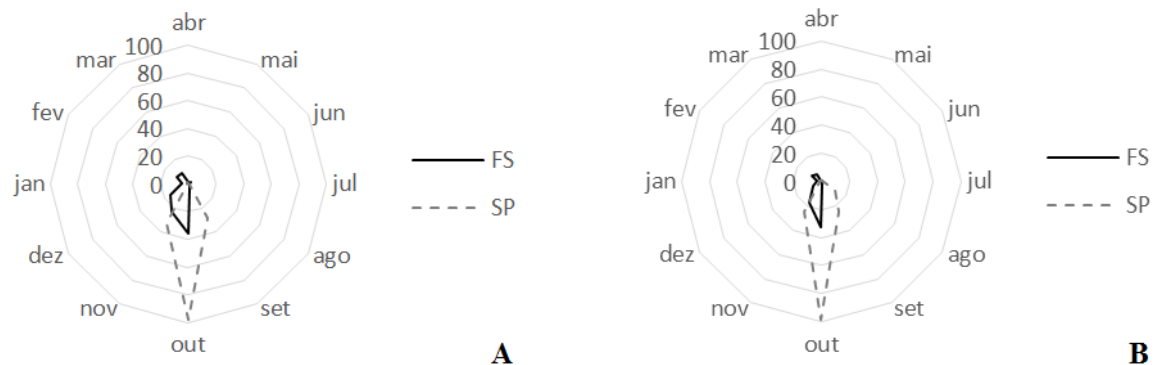


Figura 16. Padrão fenológico de enfolhamento de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.

Como verificado no presente estudo, a maior produção foliar ocorreu no mês de outubro, período de baixa disponibilidade hídrica, em detrimento da senescência foliar que ocorreu em maior intensidade no período de precipitação elevada (Figura 18). Assim, a emissão contínua de folhas vista nesta espécie sugere que esses indivíduos são pouco afetados pelas variações na disponibilidade de água durante o ano, mantendo um balanço hídrico positivo (MIRANDA et al., 2001).

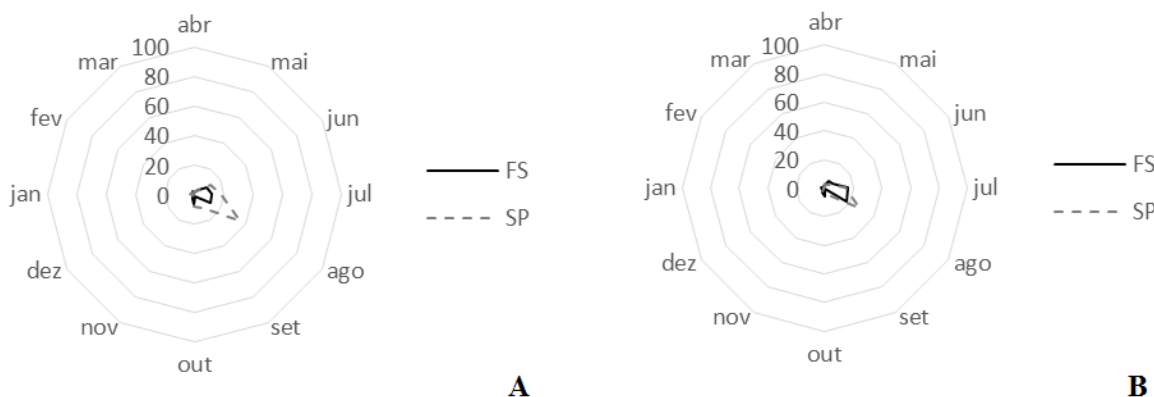


Figura 17. Padrão fenológico de desfolhamento de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.

A emissão de botões florais ocorreu apenas no segundo semestre de 2013 e início de 2014 (Figura 19). Na área sob sistema silvipastoril, a produção ocorreu no período de outubro a janeiro, com maior intensidade no mês de novembro, com 24,8% entre os indivíduos masculinos e 22,5 entre os indivíduos femininos. Na área de sucessão secundária a fenofase ocorreu de outubro a novembro, com (17,1% e 21,7%, respectivamente), para os indivíduos masculinos e (13,9% e 18,8%, respectivamente), para os indivíduos femininos.

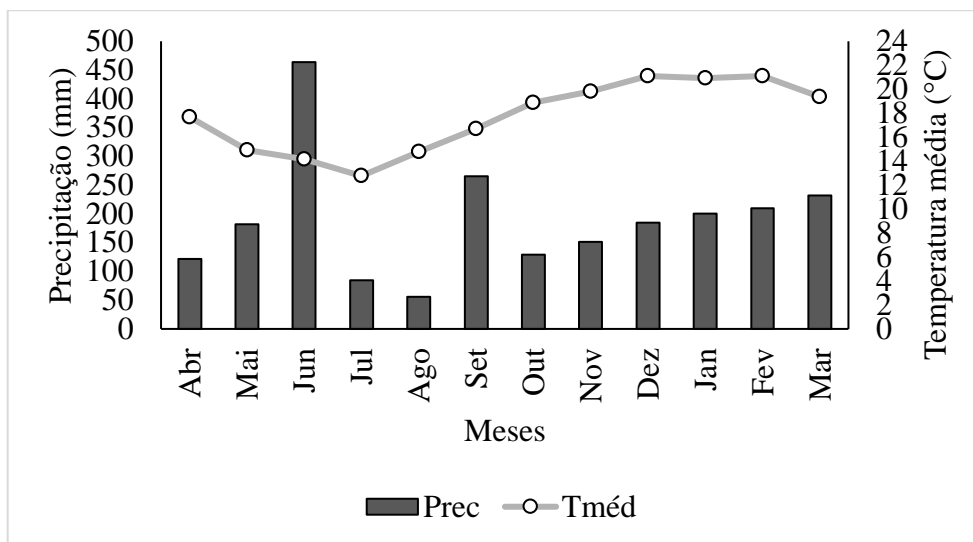


Figura 18. Valores médios mensais das variáveis climáticas de temperatura média (°C) e precipitação (mm) correspondente ao período do estudo (2013 a 2014). Dados obtidos na estação meteorológica da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus CEDETEG.

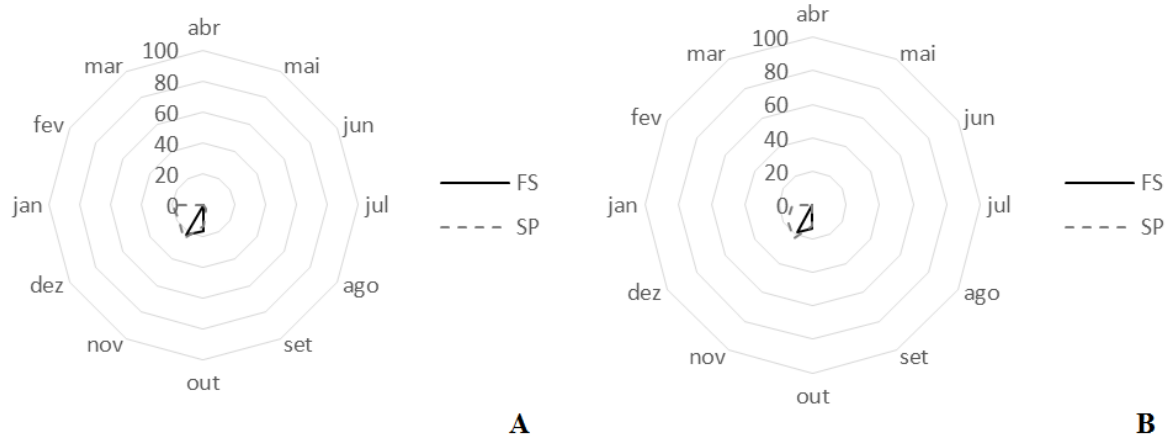


Figura 19. Padrão fenológico de botões florais de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.

No que se refere à abertura das flores, verificou-se que o padrão foi o mesmo dos botões florais, sugerindo a inclusão no grupo contínuo (NEWSTROM et al., 1994) (Figura 20. **Padrão fenológico da floração de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.**). Além disso, conforme análise do padrão de floração, a espécie é classificada como anual, pois o evento ocorre em um único período do ano.

Destaca-se maior intensidade no mês de dezembro na área silvipastoril, com 55,4% e 46,1%, para os indivíduos masculinos e femininos, respectivamente. Na área em sucessão secundária, a maior intensidade foi no mês de novembro, com 16,2% e 8,3%, para os indivíduos masculinos e femininos, respectivamente (Figura 20).

Diante disso, apesar da semelhança entre os padrões de floração, verifica-se que o sistema silvipastoril apresentou intensidade de floração bem superior à área em processo de sucessão secundária, demonstrando assim, a importância desse sistema de manejo na conservação da espécie. Além disso, a presença de polinizadores, possivelmente, pode ter sido mais restrita na área de sucessão secundária, devido à elevada densidade de indivíduos.

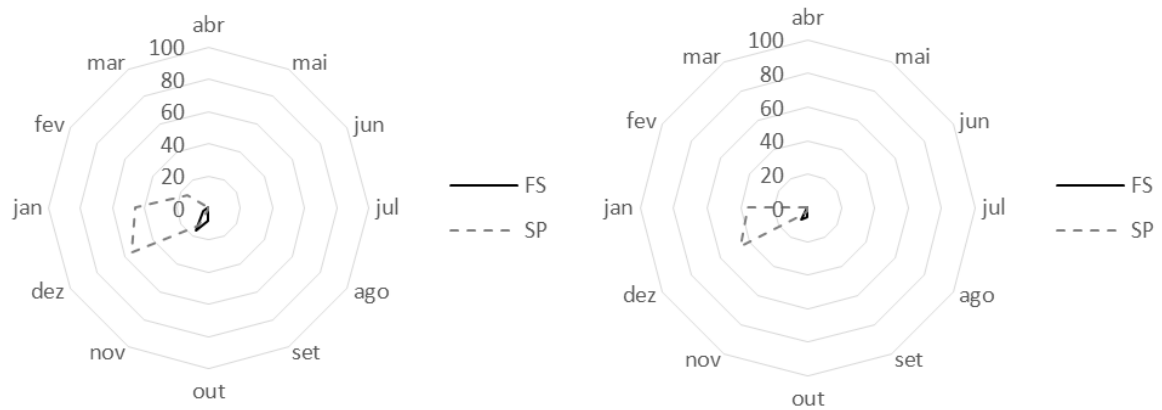
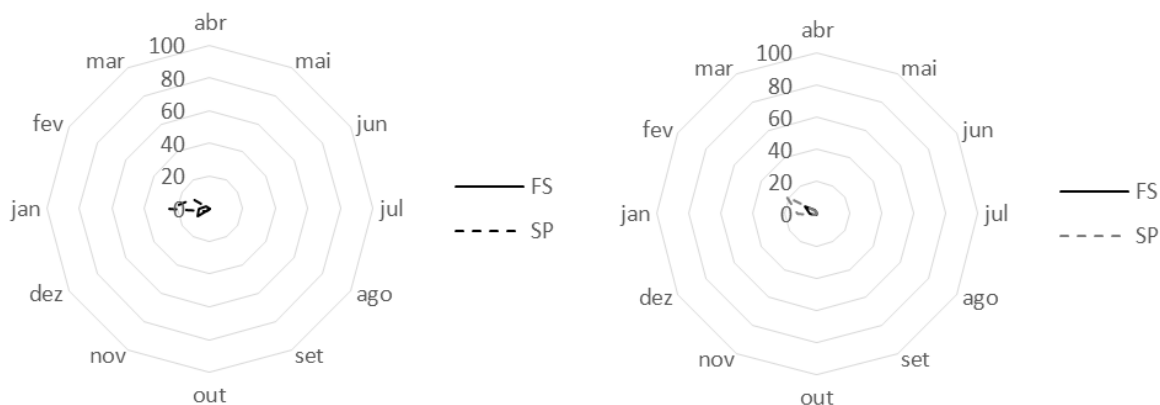


Figura 20. Padrão fenológico da floração de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) indivíduos masculinos e (B) indivíduos femininos.

A produção de frutos imaturos ocorreu no verão, entre os meses de dezembro e fevereiro, porém, com baixa intensidade, com destaque para os meses de janeiro (25,1%) e janeiro (12,6%) na área sob sistema silvipastoril e dezembro (8,7%) e janeiro (6,9%) na área de floresta secundária (Figura 21A).

Já os frutos maduros, ocorreram concomitantemente à produção de frutos imaturos nas áreas sob sistema silvipastoril e na floresta secundária, se estendendo até o mês de fevereiro, com picos de intensidade de 12,2% e 4,3%, respectivamente, no mês de janeiro e 22% e 8,5%, respectivamente, no mês de fevereiro (Figura 21B).



A

B

Figura 21. Padrão fenológico de frutificação de *Ilex paraguariensis* nas áreas sob sistema silvipastoril e em processo de sucessão secundária, em Turvo, PR. (A) frutos imaturos e (B) frutos maduros.

A frutificação e a queda de folhas nas árvores femininas não apresentaram diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade de confiança (p -valor = 0,1557 e 0,3102, respectivamente). Todas as demais variáveis analisadas apresentaram diferenças significativas, indicando que o regime de manejo altera a intensidade de fase nos indivíduos, na população e também a época de ocorrência da fenofase.

É possível perceber claramente as diferenças entre os regimes de manejo. As variáveis mais importantes para a produção comercial, enfolhamento e desfolhamento indicam que o manejo utilizado no sistema silvipastoril propicia incremento no volume foliar. Enquanto o brotamento de folhas demonstra intensidade 2,5 vezes maior no sistema silvipastoril, em comparação a sucessão secundária, a queda de folhas é, no máximo, 30% maior no mesmo sistema. Além disso, o brotamento de folhas no sistema silvipastoril acontece em período maior (1 mês a mais), o que provoca efeito cumulativo na produção de biomassa.

Os eventos reprodutivos, que dizem respeito a produção de sementes e a conservação da variabilidade genética da espécie, no sistema silvipastoril também apresentam maiores intensidades em todas elas. Entretanto, apresenta período de ocorrência reduzido na frutificação.

Os dados climáticos registrados durante o período estudado apresentaram correlações significativas com algumas das fenofases registradas (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3. Valores das correlações de Spearman (r_s) entre as fenofases vegetativas de *Ilex paraguariensis* e as variáveis climatológicas para os anos de 2013 e 2014 na sucessão secundária (f = fêmeas, m = machos).

	Evaporação	Insolação	Precipitação	Umidade Relativa	Temperatura máxima	Temperatura média	Temperatura mínima
Ausência de fase (f)	-0,20	0,31	-0,32	0,14	-0,44	-0,47	-0,46
Brotamento de folhas (f)	0,67	0,06	-0,20	-0,51	0,51	0,45	0,37
Queda de folhas (f)	0,12	0,48	-0,46	-0,27	-0,57	-0,69	-0,77
Botões florais (f)	0,65	0,15	-0,21	-0,45	0,32	0,27	0,21
Floração (f)	0,63	0,15	-0,21	-0,43	0,32	0,27	0,22
Frutos imaturos (f)	0,10	-0,23	0,02	-0,01	0,58	0,61	0,60
Frutificação (f)	-0,06	0,11	0,11	0,11	0,55	0,59	0,62
Ausência de fase (m)	-0,17	0,37	-0,32	0,10	-0,37	-0,40	-0,40
Brotamento de folhas (m)	0,65	-0,04	-0,17	-0,46	0,57	0,54	0,47
Queda de folhas (m)	-0,03	0,24	-0,12	-0,09	-0,70	-0,77	-0,80
Botões florais (m)	0,65	0,15	-0,21	-0,46	0,32	0,27	0,21
Floração (m)	0,62	0,03	-0,20	-0,39	0,38	0,35	0,31

Tabela 4. Matriz de correlação entre as fases fenológicas e variáveis climáticas para os anos de 2013 e 2014, para o sistema silvipastoril (f = fêmeas, m = machos).

	Evaporação	Insolação	Precipitação	Umidade Relativa	Temperatura máxima	Temperatura média	Temperatura mínima
Ausência de fase (f)	0,36	0,48	-0,40	-0,54	-0,18	-0,31	-0,43
Brotamento de folhas (f)	0,67	0,18	-0,20	-0,62	0,23	0,13	0,02
Queda de folhas (f)	0,25	0,56	-0,45	-0,46	-0,49	-0,63	-0,73
Botões florais (f)	0,60	-0,08	-0,17	-0,36	0,61	0,60	0,55
Floração (f)	0,16	-0,24	-0,01	-0,05	0,52	0,55	0,54
Frutos imaturos (f)	0,08	0,25	0,06	-0,03	0,53	0,53	0,51
Frutificação (f)	0,00	0,17	0,08	0,06	0,54	0,56	0,57
Ausência de fase (m)	0,39	0,52	-0,37	-0,57	-0,14	-0,27	-0,39
Brotamento de folhas (m)	0,65	0,13	-0,15	-0,57	0,26	0,18	0,08
Queda de folhas (m)	0,23	0,48	-0,25	-0,42	-0,53	-0,65	-0,75
Botões florais (m)	0,59	-0,01	-0,13	-0,37	0,64	0,62	0,57
Floração (m)	0,19	-0,20	0,00	-0,05	0,63	0,66	0,65

Nas duas áreas de estudo verifica-se que a única correlação com o clima é a queda de folhas, a qual mostra-se inversamente correlacionada com a temperatura mínima (Tabela 3 e Tabela 4). É possível inferir que o evento de queda de folhas é controlado pela perda de atividade metabólica e pela ocorrência de geadas. Portanto, as diferenças no comportamento fenológico entre as duas áreas deve ser controlado, muito provavelmente e com maior efeito, pelas diferenças no microclima gerado pelas diferenças de manejo.

Estes resultados vêm ao encontro às conclusões de Zerbielli (2017), que encontrou correlação significativa entre a produção e a luminosidade incidente sobre as árvores de erva-mate. O mesmo autor encontrou correlação também entre a luminosidade e a área foliar, indicando que variações na incidência de luz podem alterar a anatomia foliar da espécie.

No caso da fenologia, estudos comparativos da influência do clima podem indicar a resposta de diferentes espécies de plantas às mudanças climáticas globais, como é o caso do trabalho de Guerin et al. (2018), que sugere inclusive, alterações na seleção de genes funcionais provocadas por mudanças climáticas.

Fitchett et al. (2015), em estudo sobre a fenologia de plantas e mudanças climáticas, afirmam que a resposta à diferentes condições ambientais são específicas da localização e da espécie. A extensão dos efeitos da variabilidade do clima nas plantas depende de sua capacidade intrínseca de adaptação, o que determina seu potencial de estabilidade ecológica. Ademais, com as respostas às mudanças ambientais, as espécies ou indivíduos estão sujeitos à seleção natural, dessa maneira respondendo diferentemente a um mesmo estímulo (CHAPMAN et al., 2005).

Para a população objeto deste trabalho, é evidente que o manejo realizado no sistema silvipastoril, que diminui a competição e propicia maior incidência de radiação solar para as plantas provoca incremento na brotação de folhas e, provavelmente, na produção de biomassa foliar.

Não foi possível verificar neste trabalho se a aceleração da atividade metabólica nas plantas provoca algum tipo de estresse, e se haverá consequências na longevidade dos indivíduos e na sustentabilidade da produção no longo prazo.

É possível concluir que o manejo altera o comportamento fenológico da espécie, provocando o aumento na intensidade das fases avaliadas e no período de ocorrência das mesmas, em comparação com a sucessão secundária.

6.6.Referências Bibliográficas

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n.6. 2013, p. 711–728.

EMBRAPA. Cultivo da erva-mate. **Sistemas de produção**, v.1. Colombo: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, 2005.

FITCHETT, J.M.; GRAB, S.W.; THOMPSON, D.I. Plant Phenology and Climate Change: Progress in Methodological Approaches and Application. **Progress in Physical Geography**. v.39(4). p.460-482. 2015.

GUERIN, G.R.; CHRISTMAS, M.J.; SPARROW, B.; LOWE, A.J. Projected Climate Change Implications for the South Australian Flora. **Swainsona**. n.30, p.25-31. 2018.

R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2016.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 49 p.

PARANÁ. Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**, Curitiba, 1987. 73p.

RAKOCEVIC, MIROSLAVA, M.J.S. MEDRADO, F. LUCAMBIO, AND T.A. VALDUGA. 2006. Caracterização De Crescimento Do Caule Da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Cultivada Em Dois Ambientes Luminosos Contrastantes. In: Congresso Sudamericano de la Yerba Mate, 4; Reunion Técnica de la Yerba Mate, 4; Exposición de Agronegocios de la Yerba Mate, 2. 2006, Posadas. **Anais**. Posadas: INTA, 2006. P.244-249.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M.J.S.; TAKAKI, M. Aspectos Fotomorfogenéticos de Plantas Jovens de Erva-Mate. In: 3º Congresso Sul-Americano da Erva-Mate. **Anais**. Chapecó, v.5, n.15, p.1-8. 2003.

SANSBERRO, P.A.; MROGINSKI, L.A; MASCIARELLI, O.A.; BOTTINI, R. Shoot Growth in *Ilex paraguariensis* Plants Grown Under Varying Photosynthetically Active Radiation is Affected Through Gibberellin Levels. In: **Plant Growth Regulation**,v.38.p. 231-236, 2002.

SFAIR, J.C. **Estatística Circular: Principais Análises Utilizando o R**. 2º ed. 2014. 33p. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/272175040_Segunda_versao_do_tutorial_de_estatistica_circular_no_R> Acesso em: 04/10/2018.

WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2009.

ZAR, J.H. **Biostatisticalanalysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 663 p.

ZERBIELLI, L.C. Produtividade, Luminosidade, Composição Química e Qualidade da Erva-Mate. **Dissertação** (Mestrado em agronomia – produção vegetal). Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Guarapuava. 2017. 58p.

7. CAPÍTULO 3: INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS NA PRODUTIVIDADE DE *Ilex Paraguariensis* A. St. Hill.

7.1. Resumo

Francisco Alberto Putini. Influência de fatores abióticos na produtividade de *Ilex paraguariensis* A.St.Hil.

Uma área de 1,8 hectares, manejada em sistema silvipastoril em consórcio de ovinos com erva-mate foi dividida em 45 unidades amostrais de 400m² cada. Destas, 23 foram selecionadas para avaliação da produtividade de biomassa foliar e incremento em área basal. Nestas unidades também foi realizado coleta de solos para análise química e utilização de imageador para determinação do índice de área foliar do dossel e radiação fotossinteticamente ativa incidente. Os resultados foram submetidos a análise pela matriz de correlação e análise de componentes principais com o objetivo de conhecer qual o efeito destas variáveis ambientais sobre a produtividade de *Ilex paraguariensis*. Os resultados da matriz de correlação demonstram que o incremento em área basal não possui correlação significativa com nenhuma das variáveis analisadas. O peso foliar apresenta correlação negativa com o percentual de alumínio no solo em relação a CTC efetiva (M%). A análise de componentes principais indica que tanto o peso foliar como o incremento em área basal são limitados pelo teor de alumínio no solo.

Palavras chave: correlação, análise de componentes principais, biomassa comercial, manejo florestal.

7.2. Abstract

Francisco Alberto Putini. Influence of abiotic factors on the productivity of *Ilex paraguariensis* A.St.Hil.

An area of 1.8 hectares, managed in a silvopastoral system in a consortium of sheep with mate, was divided into 45 sample units of 400m² each. Of these, 23 were selected for evaluation of leaf biomass productivity and increment in basal area. In these units also was collected soil for chemical analysis and use of an imageador to determine the leaf area index of the canopy and photosynthetically active incident radiation. The results were submitted to analysis by correlation matrix and main components analysis in order to know the effect of these environmental variables on the productivity of *Ilex paraguariensis*. The results of the correlation matrix show that the increase in basal area has no significant correlation with any of the analyzed variables. The leaf weight had negative correlation with the percentage of aluminum in the soil in relation to the effective CTC (M%). Principal component analysis indicates that both leaf weight and basal area increment are limited by the amount of aluminum in the soil.

Keywords: correlation, principal components analysis, commercial biomass, forest management.

7.3.Introdução

O desenvolvimento de espécies arbóreas é dirigido pelo seu patrimônio genético e sofre influência das características da espécie e sua alteração com o ambiente (LAMPRECHT, 1990). Essas interações são analisadas pela dendroecologia com o objetivo de esclarecer as relações entre a comunidade e o ambiente, qualitativa e quantitativamente (SCHWEINGRUBER, 1996).

As variáveis ambientais que podem influenciar o crescimento de árvores são aquelas que compõem o clima, o solo, a geomorfologia, a competição entre espécies e a predação por herbívoros. Neste sentido muitos trabalhos tem sido desenvolvidos para determinar o efeito das variáveis ambientais no crescimento de árvores individuais e florestas, com destaque para as variáveis meteorológicas (MUNARETO, 2007; NUTTO E WATZLAWICK, 2002; MARIA, 2002; FERREIRA, 2002; SPATHELF ET AL., 2000; KANIESKI ET AL., 2012).

Em sua região de ocorrência, *I. paraguariensis* está associada à ocorrência de solos profundos, férteis, ácidos, com boa drenagem e alto teor de matéria orgânica. Com base na produtividade da cultura e nas características de solos em que ela se encontra, é possível deduzir que a espécie seja exigente em relação a disponibilidade de nitrogênio, potássio, ferro e fósforo (PRAT KRIKUN, 1985; ARANDA, 1986; MAYOL, 1993).

Só mais recentemente os pesquisadores têm conseguido demonstrar a resposta direta da produtividade da erva-mate, em relação a variação de características ambientais. Principalmente a relação entre o crescimento e a disponibilidade de nutrientes no solo (SANTIN et al., 2007; POLETTO, 2011; SANTIN, 2013) e a luminosidade incidente sobre as plantas (ZERBIELLI, 2017; MAZUCHOWSKI, et al. 2017).

Entretanto, são poucos os trabalhos que buscam conhecer a influência de um grande número de variáveis ambientais e de que forma estas atuam sobre a produtividade florestal, como o caso do modelo determinista 3PG – *Physiological Principles in Predicting Growth* (LANDSBERG e WARING, 1997). Trabalhos desta natureza devem abranger grandes áreas, com ambientes heterogêneos e por longo prazo.

Para este estudo, a biomassa comercial de erva-mate será considerada como a parte aérea da árvore formada por folhas e ramos de até 1 cm de diâmetro. A estimativa da produção é uma importante ferramenta de manejo, pois possibilita a previsão e a tomada de

decisões de modo a maximizar a produção e aumentar a eficiência do trabalho (FLEIG, 2002). O mesmo autor concluiu que há correlação positiva entre o diâmetro de copa e altura total em plantas de erva-mate com a produção de biomassa, e que a altura ideal para a leitura do diâmetro é a 0,6 cm do solo.

Berger (2006) encontrou a área de copa e o diâmetro do tronco como variáveis ideais para mensurar a biomassa da colheita de erva-mate plantada, com 10 e 12 anos de idade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de variáveis ambientais sobre a produtividade de *I. paraguariensis* e conhecer os fatores ambientais limitantes à produção em um sistema extrativista tradicional.

7.4. Material e Métodos

Foram instaladas 45 unidades amostrais na área de estudos descrita no capítulo 1, para mensuração das variáveis dendrométricas e produtividade. Para o levantamento de solos e obtenção das variáveis relacionadas ao dossel e luminosidade incidente foram selecionadas as unidades ímpares (Figura 22).

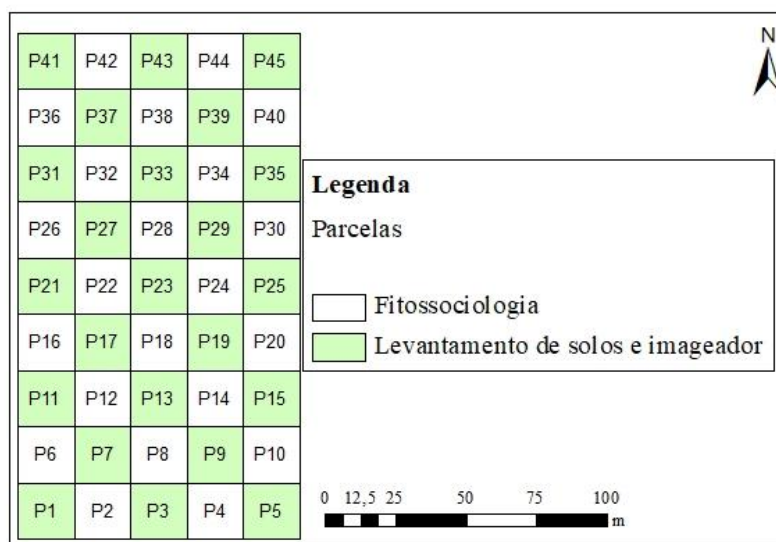


Figura 22: Croqui de localização das unidades amostrais com levantamento de solos e dossel, utilizadas para correlação destas variáveis com a produtividade.

Nestas unidades obteve-se o DAP de todas as plantas nos anos de 2012 e 2015. A área basal foi calculada para cada parcela. O incremento em área basal foi calculado como a diferença entre os anos de medição.

O delineamento experimental foi planejado em blocos casualizados com dois tratamentos (manejo) e 23 unidades amostrais. Para a quantificação da produção foram pesadas todas as folhas colhidas em cada uma das unidades amostrais (SILVA e SILVA, 1999). A quantificação da produção de folhas foi realizada no momento da exploração para comercialização obedecendo aos critérios da indústria e o material colhido de cada unidade amostral foi pesado individualmente. As informações de produtividade foram obtidas no momento da colheita para comercialização, em janeiro de 2016. A colheita foi realizada pelos funcionários da empresa compradora, de forma manual com uso de facão, acondicionada em sacos de ráfia e pesados em balança portátil para pesagem agrícola. O peso anotado para cada unidade amostral. De forma complementar, o incremento em área basal no período de 2012 a 2015 foi realizado como forma de mensurar a produtividade.

O levantamento de solos foi realizado em 2013, e abrangeu os horizontes A e B. As amostras de solo foram coletadas em três pontos dentro de cada unidade amostral nos horizontes A e B. Para o pH foi utilizado uma amostra de cada horizonte, para as demais variáveis as amostras foram homogeneizadas com o objetivo de se obter um valor para cada unidade amostral. As variáveis analisadas no levantamento de solos foram pH, alumínio (Al), potássio (K), fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), alumínio e hidrogênio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (SB), porcentagem de saturação de bases (V%) e porcentagem de saturação de alumínio (M%).

Para obtenção do índice de área foliar do dossel e radiação fotossinteticamente ativa incidente foi utilizado o imageador *Digital Plant Canopy Imager CI-110*, instalado sobre tripé com nível de bolha a 1,3 m de altura do solo, no centro de cada unidade amostral.

Os resultados foram submetidos a análise pela matriz de correlação e posteriormente a análise dos componentes principais, no programa computacional R (R CORE TEAM, 2016) com utilização dos pacotes *ade4* (DRAY e DUFOUR, 2007), *devtools* (WICKHAM e CHANG, 2016) e *factoextra* (KASSAMBARA e MUNDT, 2016).

A matriz de correlação usou o coeficiente de Spearman, porque as variáveis utilizadas apresentam resultados contínuos. O gráfico da matriz de correlação foi construído com a utilização do pacote ggcorrplot (KASSAMBARA, 2018) e ggplot2 (WICKHAM, 2016).

7.5. Resultados e Discussão

Os valores encontrados para peso foliar e incremento em área basal estão apresentados na Tabela 5. Os resultados da análise de solo (Quadro 1) e do imageador (Quadro 2) são apresentados nos anexos.

Tabela 5. Produtividade de biomassa comercial e incremento em área basal obtidas no sistema silvipastoril, por unidade amostral (N = número de plantas; IBA = incremento em área basal).

Unidade Amostral	Unidade Amostral			hectare		
	N	Peso Foliar (kg)	IBA (m ²)	N	Peso Foliar (kg)	IBA (m ²)
1	12	234,39	0,0059	300	5859,87	0,1470
3	5	139,81	-0,0053	125	3495,31	-0,1332
5	2	56,41	0,0005	50	1410,19	0,0134
7	6	126,31	-0,0008	150	3157,69	-0,0206
9	4	59,84	0,0022	100	1495,95	0,0551
11	10	220,38	0,0006	250	5509,50	0,0151
13	9	344,12	0,0040	225	8603,02	0,0995
15	11	237,75	0,0101	275	5943,63	0,2529
17	5	133,88	0,0072	125	3346,94	0,1790
19	16	352,90	0,0070	400	8822,51	0,1751
21	9	189,49	0,0038	225	4737,31	0,0941
23	11	255,86	0,0048	275	6396,38	0,1192
25	7	369,73	-0,0311	175	9243,34	-0,7783
27	12	334,56	0,0151	300	8364,02	0,3767
29	16	457,27	0,0311	400	11431,67	0,7787
31	3	73,18	0,0008	75	1829,60	0,0209
33	14	386,41	0,0213	350	9660,32	0,5333
35	3	409,35	0,0092	75	10233,80	0,2291
37	11	332,05	0,0001	275	8301,14	0,0031
39	9	271,33	0,0037	225	6783,13	0,0924
41	16	446,61	0,0102	400	11165,29	0,2547
43	5	104,74	0,0025	125	2618,49	0,0621
45	8	223,64	0,0068	200	5590,89	0,1692
Média	9	250,43	0,0048	222	6260,87	0,1191
Desvio Padrão	9	125,47	0,0047	218	6278,30	0,1179

A matriz de correlação (Figura 23) não apresentou nenhum resultado significativo na análise entre as variáveis abióticas e o incremento em área basal. Na comparação com o peso foliar, este apresentou correlação inversa com o percentual de saturação de alumínio. Este resultado indica que, embora *I. paraguariensis* seja considerada tolerante à altos teores de alumínio (TATSCH, GONÇALVES e MEURER, 2010), este elemento tem papel limitante na produção de folhas.

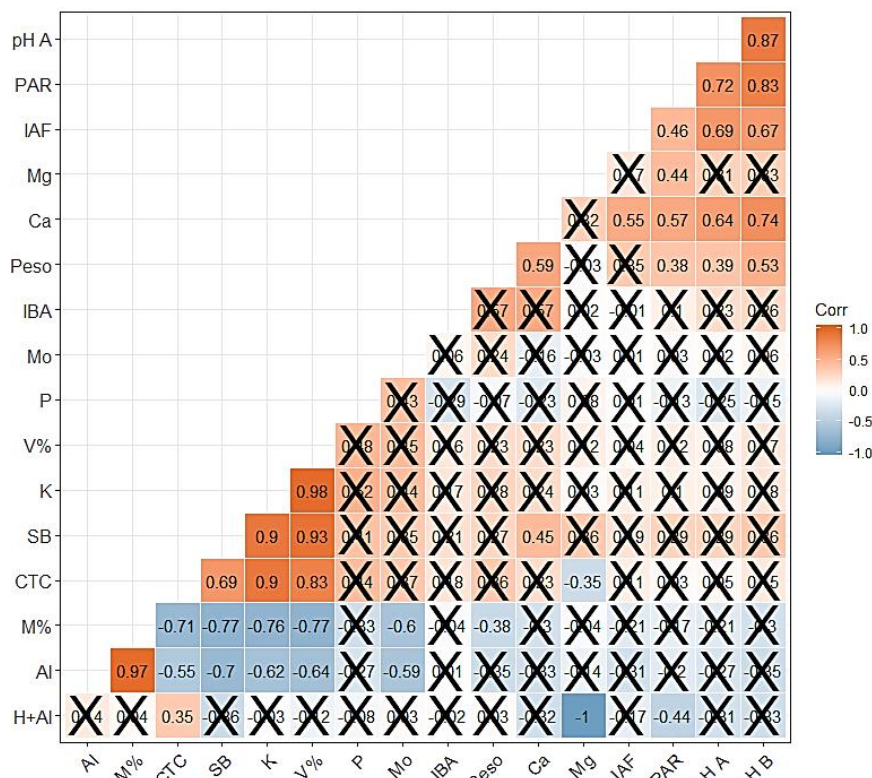


Figura 23: Matriz de correlação de Spearman para variáveis ambientais. Valores mensurados para cada unidade amostral. (pH A = pH no horizonte A; pH B = pH no horizonte B; IAF = índice de área foliar; PAR = radiação fotossinteticamente ativa; Ca = cálcio; Peso = peso de biomassa área colhida; IBA = incremento em área basal; Mg = magnésio; V% = saturação de bases; K = potássio; CTC = capacidade de troca catiônica; SB = soma de bases; P = fósforo; Mo = matéria orgânica; M% = saturação de alumínio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial).

Ao contrário do encontrado por Zerbielli (2017), neste trabalho as variáveis relacionadas a incidência de luminosidade não apresentam correlação significativa com a produção. Isto pode ter acontecido em função do método de medição (imageador vs

luxímetro) ou ainda de um ambiente mais homogêneo no caso do presente trabalho.

Com o objetivo de encontrar as variáveis ambientais que possam explicar a diferença de produtividade entre as unidades amostrais, foi realizada a análise de componentes principais, com a utilização das variáveis relacionadas a produção, a cobertura do dossel e as características edáficas. Os autovalores e variâncias encontrados na análise são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados obtidos na análise de componentes principais.

Componente	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
1	6,2491219	36,75954	36,75954
2	4,0806955	24,004091	60,76363
3	2,1374607	12,573298	73,33693
4	1,1973860	7,043447	80,38038
5	1,0382637	6,103666	86,48781
6	0,6976232	4,103666	90,59148

Na análise dos componentes principais foi utilizado o critério de Kaiser para seleção dos componentes (autovalor maior que 1). Neste caso, foram selecionados os 5 primeiros componentes, que respondem por 86% da variância dos dados (Figura 24).

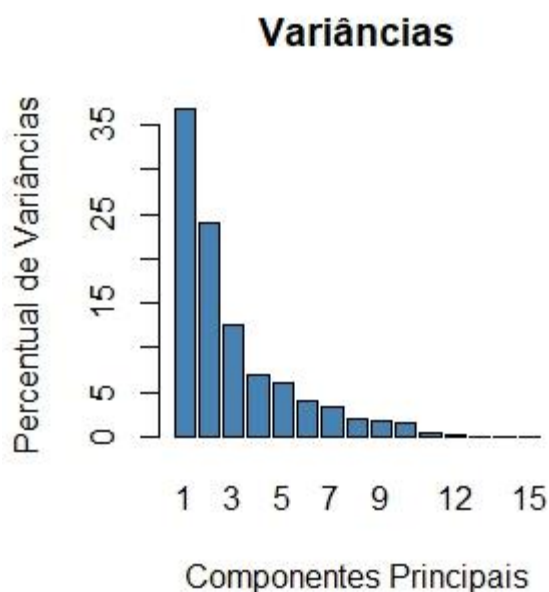


Figura 24. Variâncias associadas às componentes principais.

Posteriormente, foram avaliados os pesos de cada variável nas componentes principais, com o objetivo de avaliar quais são mais importantes em cada uma das unidades amostrais.

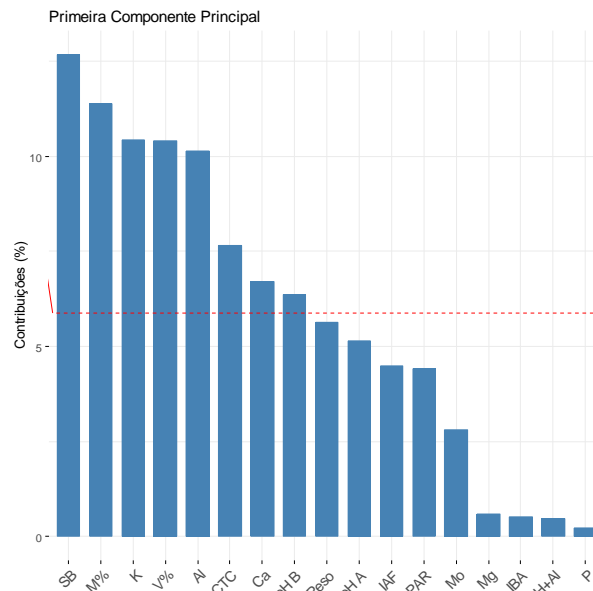


Figura 25: Contribuição percentual das variáveis na primeira componente. A linha vermelha corresponde a 70% da contribuição percentual acumulada.

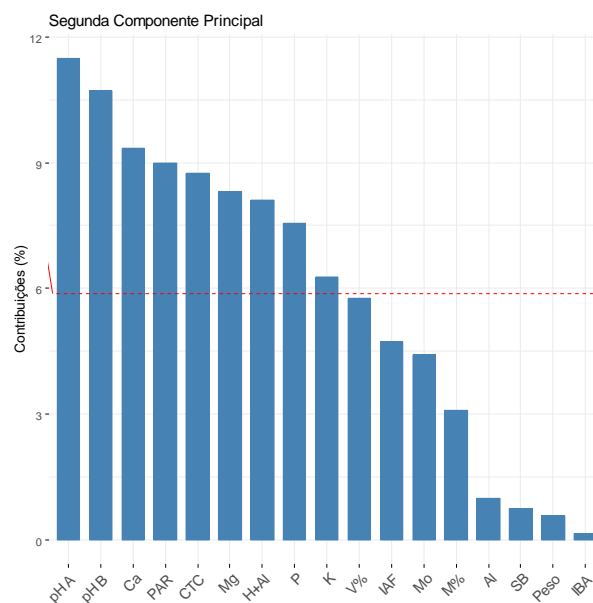


Figura 26: Contribuição percentual das variáveis na segunda componente. A linha vermelha corresponde a 70% da contribuição percentual acumulada.

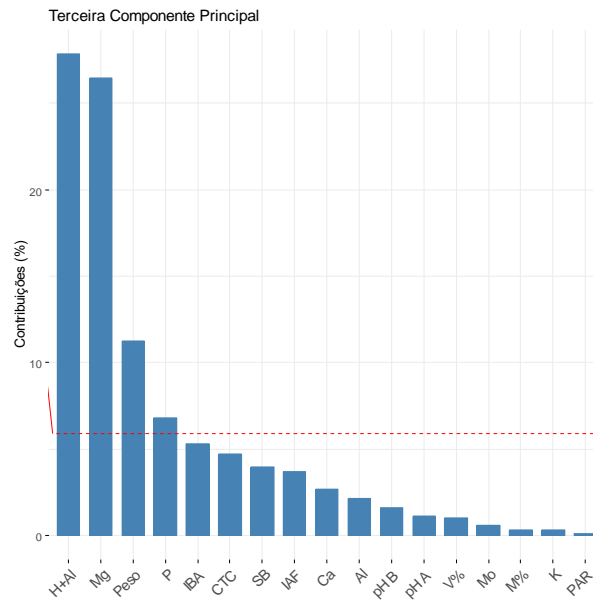


Figura 27: Contribuição percentual das variáveis na terceira componente. A linha vermelha corresponde a 70% da variância acumulada.

Verificando as variáveis com maior peso nas três primeiras componentes principais, foi possível observar que a maioria deles se repetem (Figura 25, Figura 26 e Figura 27). Como as variáveis alvo neste estudo são aquelas relacionadas a produtividade (peso foliar e incremento em área basal), e considerando que o IBA não demonstrou nenhum valor significativo na matriz de correlação, optou-se por demonstrar graficamente a relação entre o peso e as demais variáveis, de forma pareada, entre as componentes principais 1 e 3 (Figura 28) e componentes 2 e 3 (Figura 29).

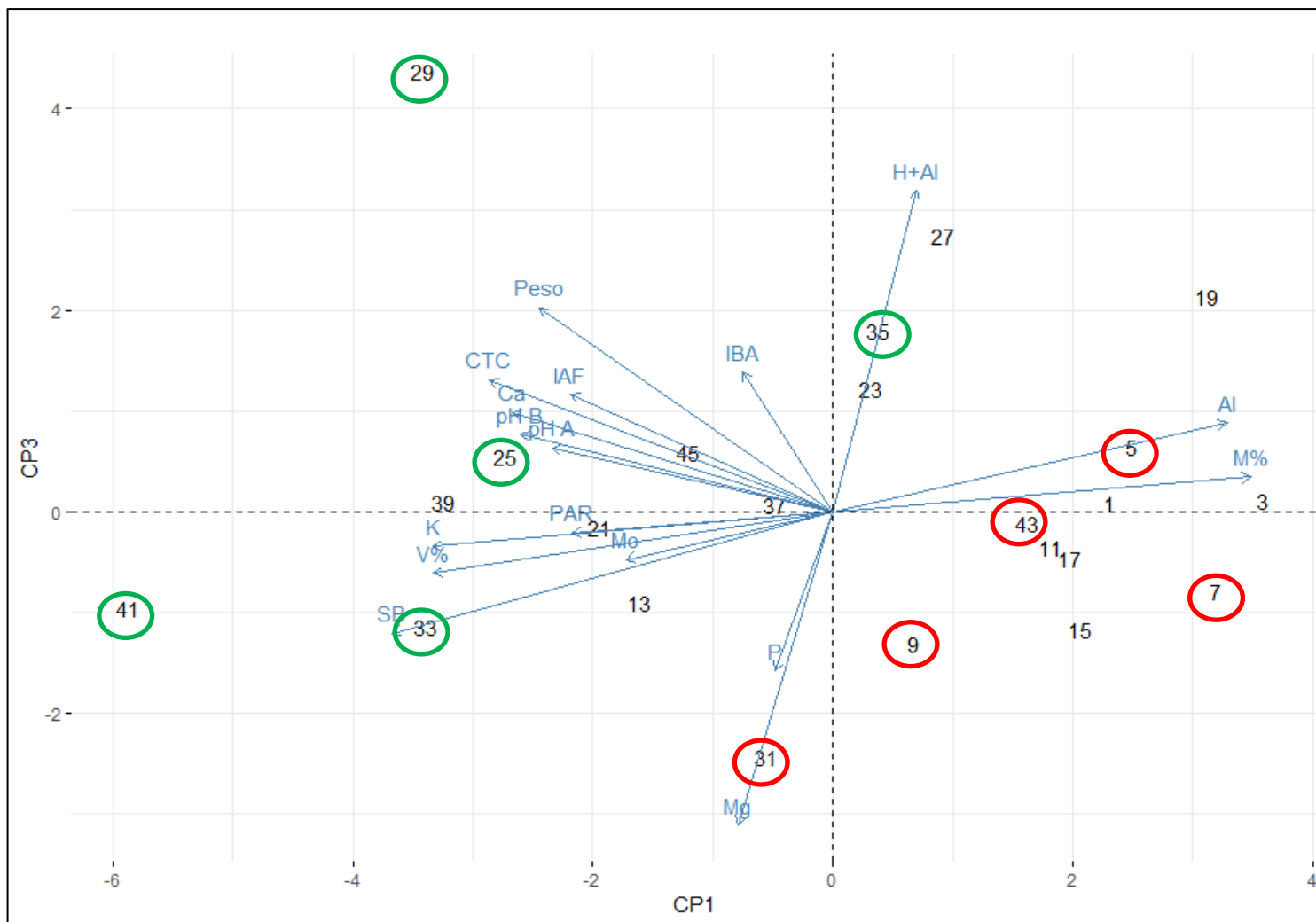


Figura 28. Contribuição das variáveis nas componentes principais 1 e 3. Em verde estão destacadas as unidades amostrais com maior peso foliar e em vermelho aquelas com menor peso.

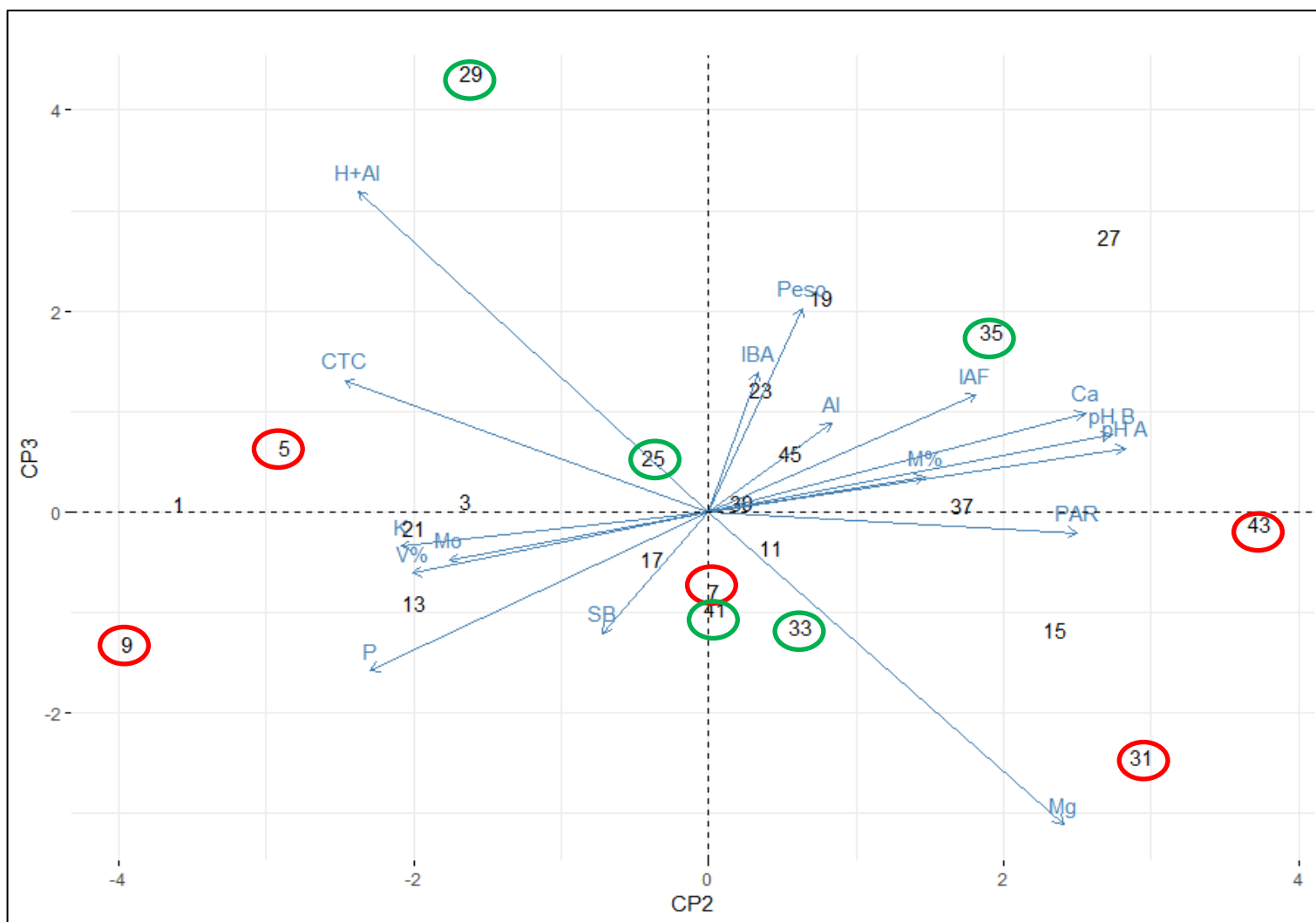


Figura 29. Contribuição das variáveis nas componentes principais 2 e 3. Em verde estão destacadas as unidades amostrais com maior peso foliar e em vermelho aquelas com menor peso.

Graficamente, a Figura 28 apresenta um melhor agrupamento das unidades amostrais, em comparação com a Figura 29, bem como evidência a relação inversa entre o peso foliar e a concentração de alumínio no solo.

Estes resultados concordam com o trabalho de Sosa (1994), que relacionou níveis altos de produtividades a valores elevados de potássio e cálcio no solo, e teores menores de alumínio.

Zampier (2001) comparou o desenvolvimento de mudas de *I. paraguariensis* e encontrou maior produção de biomassa seca em tratamentos com maior quantidade de matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio. Por sua vez, a maior média em crescimento de altura e diâmetro foi encontrada em tratamento com teores mais altos de ferro, manganês e cobre. Este resultado pode ajudar a explicar a ausência de correlação entre o peso foliar e o incremento em área basal neste trabalho. Da mesma forma, estas duas variáveis de produção não se relacionam diretamente com as mesmas variáveis ambientais.

Entretanto, como demonstra a Figura 28, tanto a produção de biomassa como o incremento em área basal tem relação próxima com a fertilidade do solo e a luminosidade. Os vetores Peso, IBA, CTC, V%, MO, PAR e IAF apresentam-se próximos na visualização das componentes 1 e 3.

O efeito da concentração de alumínio em solos ácidos sobre a produtividade vegetal é bem conhecido. Sendo a redução do crescimento radicial o efeito mais evidente, o que diminui também a capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta. Para corrigir o problema, a solução mais comum é a aplicação de calcário na camada arável do solo. Entretanto, esta solução não resolve a acidez na camada subsuperficial, que é onerosa aos produtores (MIGUEL et al, 2010). Uma alternativa pode ser a aplicação de gesso agrícola. Por ser mais solúvel que o calcário, o cálcio e sulfato presentes no gesso formam complexos químicos com o alumínio, tornando-o menos disponível para as plantas (ZANDONA et al, 2015).

É possível concluir que na área estudada, o teor de alumínio no solo limita a produção de biomassa foliar de *I. paraguariensis*.

7.6.Referências Bibliográficas

ARANDA, D. **Área de Distribución Natural de la Yerba Mate**. Cerro Azul: INTA: Estacion Experimental Agropecuaria Misiones, 1986. (Miscelanea, 14).

DRAY, S. AND DUFOUR, A.B. The Ade4 Package: Implementing The Duality Diagram For Ecologists. **Journal of Statistical Software**. 22(4). 2007. p.1-20.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.3. 2016.

KASSAMBARA, A. **Ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matriz using ‘ggplot2’**. R package version 0.1.2. 2018.

LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A Generalised Modelo f Forest Productivity Using Simplified Concepts of Radiation-Use Efficiency, Carbon Balance and Partitioning. **Forest Ecology and Management**, v.95, n.3, p.209-228. 1997,

MAYOL, R.M. **Fisiologia da Produção da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Piracicaba, 1993. 39f. Trabalho de Graduação (Monografia) – Setor de Fisiologia, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – ESALQ.

MAZUCHOWSKI, J.Z.; SILVA, E.T.; MACCARI JUNIOR, A. Efeito da Luminosidade e da Adição de Nitrogênio no Crescimento de Plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.4, p. 619-627.

MIGUEL, P.S.B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos Tóxicos do Alumínio no Crescimento das Plantas: Mecanismos de Tolerância, Sintomas, Efeitos Fisiológicos, Bioquímicos e Controles Genéticos. Juiz de Fora: **CES Revista**, v.24, 2010. 30p.

POLETTI, I.; MUNIZ, M.F.B.; CECONI, D.E.; BLUME, E. Influência da Aplicação de NPK e Calcário sobre o Crescimento da Erva-Mate, Severidade da Podridão-de-Raízes e População Fúngica do Solo. Santa Maria: **Ciência Florestal**,v.21, n.3, p.429-444. 2011.

PRAT KRIKUN, S.D. Investigación Agronómica en la República Argentina. In: Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais, 10, 1983. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFlorestas, 1985. p. 82-93.

R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2016.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BRONDANI, G.E.; REISSMANN, C.B.; ROVEDA, L.F.; WENDLING, I. Calagem no Crescimento de Mudanças de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Gramado, 2007.

SANTIN, D. Produtividade e Disponibilidade de Nutrientes Influenciadas pela Calagem, Adubação NPK e Intervalos de Colheita em Erva-Mate. **Tese** (Doutorado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 115 p.

SOSA, A.D. Fertilización Química, Abonos, Requerimientos Nutricionales. In: CURSO DE CAPACITACION EN PRODUCCIÓN DE YERBA MATE, 2, 1994. **Curso...** Cerro Azul: INTA, 1994. P. 68-90.

TATSCH, F.R.P.; GONÇALVES, V.C.; MEURER, E.J. Alumínio Total e Solúvel em Amostras de Erva-mate Comercializadas no Rio Grande do Sul. **Scientia Agraria**. V.11, n.1. p.83-86. 2010.

WICKHAM, H.; CHANG, W. **Devtools: Tools To Make Developing R Packages Easier**. R package version 1.12.0. 2016.

WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag, New York. 2016.

ZAMPIER, A.C. Avaliação dos Níveis de Nutrientes, Cafeína e Taninos Após Adubação Mineral e Orgânica, e sua Relação com a Produtividade na Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Dissertação (**Mestrado em Engenharia Florestal**). Curitiba: UFPR, 2001. 114p.

ZANDONA, R.R.; BEUTLHER, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e Calcário Aumentam a Produtividade e Amenizam o Efeito do Déficit Hídrico em Milho e Soja. Goiânia: **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137. 2015.

ZERBIELLI, L.C. Produtividade, Luminosidade, Composição Química e Qualidade da Erva-Mate. **Dissertação** (Mestrado em agronomia – produção vegetal). Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Guarapuava. 2017. 58p.

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o manejo para a exploração de erva-mate no sistema silvipastoril altera profundamente a estrutura da sinusia arbórea e prejudica a regeneração das espécies associadas. Este resultado indica que a exploração da espécie em ecossistemas nativos não deve ser considerada como estratégia complementar de conservação *in situ*. Entretanto, na região centro-sul do Paraná a erva-mate é explorada em pequenas propriedades rurais como fonte de renda complementar. Nestes casos a alteração dos ambientes realizada no sistema extrativista tradicional incrementa a produção, principalmente pelo aumento na densidade de indivíduos. A viabilidade econômica do extrativismo da erva-mate carece de pesquisa mais profunda.

O estudo da fenologia demonstra que no manejo silvipastoril as plantas têm metabolismo acelerado. O brotamento de folhas é incrementado tanto na sua intensidade quanto no período de ocorrência. A diminuição da concorrência pela eliminação de espécies arbóreas competidoras, e consequente abertura de espaços no dossel promovem melhor incidência de luz. Esse incremento de energia reflete-se no comportamento fenológico da espécie. Não é possível afirmar se este evento causa estresse nos indivíduos ou se propicia ambiente adequado ao desenvolvimento da espécie.

Quanto aos fatores abióticos, fica demonstrado que a concentração de alumínio no solo é fator limitante à produção de biomassa foliar. Aparentemente, a produtividade é consequência de um número maior de variáveis ambientais do que o abordado neste trabalho, bem como da interação entre elas. Recomenda-se pesquisa mais profunda sobre o controle do teor de alumínio disponível em solos florestais como forma de incrementar a produção de biomassa foliar de *I. paraguariensis*.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, L.F. **Fenologia de uma comunidade arbórea em Santa Maria, RS.** 2002. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**.v.22, n.6. 2013, p. 711–728.

AZZOLINI, M.; MACCARI JUNIOR, A. A erva-mate e seu uso medicinal. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 92-104.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Mata Atlântica: as árvores e a paisagem.** Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantio de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), no município de Nova Prata, RS.** Santa Maria: UFSM, 2006, 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BORCHERT, R. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O. F. Cook. **Ecology**, Washington, vol. 61, n. 5, p. 1065-1074. 1980.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

CUNHA, U. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus: Escola Agrotécnica Federal de Manaus, 2004. 61p.

DE PAULA, M. L.; CHOCIAI, J. G. Uso e aplicação industrial da erva-mate em cosméticos. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 77-91.

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. **Série EMBRAPA-SCLCS. Boletim de Pesquisa 27: IAPAR-Projeto Especial Levantamento de Solos. Boletim Técnico, 16**. 1984. 791 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353 p.

EMBRAPA. Cultivo da erva-mate. **Sistemas de produção**, v.1. Colombo: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, 2018. Sem paginação. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3601&p_r_p_-996514994_topicoId=2902>. Acesso em: 21 mar. 2018.

FLEIG, F. D. **Morfometria e quantificação da biomassa comercial e residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) em reflorestamentos**. Santa Maria: UFSM, 2002, 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

FORTIN, M.J. et al. Spatial analysis in ecology. In: ELSHAARAWI, A.H.; PIEGORSCH, W.W. (Eds.). **Encyclopedia of environmetrics**. Chichester: John Wiley and Sons, 2002. p. 2051–2058.

FOURNIER, L.A., e C. CHARPANTIER. “El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones em el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales.” **Turrialba**, v. 25, p. 45-48. 1975.

GREIG-SMITH, P. The Use of Random and Contiguous Quadrats in the Study of the Structure of Plant Communities. **Annals of Botany**.v.16 n.2. 1952, p.293–316.

GUTIÉRREZ, M.M. Fenologia: fundamentos y métodos. **Série documentación**. v. 18. 1990. p. 65-79.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J.A. Biomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. **Anais do Seminário Emissão e Seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Porto alegre. Rio de Janeiro: CVRD. 2004. p.125-153.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 49 p.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. **Série manuais técnicos em geociências**. n.1, 2° ed. Rio de Janeiro: Fundação instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE, Departamento de recursos naturais e estudos ambientais, 2012. 271 p.

IBGE. Mapa de Clima do Brasil. **Atlas Nacional do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Diretoria de Geociências (DCG) – Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (CREN).2017. Dados gráficos vetoriais. Disponível em: <
http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/metadata.show?id=19597&currTab=simple> Acesso em: 21 de março de 2018.

KOLLMANN, J. Dispersal of fleshy-fruited species: a matter of spatial scale? In: EDWARDS, P.J.; KUEFFER, C.; MATTHIES, D.; MOLONEY, K.A.; WIDMER, A. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, p. 29-51. 1999.

LIEBHOLD, A.M.; GUREVITCH, J. Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. **Ecography**, Copenhagen, v. 25, p. 553–557, 2002.

LIETH, H. **Phenology and seasonality modeling - Ecological studies**. v. 8. Berlin: Springer Verlag, 1974. 345 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4 ed., v. 1, Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

LUDWIG, J.A., REYNOLDS, J.F. **Statistical ecology**; a primer on methods and computing. New York: John Wiley & Sons, 1988. 337p.

MACCARI JUNIOR, A.; SANTOS, A. P. R. dos. O alimento erva-mate e a erva-mate em alimentos. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (Org.). **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate** (Série PADCT nº 1). Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-mate do Paraná – MCT/CNPq/Projeto PADCT Erva-mate, 2000, p. 43-68.

MARQUES, M.C.M.; ROPER, J.J.; SALVALAGGIO, A.P.B. Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. **Plant ecology**, Amsterdam, v. 173, p. 203-213. 2004.

MORELLATO, L.P.C.; RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.; JOLY, C.A. Estudo comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila semidecídua na serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 12, p. 85-98, 1989.

OKSANEN, J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. **Vegan: Community Ecology Package**. R PackageVersion 2.4.-0. 2016.

PARANÁ. Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**, Curitiba, 1987. 73p.

PAULA, A.; ALMEIDA FILHO, R.L.; ANJOS, P.; BARRETO, B. Distribuição Espacial de *Pseudopiptadenia Contorta* (DC .) G . P . Lewis & M . P . Lima (Fabaceae/Mimosoideae) em uma Floresta Estacional Decidual em Vitória da Conquista, BA, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v.13, n.1, 2015. p.49-53.

R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**.Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2016.

RICHARDS, P.W. **The tropical rain forest**.Cambridge: Cambridge university press, 1996. 575 p.

RUTTEN, G.; ENSSLIN, A.; HEMP, A.; FISCHER, M. Vertical and Horizontal Vegetation Structure across Natural and Modified Habitat Types at Mount Kilimanjaro. **PLoS ONE**.v.10, n.9, 2015. p. 1–15.

SANQUETA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; RODRIGUES, A.L.; WATZLAWICK, L.F. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3ed. Curitiba: Multi-Graphic. 2014. 406 p.

SILVA, I.P.; SILVA, J.A.A. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife: UFRPE, 1999. 305 p.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. UFPR, 2008, 112 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVERTOWN, J; CHARLESWORTH, H. **Introduction to plant population biology**. Londres: Blackwell Publishing, 2005. 347p.

TALORA, D.C.; MORELLATO, P.C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Revista brasileira de botânica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 13-26, 2000.

VAN SCHAIK, C.P.; TERBORGH, J.W.; WRIGHT, S.J. The phenology of tropical forests: adaptative significance and consequences for primary consumers. **Annual review of ecology and systematics**, v. 24, p. 353-377, 1993. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.es.24.110193.002033>>. Acesso em: 05 mai. 2011.

ZAR, J.H. **Biostatistic alanalysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 663 p.

10. ANEXOS

Quadro 1: Resultados da análise química de solos, por unidade amostral.

Unidade Amostral	pH A	pH B	Al	K cmol/cm ³	P mg/cm ³	Ca cmol/dcm ³	Mg cmol/dcm ³	MO (%)	H+Al	CTC pH 7.0	SB	V%	M%
1	4,31	4,35	7,43	5	1,17	10,78	21,44	6,50	10,80	48,02	37,21	11,08	15,47
3	4,43	4,46	6,15	2	0,45	10,88	21,52	6,38	10,56	44,95	34,40	5,17	13,68
5	4,44	4,48	7,41	5	0,81	11,08	21,32	6,13	11,18	48,57	37,39	10,96	15,26
7	4,43	4,66	8,06	3	1,38	11,15	22,22	6,19	8,68	45,06	36,37	7,40	17,89
9	4,48	4,53	6,98	6	3,04	11,10	21,60	6,38	10,32	49,02	38,70	12,91	14,24
11	4,57	4,61	7,33	3	1,38	11,20	22,39	6,31	8,30	44,88	36,59	7,43	16,33
13	4,62	4,69	6,6	7	1,31	11,08	22,26	6,56	8,59	48,92	40,34	14,99	13,49
15	4,7	4,61	7,72	3	0,66	11,65	23,29	5,88	6,44	44,38	37,94	7,55	17,39
17	4,7	4,64	7,69	4	1,09	11,20	22,18	6,31	8,79	46,17	37,38	9,39	16,66
19	4,62	4,65	7,76	2	0,45	11,33	21,44	6,07	10,80	45,57	34,76	5,11	17,03
21	4,72	4,6	6,21	7	1,38	11,43	21,85	6,38	9,63	49,91	40,28	14,69	12,44
23	4,73	4,69	6,91	4	0,66	11,53	21,77	6,25	9,85	47,15	37,29	9,19	14,66
25	4,82	4,86	6,01	6	1,45	11,55	21,60	6,38	10,32	49,47	39,15	12,80	12,15
27	4,82	4,92	7,63	2	0,66	11,73	21,56	6,25	10,44	45,72	35,29	5,10	16,69
29	4,78	4,83	6,55	7	0,74	11,75	20,74	6,50	13,13	52,62	39,49	13,92	12,45
31	4,82	4,85	6,09	3	0,74	11,53	23,62	6,50	5,88	44,02	38,15	7,61	13,83
33	4,75	4,78	5,49	6	1,31	11,75	23,13	6,38	6,75	47,62	40,88	13,33	11,53
35	4,77	4,76	7,36	3	0,74	11,60	21,89	6,25	9,52	46,01	36,49	7,25	16,00
37	4,77	4,78	7	4	1,02	11,55	22,43	6,25	8,20	46,18	37,98	9,40	15,16
39	4,8	4,86	5,9	7	0,88	11,63	22,22	6,13	8,68	49,53	40,85	14,82	11,91
41	4,77	4,87	4,87	8	0,88	11,80	22,92	6,62	7,14	49,87	42,72	16,74	9,77
43	4,87	4,82	8,4	3	0,38	11,50	22,71	6,01	7,57	44,78	37,21	7,46	18,76
45	4,59	4,75	6,97	6	0,74	11,83	22,06	5,88	9,09	48,97	39,88	12,94	14,23

Quadro 2: Resultados obtidos do imageador para a cobertura do dossel e luminosidade incidente.

Unidade Amostral	IAF	PAR
1	0,11	434,49
3	0,14	317,39
5	0,27	129,48
7	0,23	490,60
9	0,16	370,51
11	0,75	327,35
13	0,18	513,46
15	0,19	380,52
17	0,15	318,63
19	0,16	463,95
21	0,47	419,28
23	0,51	400,81
25	0,62	657,19
27	0,52	638,49
29	0,64	435,45
31	0,54	663,50
33	0,42	561,00
35	0,56	600,77
37	0,52	658,89
39	0,54	595,11
41	0,49	736,16
43	0,49	745,39
45	0,44	637,52