

RENAN GUSTAVO PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E TEORES DE CAFEÍNA E
TEOBROMINA ENTRE ERVAIS NATIVOS SOMBREADOS E A PLENO SOL**

IRATI - PR

2021

RENAN GUSTAVO PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E TEORES DE CAFEÍNA E
TEOBROMINA ENTRE ERVAIS NATIVOS SOMBREADOS E A PLENO SOL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para título de Mestre.

Profa. Dra. Andrea Nogueira Dias
Orientadora
Prof. Dr. Vagner Alex Pesck
Coorientador
Profa. Dra. Ximena Mendes de Oliveira
Coorientadora

IRATI-PR

2021

Catalogação na Publicação

Rede de Bibliotecas da Unicentro

P436c Pereira, Renan Gustavo
Características morfológicas e teores de cafeína e teobromina entre
ervais nativos sombreados e a pleno sol / Renan Gustavo Pereira. – – Irati,
2021.

ix, 62 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração
em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2021.

Orientadora: Andrea Nogueira Dias

Coorientador: Vagner Alex Pesck

Coorientadora: Ximena Mendes de Oliveira

Banca examinadora: Andrea Nogueira Dias, Ives Clayton Gomes
dos Reis Goulart, Luciano Farinha Watzlawick, Daniele Ukan

Bibliografia

1. Luminosidade. 2. Clima. 3. Altitude. 4. Metilxantinas. 5. *Ilex
paraguariensis*. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências
Florestais.

CDD 634.9

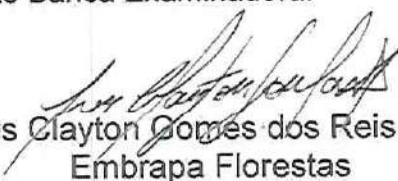
TERMO DE APROVAÇÃO


Defesa Nº 160


Renan Gustavo Pereira

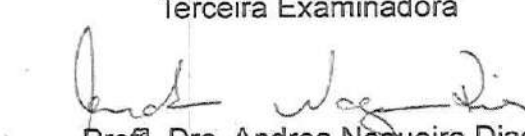
“CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E TEORES DE CAFÉINA E TEOBROMINA EM ERVAIS SOMBREADOS E A PLENO SOL”

Dissertação aprovada em 04/08/2021, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:


Dr. Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart
Embrapa Florestas
Primeiro Examinador


Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Segundo Examinador


Prof. Dra. Daniele Ukan
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceira Examinadora


Prof. Dra. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR

RENAN GUSTAVO PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E TEORES DE CAFEÍNA E
TEOBROMINA ENTRE ERVAIS NATIVOS SOMBREADOS E A PLENO SOL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para título de Mestre.

**Profa. Dra. Andrea Nogueira Dias
Orientadora**

**IRATI – PR
2021**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve comigo desde sempre e me guiou pelo melhor caminho.

A minha família, em especial a minha mãe Marisa pelo apoio e incentivo, meu pai Osvaldir, pelas conversas, ideias e questionamentos, aos meus irmãos Renata, João Guilherme e Géssica, desejo que vocês possam ir mais longe ainda do que eu.

A minha companheira Thainah, que compartilhou todos os momentos dessa conquista, que me apoiou e me incentivou. Nossos sonhos não possuem limites.

A Unicentro, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, em especial a minha orientadora Profa. Dra. Andrea Nogueira Dias, que me apoiou em todas as decisões sobre o trabalho, aos meus coorientadores Prof. Dr. Vagner Alex Pesck e Profa. Dra. Ximena Mendes de Oliveira, pela oportunidade, pela paciência e pela orientação que já duram alguns anos.

Por fim, agradeço aos amigos Pedro e Rodrigo, pela disponibilidade das áreas de estudo, aos amigos Luciano, Caio e Domini que auxiliaram as coletas a campo.

Por fim Guayaki Yerba Mate Brasil, em especial ao Thiago, parceiro nesse estudo, pelas análises químicas, pela parceria, orientação e conversas.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	OBJETIVO GERAL	14
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3.	HIPÓTESES	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i>	16
3.2.	EFEITO DAS DIFERENÇAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS NO DESENVOLVIMENTO DA ERVA-MATE	19
3.3.	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE	20
3.4.	CULTIVO DE ERVA-MATE SOMBREADA E A PLENO SOL	22
3.5.	METILXANTINAS	24
4.	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.2.	COLETA DE DADOS	28
4.2.1.	VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	29
4.2.2.	ANÁLISES QUÍMICAS DAS FOLHAS	30
4.2.3.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	31
4.3.	PROCESSAMENTO DOS DADOS	32
4.3.1.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4.4.	INTERAÇÃO SOLO-PLANTA	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1.	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS	35
5.2.	AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA	36
5.2.1.	CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ANÁLISES QUÍMICAS	36
5.2.2.	VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	39
5.2.3.	AVALIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR	43
5.3.	TEORES DE METILXANTINAS	44
5.3.1.	AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA	44
5.3.1.1.	TEOR DE CAFEÍNA	44
5.3.1.2.	TEOR DE TEOBROMINA	46
5.4.	ESPACIALIZAÇÃO PLANTA - METILXANTINAS	47
6.	CONCLUSÕES	55
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Área de distribuição natural da erva-mate (*I. paraguariensis*) (FONTE: OLIVEIRA e ROTTA, 1985).

FIGURA 2 - Planta de *I. paraguariensis* (Erva-mate) à esquerda e detalhe de folhas, ramos e frutos à direita. (FONTE: LORENZI, 2008)

FIGURA 3 - Croqui de localização das áreas de pesquisa sendo: 1 - Área em Prudentópolis a Pleno Sol; 2 - Área em Prudentópolis Sombreada; 3 - Área em Inácio Martins Sombreada; 4 - Área em Inácio Martins a Pleno Sol. FONTE: O autor (2021).

FIGURA 4 - Exemplos dos dois sistemas de cultivo estudados no presente estudo em relação a luminosidade incidente aos indivíduos de erva-mate. A1: erval sombreado na região de Prudentópolis; A2: erval sombreado na região de Inácio Martins; B1: erval a pleno sol na região de Inácio Martins; B2: erval a pleno sol na região de Prudentópolis. FONTE: O autor (2021).

FIGURA 5 - Fluxograma das etapas adotadas para a pesquisa.

FIGURA 6 - A: Medição de largura e comprimento das folhas selecionadas para estimativa de área foliar; B: Folhas coletadas para análise química, devidamente armazenadas para envio ao laboratório.

FIGURA 7 - Amostra de erva-mate moída após a homogeneização, para ser realizado procedimento de extração de metilxantinas.

FIGURA 8 - Gráficos de correlação entre teores de cafeína e teobromina para as 4 áreas estudadas na região centro-sul do estado do Paraná.

FIGURA 9 - Croqui interpolado pelo método IDW de teores de cafeína presentes nas folhas de erva-mate localizados em uma área sombreada na região de Inácio Martins - PR, com altitude média de 1.100 metros.

FIGURA 10 - Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína em área sombreada na região de Prudentópolis, com altitude aproximada de 790 m, no Centro-sul do estado do Paraná.

FIGURA 11 - Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína em área sombreada na região de Inácio Martins, no Centro-sul do estado do Paraná.

FIGURA 12 - Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* presentes em áreas a pleno sol na região de Prudentópolis, localizada na região Centro-Sul do estado do Paraná.

FIGURA 13 - Croqui interpolado em relação aos teores de teobromina (mg/L) presentes nas folhas de erva-mate localizadas em área sombreada na região de Prudentópolis.

FIGURA 14 - Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área sombreada na região de Inácio Martins - PR.

FIGURA 15 - Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área a pleno sol na região de Inácio Martins - PR.

FIGURA 16 - Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área a pleno sol na região de Prudentópolis.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classificação de áreas de cultivo de erva-mate em relação ao sistema de produção e forma de cultivo. Adaptado de ANDRADE (2002).

TABELA 2 - Coordenadas geográficas, altitude média e área total das áreas de estudo.

TABELA 3 – Estatísticas básicas comparativas de variáveis dendrométricas, área foliar, cafeína e teobromina obtidas em indivíduos de erva-mate presentes nas áreas de estudo.

TABELA 4 - Matrizes de correlação entre variáveis dendrométricas, área foliar e teores de metilxantinas obtidos nas áreas de estudo.

TABELA 5 – Valores obtidos com a aplicação do teste de Dunn, a nível de 5% de significância para a variável diâmetro do tronco.

TABELA 6 – Valores de significância para os testes de Shapiro Wilk e Bartlett para as variáveis Altura, comprimento de copa e diâmetro de copa. Valor de p-valor $> 0,05$ indicam a aceitação da primeira hipótese proposta, ou seja, os resíduos são considerados normais e as variâncias são consideradas homogêneas.

TABELA 7 – Análise de variância para os dados das variáveis altura, comprimento de copa e diâmetro de copa, incluindo valores de coeficiente de variação e valores de significância.

TABELA 8 – Valores referentes ao teste de média de Tukey, a 5% de significância para a variável altura total nas áreas de estudo.

TABELA 9 - Análise de Variância para os dados de área foliar média por indivíduos de quatro populações de *Ilex paraguariensis* localizadas na região Centro-Sul do estado do Paraná. CV%: 24,24.

TABELA 10 -Resultado do teste de média de Tukey, a 5% de probabilidade de erro para os dados de Área foliar para as quatro áreas de estudo.

TABELA 11 - Análise de variância para os dados de teores de cafeína obtidos em quatro área de estudo localizadas nos municípios de Inácio Martins e Prudentópolis, na região Centro-Sul do estado do Paraná. CV%: 52,58.

TABELA 12 - Análise de variância dos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* presentes nas áreas de estudo. CV%: 72,24.

TABELA 13 – Resultado do teste de média de Tukey, a 5% de probabilidade para os dados de teores de teobromina nas folhas de indivíduos de erva-mate presentes nas áreas de estudo.

RESUMO

A erva-mate é uma planta característica da região sul da América do Sul, sendo utilizada para fabricação de produtos como cosméticos, medicamentos, bebidas, chimarrão e tereré, possuindo uma variação em sua forma de cultivo em termos de luminosidade e regiões produtoras. Essa variação é influenciada por alguns fatores, como clima, altitude, precipitação entre outros que resultam em diferenciação na forma da árvore e sua composição química. As metilxantinas são compostos químicos encontrados na erva-mate explorados pela indústria por possuírem propriedades estimulantes, anti-inflamatória entre outras, sendo que a diferenciação de regiões produtoras, bem como a matéria-prima gerada de acordo com suas propriedades específicas mostra-se algo com grande potencial de exploração. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características morfológicas e químicas entre ervais nativos sob diferentes condições de luminosidade e altitude. Foram determinados 4 tratamentos variando entre áreas com altitude aproximada de 790 m e 1.100 m e áreas com sombreamento e pleno sol. Foram selecionados 30 indivíduos por área, sendo obtidas variáveis dendrométricas, área foliar e coordenadas geográficas de cada indivíduo. Além disso, foram coletadas folhas para análise química e obtenção dos teores de metilxantinas. O trabalho foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo que os dados foram processados utilizando o software R, com o pacote “EasyAnova” e utilizando o software Qgis para geração de mapas interpolados. Os teores de metilxantinas foram obtidos por meio de análises químicas de folhas. Como resultados obteve-se correlação regular negativa entre os teores de cafeína e teobromina nas áreas de estudo, bem como correlação forte positiva entre altura total e comprimento de copa. A área com maior altitude e a pleno sol apresentou maior média de diâmetro do tronco e de diâmetro de copa, já a área com altitude aprox. de 790 m e sombreada apresentou maior média de altura total, comprimento de copa e maior área foliar. Para os teores de cafeína, não foi identificado a diferenciação entre os tratamentos propostos, sendo que tanto a altitude quanto o sombreamento não afetaram a concentração química de cafeína nas plantas. Já para teobromina, o tratamento 1, ou seja, a área de Prudentópolis a pleno sol foi superior que os demais. A distribuição geográfica dos indivíduos não apresentou tendência para as concentrações de metilxantinas. Portanto, indica-se que a matéria-prima utilizada na fabricação de produtos a base de metilxantinas, principalmente teobromina seja adquirida em áreas com altitude aproximada de 790 m, onde apresentou maiores teores de teobromina

Palavras-chaves: luminosidade, clima, altitude, metilxantinas, *Ilex paraguariensis*.

ABSTRACT

Yerba mate is a plant characteristic of the southern region of South America, being used for the manufacture of products such as cosmetics, medicines, beverages, chimarrão and tereré, with a variation in its form of cultivation in terms of luminosity and producing regions. This variation is influenced by some factors, such as climate, altitude, precipitation, among others that result in differentiation in the shape of the tree and its chemical composition. Methylxanthines are chemical compounds found in yerba mate explored by the industry because they have stimulant, anti-inflammatory, and other properties, and the differentiation of producing regions, as well as the raw material generated according to their specific properties, shows something with great potential for exploration. The present work aimed to evaluate the morphological and chemical characteristics among native herbs under different conditions of light and altitude. Four treatments were determined varying between areas with altitude approx. 790 m and 1,100 m and areas with shade and full sun. Thirty individuals were selected per area, obtaining dendrometric variables, leaf area and geographic coordinates of each individual. In addition, leaves were collected for chemical analysis and obtaining methylxanthines contents. The work was conducted in a completely randomized design (DIC), and the data were processed using the R software, with the “EasyAnova” package and using the Qgis software to generate interpolated maps. The methylxanthines contents were obtained through chemical analysis of leaves. As a result, a negative regular correlation was obtained between the caffeine and theobromine contents in the study areas, as well as a strong positive correlation between total height and crown length. The area with the highest altitude and in full sun had the highest average trunk diameter and crown diameter, whereas the area with altitude approx. 790 m and shaded had the highest average total height, crown length and larger leaf area. For caffeine content, no differentiation between the proposed treatments was identified, and both altitude and shading did not affect the chemical concentration of caffeine in the plants. As for theobromine, treatment 1, that is, the Prudentópolis area under full sun was superior to the others. The geographical distribution of individuals did not show a trend towards the concentrations of methylxanthines. Therefore, it is indicated that the raw material used in the manufacture of products based on methylxanthines, mainly theobromine, is acquired in areas with an approximate altitude of 790 m, where it presented higher theobromine contents.

Keywords: luminosity, climate, altitude, methylxanthines, *Ilex paraguariensis*.

1. INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) possui uma ocorrência natural no Brasil entre os estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo até o Rio Grande do Sul, adaptando-se a variações de clima, relevo e altitude por toda a área onde ela é considerada nativa. O cultivo da planta apresenta-se como uma fonte de renda importante a produtores da região, visto que suas folhas e galhos são utilizados para a fabricação de diversos produtos, como a erva-mate para chimarrão, tereré e chá-mate. Também são fabricados cosméticos, produtos farmacêuticos, entre outros usos.

A planta é encontrada na Floresta Ombrófila Mista, sendo assim possível a sua exploração sustentável, possibilitando a manutenção da espécie (DANIEL, 2009). Além do extrativismo da erva-mate, existem os cultivos da espécie, que podem ser sombreados ou não. A variação na forma de cultivo, tanto em termos de luminosidade, influenciando o nível de sombreamento ou mesmo em questões geográficas, como por exemplo a diferença de altitude, podem afetar o produto final. Outras fontes de variação como clima e distribuição geográfica também possuem sua importância em aspectos relacionados a erva-mate (DORTZBACH, 2020). Destaca-se também a importância do conhecimento da forma das árvores de erva-mate, por meio de variáveis como diâmetro, altura e forma da copa, relacionando-as com a produtividade dos ervais e dos indivíduos em específico, buscando entender como se dá uma possível relação entre esses fatores.

A distribuição geográfica é de grande importância para estudos que tratam do desenvolvimento de produtos a partir de espécies vegetais, principalmente da erva-mate, onde o clima exerce influência sob o crescimento em altura, produção de massa foliar, crescimento em diâmetro, dentre outras características (ARJONA et al., 2007; FRITZSONS et al., 2020). O clima também é um fator preponderante quando consideramos populações de plantas, onde o fenótipo é influenciado diretamente. Em relação da influência sobre os produtos gerados a partir da erva-mate, um dos principais fatores que devem ser levados em consideração é a concentração química nas folhas, possuindo diversos compostos entre eles as metilxantinas.

As metilxantinas são um dos principais grupos de compostos químicos presentes na erva-mate, sendo que a cafeína e a teobromina se destacam pela representatividade (MAZUR et al., 2014). Esses compostos possuem propriedades estimulantes, antioxidantes, anti-inflamatória além de serem utilizados pela indústria de cosméticos (BRACESCO et al., 2011; SANTOS et al., 2015). Considerando essas utilizações, a erva-

mate mostra-se como uma das principais plantas com potencial econômico da região Sul do Brasil, aumentando o valor agregado ao produto que foi historicamente explorado sem intenção de aprimorar seu cultivo. Percebendo isso, produtores de erva-mate passaram a adotar práticas de manejo em seus ervais com intuito de melhorar as condições de cultivo e, conseqüentemente, aumentar suas produtividades.

Cada sistema de produção possui seu potencial produtivo, baseado em sua tecnologia e nos recursos naturais disponíveis. Ervais a pleno sol, além de terem mais luz, são mais frequentemente adubados e sofrem podas menos drásticas que os ervais de adensamentos, entre outras diferenças tecnológicas. E isso se reflete na produtividade de cada um (RACHWAL et al., 2002). Contudo, apenas a produção em larga escala não satisfaz os desejos do mercado consumidor, que exige produtos com qualidade e características particulares, formando assim uma tendência de mercado que induz a especificação de produtos. Isso não afeta exclusivamente a cadeia produtiva da erva-mate, mostrando-se como uma tendência global, para todos os tipos de produtos e serviços.

A popularidade dos produtos à base de erva-mate vem aumentando com o desenvolvimento de novos produtos, como bebidas diversas e energéticos, suplemento alimentar, aerogel bioativo (DE OLIVEIRA et al., 2020), inclusive em países com grande potencial de consumo como Estados Unidos, Canadá e países da Europa (VIEIRA et al., 2009). Esforços estão sendo feitos por parte das indústrias a fim de fabricar produtos com grande potencial comercial, dando prioridade principalmente a compostos químicos, como as metilxantinas (GRIGIONI et al., 2004). Com o aumento das formas de comercialização, novos produtos e novos mercados, o valor agregado sob a erva-mate se eleva, trazendo representatividade para a cultura. Visando obter melhores condições de comercialização, é fundamental que aspectos como as regiões produtoras de erva-mate, bem como as características do local sejam levados em consideração na destinação da matéria prima em relação ao produto final.

A demanda por produtos com aspectos cada vez mais específicos, como cosméticos a base de erva-mate oriunda de ervais nativos com selo de sustentabilidade é crescente, tornando assim indispensável a categorização e diferenciação nas formas de cultivo. Características exclusivas de um local devem ser exploradas, a fim de alcançar um produto diferenciado, que seja reconhecível e distinguível aos demais. Assim, torna-se vantajosa a diferenciação da erva-mate de regiões produtoras, bem como a identificação de fatores que alteram as características dos indivíduos de erva-mate.

Torna-se importante também para o mercado consumidor a distinção de produtos com características superiores, contendo compostos químicos naturais em sua formulação e que sejam ambientalmente sustentáveis. Atrelado a isso, o produtor de erva-mate também se beneficia com essa distinção, visto que o produto ganha valor agregado na comercialização, obtendo maior renda. De forma geral, toda a cadeia produtiva se fortalece, aumentando o lucro em cada elo da cadeia, e em paralelo, contribuindo para a preservação de florestas naturais. Deste modo, entender a variação de concentração química de cafeína e teobromina nas folhas, relacionando-as com variáveis morfológicas e fatores como luminosidade e altitude pode auxiliar a tomada de decisão de empresas e produtores tanto na busca quanto na comercialização da erva-mate, como uma matéria-prima indicada para produtos com fins específicos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar características morfológicas e químicas de ervais nativos, em diferentes condições de altitude e luminosidade na região Centro-sul do estado do Paraná.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da altitude nas características morfológicas e dendrométricas dos indivíduos de erva-mate.
- Analisar os teores de cafeína e teobromina nas folhas de erva-mate em função da altitude.
- Avaliar o efeito de cultivos sombreados e a pleno sol em características morfológicas e dendrométricas e na concentração de cafeína e teobromina nas folhas.

3. HIPÓTESES

HIPÓTESE 1: A altitude causa diferenciação na morfologia da folha, do fuste e da copa da erva-mate e em sua composição química.

HIPÓTESE 2: A incidência luminosa causa diferenciação na morfologia da folha, do fuste e da copa da erva-mate, bem como em sua composição química.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *Ilex paraguariensis*

O gênero *Ilex*, pertencente à família Aquifoliaceae, possui mais de 700 espécies sendo que aproximadamente 220 são encontradas na América do Sul (GIBERTI, 1995). Segundo Mazuchowski (1989), cerca de 60 espécies do gênero ocorrem no Brasil. A erva-mate (*I. paraguariensis*) ocorre naturalmente na Argentina (FONTANA et al., 1990), leste do Paraguai (LOPEZ et al., 1987) e norte do Uruguai (LOMBARDO, 1964). No Brasil ocorre com maior concentração nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (OLIVEIRA e ROTTA, 1985) (FIGURA 1), sendo que sua maior ocorrência está associada a Floresta Ombrófila Mista. A espécie também ocorre nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro, porém em menor expressividade (CARVALHO, 2003).

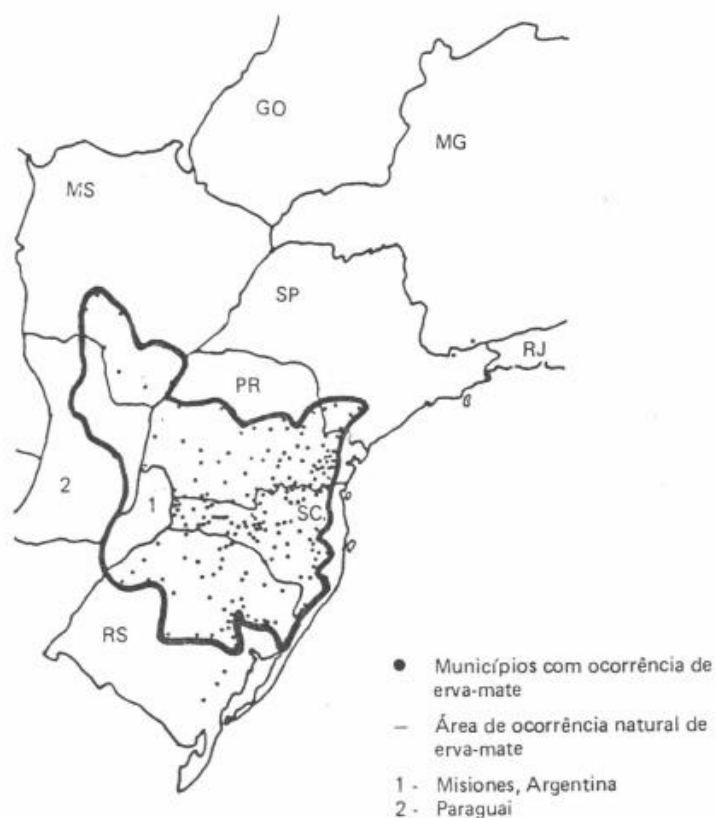


FIGURA 2 - Área de distribuição natural da erva-mate (*I. paraguariensis*) (FONTE: OLIVEIRA e ROTTA, 1985).

Trata-se de uma árvore perenifólia, com diâmetro médio de 20 a 25 cm, podendo chegar até 70 cm. Sua altura pode atingir 25 m, porém, quando podada não chega a atingir essa altura (CARVALHO, 1994). Sua casca pode atingir 2 cm de espessura e ter coloração

cinza-claro a acastanhada, com presença de lenticelas (DA CROCE e FLOSS, 1999). As folhas são alternadas, simples, glabras e geralmente estipuladas, com tamanho variando entre 5 a 10 cm de comprimento e 3 a 5 cm de largura, com formato obovado e ligeiramente obtusas no vértice. Na Figura 2 é demonstrada a árvore de *I. paraguariensis*, bem como suas folhas e ramos.



FIGURA 2 - Planta de *I. paraguariensis* (Erva-mate) à esquerda e detalhe de folhas, ramos e frutos à direita. (FONTE: LORENZI, 2008).

As folhas têm coloração verde-escura na face superior e verde-clara na face inferior, as bordas são levemente serreadas-crenadas (CARVALHO, 1994). É uma planta pertencente a categoria das esciófila, ou seja, plantas que aceitam sombreamento em qualquer etapa de seu desenvolvimento, tendo uma maior tolerância a luz em sua fase adulta. Conforme o mesmo autor, a planta também se desenvolve bem sob luz direta do sol, exceto na fase inicial de seu desenvolvimento, quando ainda é uma muda, assim sendo, está incluída no grupo das plantas ombrófilas.

A erva-mate é uma planta característica da Floresta Ombrófila Mista, encontrando-se no estrado médio e inferior da floresta, comumente em associações com o *Araucária angustifolia*. Também está presente na Floresta Estacional Semidecidual e no Sul do Mato Grosso do Sul, porém tem presença rara na Floresta Ombrófila Densa (CARVALHO, 1994).

De acordo com Mello (1980) a erva-mate é dióica, com indivíduos masculinos e femininos sendo que a floração ocorre entre os meses de setembro a dezembro. A

frutificação ocorre entre dezembro e abril, porém em locais com maior altitude a frutificação pode se estender até maio. O fruto é pequeno, medindo entre 6 a 8 mm, com cor verde inicialmente, passando para vermelho-arroxeadado quando atinge a maturidade. A reprodução é variável dependendo do tipo de propagação das mudas, sendo que mudas propagadas vegetativamente iniciam sua reprodução a partir dos 2 anos de idade e em mudas propagadas via semente inicial, a reprodução inicia apenas após os 5 anos de idade.

São em solos de baixa fertilidade, ou seja, altos teores de alumínio, pH baixo e baixos teores de cátions trocáveis que a erva-mate se desenvolve naturalmente (CARVALHO, 2003). Os trabalhos de Merten (1994) e Rodrigues (2012) reiteram que os solos da região Centro-sul do estado do Paraná possuem por natureza valores baixos de pH e saturação de bases, contudo possuem altos teores de alumínio trocável. Conforme Oliveira e Rotta (1985) são em solos com teor de argila variando entre 15 a 35% que a erva-mate é mais frequente.

Conforme Dedecek e Gava (2005) os solos com maior nível de compactação oferece às plantas uma maior resistência à penetração das raízes, influenciando negativamente o crescimento radicular e por consequência restringindo o crescimento e afetando a produtividade da planta. Os estudos de Carvalho (2003) e Medrado e Sturion (2010) corroboram com os demais indicando que os solos com ocorrência natural de erva-mate possuem, em geral, altos teores de alumínio, pH baixo e baixos teores de cátions trocáveis. Em solos saturados, pedregosos e/ou compactados a espécie *I. paraguariensis* não apresenta comportamento satisfatório, visto que seu sistema radicular se concentra nos primeiros 45 cm do solo (SUERTEGARAY, 2002), porém algumas limitações de solo podem ser mitigadas com manejo adequado.

Em termos de altitude, a espécie possui uma ocorrência natural variando entre 400 m até 1.800m, sendo influenciada pela temperatura média anual, que varia de 13°C nas regiões mais frias chegando a 22°C em regiões no estado do Mato Grosso do Sul (CARVALHO, 2003). Oliveira e Rotta (1985) descreveram o clima da maioria das regiões de ocorrência natural da espécie como sendo Cfb, de acordo com a classificação de Koeppen, com chuvas distribuídas regularmente durante os meses do ano, caracterizando um clima úmido.

Conforme Begon et al., (2006) o resfriamento adiabático, fenômeno responsável pelo decréscimo da temperatura à medida que a altitude aumenta, em função da redução na pressão atmosférica faz com que, em momentos de ar seco, a temperatura diminua cerca de 1°C a cada 100m de aumento da altitude. Já para casos de ar úmido, há uma

amenização desse gradiente, variando cerca de 0,6°C a cada 100m. Essa variação de altitude e por consequência em temperatura exercem influência sobre a vegetação, determinando a diferenciação florística dos indivíduos ao longo de gradientes de altitude (BEGON et al., 2006; BROWN e LOMOLINO, 2006).

3.2. EFEITO DAS DIFERENÇAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS NO DESENVOLVIMENTO DA ERVA-MATE

O clima é um fator preponderante quando consideramos populações de plantas, onde o fenótipo é influenciado diretamente, afetando a sobrevivência, crescimento e reprodução e ou desempenhando um papel seletivo afetando no genótipo da planta (FRITZSONS et al., 2020). Segundo Wang et al. (2010) o clima relacionado com a seleção natural acarreta diferenciação entre populações arbóreas devido a adaptação local que essas populações são submetidas.

Conforme Arjona et al. (2007), o desenvolvimento de novos produtos a partir de espécies vegetais está diretamente relacionado com o conhecimento da distribuição geográfica e da diversidade das plantas, em relação ao espaço e o tempo. Assim, é de grande importância entender como se dá a distribuição especialmente da erva-mate, em termos climáticos e geográficos. Em geral a erva-mate ocorre naturalmente em altitudes de 400 a 1800 metros, porém em algumas regiões, como Foz do Iguaçu e Florianópolis ela ocorre em altitudes inferiores a 400 m. Isso pode ser justificado pela influência que fatores abióticos exercem sobre a espécie, como a temperatura e sua própria evolução, visto que a erva-mate suporta baixas temperaturas e geadas (SUERTEGARAY, 2002).

Obter o conhecimento sobre as associações entre clima e populações é fundamental para que em termos práticos, se possa indicar locais mais adequados para o plantio ou cultivo de determinadas espécies ou populações (Wrege et al., 2018). O clima exerce influência direta em indivíduos de erva-mate, resultando em diferenças no crescimento em altura, produção de massa foliar e crescimento em diâmetro (FRITZSONS et al., 2020).

Conforme o estudo de Vieira et al. (2003), a radiação solar, um dos parâmetros climáticos estudados, foi a que exerceu maior influência no desenvolvimento vegetativo da erva-mate, principalmente em produção de fitomassa verde e desenvolvimento de área foliar. Outra influência direta do clima sobre a espécie *I. paraguariensis* é referente a

fenologia reprodutiva, que altera a época de floração da espécie de acordo com a região de cultivo (MORELLATO, 2007).

Em termos altimétricos, a qualidade final do produto pode ser influenciada pela altitude onde a matéria prima foi originária. Um exemplo é o café, que tem seu aroma e sabor relacionados com características da região, como clima, altitude e sistemas de produção. Essas altitudes mais elevadas podem influenciar na qualidade do produto diferenciado (ALVES et al., 2011).

O estudo de Bertoni et al. (1992) indicou que condições climáticas como chuva, temperatura, umidade, que acometem a planta durante todo seu desenvolvimento podem afetar sua concentração de cafeína. Já Dortzbach (2020) comenta que a produção de erva-mate em maiores altitudes exerce influência na qualidade do produto gerado, uma vez que relaciona as condições climáticas favorecidas pelo ambiente.

De acordo com Riachi et al. (2018) fatores genéticos, região geográfica, clima, temperatura de cultivo, disponibilidade de água, manejo empregado na área de cultivo e estresses ambientais são alguns dos fatores que influenciam diretamente o metabolismo secundário da planta. Esse metabolismo é responsável pela fabricação de compostos como a cafeína, compostos fenólicos e outras substâncias responsáveis pelo sabor que a erva-mate possui.

3.3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE

De acordo com Oliveira e Rotta (1985) o cultivo de erva-mate no Brasil está concentrado desde as regiões sul do Mato Grosso do Sul até a região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, passando assim pelo estado de Santa Catarina e Paraná. A planta é característica da Floresta Ombrófila Mista e representa uma grande significância no cenário socioeconômico dos municípios da região sul do Brasil, em especial para os pequenos produtores (BALZON et al., 2004).

A cadeia produtiva da erva-mate gera trabalho e renda para os produtores e trabalhadores, muitas vezes caracterizados por mão-de-obra familiar (DANIEL, 2009). Referindo-se aos sistemas de produção da erva-mate, algumas características são bases para diferenciar suas classificações como o sombreamento e o próprio plantio de novos indivíduos na área de cultivo (MAZUCHOWSKI, 1989).

A classificação de cultivos em ervais, segundo Andrade (2002) deve seguir um padrão que leva em consideração a exploração em que estão submetidos. A Tabela 1

apresenta a denominação e características dos sistemas de produção considerados para áreas nativas e plantadas.

TABELA 1 - Classificação de áreas de cultivo de erva-mate em relação ao sistema de produção e forma de cultivo. Adaptado de ANDRADE (2002).

Denominação		Características
Áreas Naturais	“Em Ser”	Erveiras naturais que nunca foram podadas e que muitas vezes são utilizadas como matrizes para produção de sementes.
	Nativas	Áreas com indivíduos de erva-mate com ocorrência natural, ou seja, não houve ação antrópica de plantio de mudas ou raleamento de espécies arbóreas.
Áreas Cultivadas	Adensada	Áreas com plantio de novos indivíduos de erva-mate em área onde já existem indivíduos nativos e raleamento de espécies arbóreas.
	Homogênea	Áreas com plantio ou não de erva-mate a pleno sol.
	Consoiciada	Áreas com plantio de erva-mate consorciada com espécies agrícolas, florestais ou atividade pecuária.
	Transformação	Área onde houve plantio de erva-mate e recebe indivíduos de espécies florestais.

Há uma diferenciação no emprego das técnicas silviculturais e de manejo nas áreas classificadas acima, excluindo-se as áreas no sistema de produção denominado “Em ser”.

O extrativismo da erva-mate em áreas naturais foi o responsável por 80% da economia do Paraná, nos anos de 1840, contribuindo para a emancipação do estado perante a São Paulo (QUEIROZ, 2015). Com o tempo, essa forma de exploração deu lugar a ervais cultivados, sendo que as razões para essa conversão foram o baixo rendimento dos ervais extrativos, aumento do preço das culturais anuais, o que influenciou a redução da área de florestas naturais (MISSIO e RIVAS, 2019).

A produtividade do erval é influenciada fundamentalmente pelo sistema de manejo empregado no cultivo, variando aspectos tecnológicos como intervalo e intensidade das

podas de colheita, adubações, controle de pragas e plantas daninhas, podem gerar diferenças na qualidade do produto final (PENTEADO JÚNIOR e GOULART, 2019). Segundo Maccari Junior (2005) o sistema de produção possui grande influência no processo de industrialização da erva-mate por parte das indústrias e de produção por parte dos trabalhadores envolvidos na cadeia produtiva, afetando diretamente o planejamento industrial e fornecimento de matéria prima.

O cultivo da erva-mate vem sendo realizado com baixo aporte tecnológico, com uma mentalidade extrativista desde o início do cultivo da cultura, devido principalmente a falta de assistência técnica o que resultava em um manejo sem planejamento e baixa atratividade econômica (MEDRADO et al., 2002). Segundo Andrade (1999) o manejo da erva-mate deve seguir premissas básicas a alcançar benefícios socioeconômicos e ambientais tanto para a comunidade quanto para o meio ambiente.

No século XVII, os jesuítas localizados no Paraguai foram os primeiros a incentivar o plantio e cultivo da erva-mate, sendo considerados os responsáveis pela introdução do cultivo sistemático da cultura (BERKAI e BRAGA, 2000). Após a destruição das missões, o cultivo da erva-mate foi esquecido, voltando a obtenção de matéria-prima a forma extrativista, até meados dos anos 70, onde o cultivo ganhou importância devido à redução de áreas com florestas naturais e expansão da agricultura no Sul do Brasil. O cultivo da erva-mate é considerado um dos mais antigos sistemas agroflorestais do sul do Brasil, além de ser um dos primeiros produtos a serem exportados no país (PENTEADO et al., 2000).

3.4. CULTIVO DE ERVA-MATE SOMBREADA E A PLENO SOL

Tendo em vista as características básicas para o cultivo sombreado da erva-mate, Zerbielli (2016) comenta que as melhores condições para o desenvolvimento da erva-mate são encontradas em áreas sombreadas, em associações com o Pinheiro Araucária (*Araucaria angustifolia* Bertol Kuntze) combinado com as demais espécies nativas que compõe a Floresta Ombrófila Mista. Em se tratando do nível de luz que chega até as plantas que estão sendo cultivadas nesses regimes, Kramer e Kozlowski (1979) comentam que a intensidade de luz pode afetar atividades como a fotossíntese, a abertura estomática e a síntese de clorofila, influenciando na produção de fotoassimilados, produção de biomassa e pôr fim a produtividade. Quando se trata de termos ecofisiológicos, o crescimento e desenvolvimento das plantas é influenciado por uma série de fatores, como

disponibilidade de água, nutrientes e luz, sendo que esse último fator pode variar em questões de intensidade, comprimento de onda, duração e periodicidade (WHATLEY e WHATLEY, 1982).

A quantidade de biomassa produzida, concentração de clorofila e composição química das folhas será influenciada, entre outras características do ambiente pela luz, principalmente em indivíduos de erva-mate (ANDRADE, 2004). Estudos sobre a influência da luminosidade em cultivos de erva-mate demonstram que a área foliar e a produção de fitomassa sofre grande influência da radiação solar, sendo que os indivíduos possuem a capacidade de aumentar sua superfície foliar em busca de maior área fotossintetizante (DA CROCE e FLOSS, 1999). Conforme Vieira et al. (2003) os efeitos microclimáticos exercem influência sob o crescimento da erva-mate como por exemplo, diminuindo seu crescimento em períodos com baixa temperatura ou tendo um menor desenvolvimento em períodos de seca.

Conforme Nietsche (2002) a conversão de ervais a pleno sol em ervais sombreados é feita visando a necessidade do setor ervateiro em obter um produto com maior valor agregado devido as características organolépticas presentes no produto industrializado. Para plantios homogêneos recomenda-se uma densidade de 500 a 3.300 plantas/hectare (DA CROCE e FLOSS, 1999). Houve um aumento significativo de ervais plantados a pleno sol nos últimos anos, principalmente consorciados com culturas agrícolas como trigo, aveia, soja, milho e feijão (MEDRADO et al., 2000).

Os tratos culturais empregados nos primeiros anos de desenvolvimento determinam a formação do erval, que por sua vez, influenciará os demais tratos culturais a serem empregados, afetando finalmente o retorno financeiro da cultura (DANIEL, 2009). A produtividade média de ervais extrativos é estimada em aproximadamente 1.300 kg/ha, enquanto ervais cultivados, sejam eles a pleno sol ou adensados podem chegar até 8.000 kg/ha (SIGNOR et al., 2015; IBGE, 2020). Já ervais cultivados com alta adoção tecnológica podem chegar ou até mesmo ultrapassar os 20.000 kg/ha (SANTIN et al., 2017).

Outra característica de ervais sombreados é uma maior produção de compostos químicos nas plantas, como Streit et al. (2007) relata em seu estudo, onde plantas sombreadas demonstraram maiores teores de cafeína, ácido clorogênico e ácido gálico em comparação a plantios comerciais. Comportamento semelhante ao encontrado por Coelho et al. (2000) onde obteve uma variação nos teores de cafeína entre 2,31 a 14,31

mg/L em áreas com 95,33% de sombreamento e em áreas com 7,17% de sombreamento, obteve média inferior, com valores variando entre 2,63 a 2,98 mg/L.

3.5. METILXANTINAS

As metilxantinas são originadas de bases purínicas, sendo que devido a isso são consideradas pseudoalcalóides. Muitos autores as consideram sendo alcaloides verdadeiros, por possuírem uma atividade biológica marcante e distribuição restrita (RATES e SIMÕES, 2004). Em termos fisiológicos, as metilxantinas são metabólicos secundários com importantes funções ecológicas, como proteção contra patógenos e herbívoros, alelopatia e atração para animais polinizadores (TAIZ e ZEIGER, 2004).

De acordo com Bruneton (1993), a principal xantina encontrada é a cafeína (1,3,7-trimetilxantina), seguida pela teobromina (3,7-dimetilxantina) e em menores quantidades a teofilina (1,3-dimetilxantina). São consideradas importantes componentes alimentícios, como o guaraná, café, cola e chocolate, exercendo grande importância cultural e econômica.

Conforme descrito por Degáspari e Waszczyński (2004) as metilxantinas desempenham um amplo espectro de efeitos biológicos e atividades farmacológicas, incluindo ação antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana, vasodilatadora, agindo também sobre o sistema nervoso central, cardiovascular, muscular, renal e digestivo. Os efeitos causados podem variar quantitativamente, porém apresentam-se semelhantes em termos qualitativamente, sendo que, devido a variação de potência entre as metilxantinas, suas finalidades e utilizações são variadas (RATES, 1999). A todas essas influências são atribuídos os benefícios do consumo da infusão a base de erva-mate (OLIVEIRA et al., 2006).

Considerando a composição química da erva-mate, encontramos os componentes fitoquímicos, em especial saponinas, compostos fenólicos e metilxantinas, os quais exercem influência sobre o sabor, odor e cor dos alimentos. Segundo Rossa et al. (2017) o consumo de erva-mate tem sofrido um incremento devido aos teores desses compostos. Técnicas silviculturais, clima, idade da planta, variabilidade genética e o tipo de cultivo podem afetar diretamente a composição química da erva-mate (SCHERER et al., 2002).

Ter conhecimento da composição de bioativos presentes na erva-mate é de grande importância para que haja um aceno ao consumo desse produto, visto todos os benefícios que o mesmo traz consigo. Porém, trabalhos demonstram que há uma variação em

amostras estudadas dos teores de um mesmo componente (CARDOSO JÚNIOR, 2006). O produto gerado pode apresentar características diferentes, como um sabor amargo e adstringente, resultado de uma diferenciação na composição química da matéria prima, afetando diretamente o fator financeiro na cadeia produtiva (STREIT et al., 2007).

Gobbo-Netto e Lopes (2007) consideram que a luminosidade presente na área de cultivo e os nutrientes disponíveis para absorção da planta são fatores preponderantes no montante de metilxantinas presentes nas plantas. Com a utilização de fertilizantes nitrogenados e o crescimento da planta, os teores de cafeína aumentam no chá-da-índia (RATES, 1999). Conforme indicou RACHWAL et al. (1998) a luminosidade é o fator principal que influencia a diferença de teores de substâncias químicas responsáveis pelo sabor. Se tratando de concentração de cafeína nas plantas, na erva-mate o composto pode chegar a 1,6% em média, sendo que em infusões o valor é de 1,1% (VALDUGA, 1995). Meurer (2012) em um estudo comparando quatro áreas de estudo com diferentes níveis de sombreamento, obteve maior média em áreas com maior nível de sombreamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas utilizadas para o presente estudo estão localizadas na região Centro-Sul do estado do Paraná nos municípios de Inácio Martins e Prudentópolis. As áreas são de propriedade particular, onde os proprietários permitiram a realização da pesquisa. O mapa de localização das áreas de coleta está demonstrado na Figura 3. A idade dos indivíduos presentes nas áreas não foi possível quantificar, devido a ser áreas sem adensamento, apenas com plantas de ocorrência natural.

Para o desenvolvimento do estudo, foi buscado encontrar áreas que tivessem a mesma ou aproximada idade de poda, sendo que as quatro áreas encontravam-se com aproximadamente 18 meses desde a última colheita, como relatam os proprietários. A intensidade de poda também foi verificada, sendo que os proprietários comumente realizam a poda deixando cerca de 30% da poda, em todas as áreas de estudo. Já os tratamentos culturais empregados nas áreas, são realizadas limpezas, em forma de roçadas, anualmente ou a cada dois anos, não é realizado nenhum tipo de adubação e em três áreas, ambas em Inácio Martins e a área sombreada de Prudentópolis é realizado o manejo do gado juntamente com o cultivo da erva-mate, o que contribui para a limpeza da área.



FIGURA 3 - Croqui de localização das áreas de pesquisa sendo: 1 - Área em Prudentópolis a Pleno Sol; 2 - Área em Prudentópolis Sombreada; 3 - Área em Inácio Martins Sombreada; 4 - Área em Inácio Martins a Pleno Sol. FONTE: O autor (2021).

As coordenadas de localização das áreas de pesquisa estão descritas na Tabela 2, bem como as altitudes as quais se encontram e o tamanho das áreas delimitadas para coleta.

TABELA 2 - Coordenadas geográficas, altitude média e área total das áreas de estudo

Locais de coleta	Coordenada Sul	Coordenada Oeste	Altitude (m)	Área (ha)
Inácio Martins (PL)	25°37'33,59"	51°10'59,74"	1113	3,36
Inácio Martins (S)	25°37'39,15"	51°10'47,89"	1101	5,14
Prudentópolis (PL)	25°16'30,03"	51°09'10,69"	775	5,84
Prudentópolis (S)	25°16'39,96"	51°08'13,50"	802	18,38

PL: Pleno Sol; S: Sombreado

Os locais foram divididos em duas categorias, ervais cultivados a pleno sol (PL) e ervais cultivados sombreados (S), sendo que ambos não apresentaram adensamento com novos indivíduos de erva-mate. Houve também a separação de acordo com a altitude dos locais, sendo que as áreas localizadas no município de Inácio Martins tinham por característica a altitude elevada de aproximadamente 1.100 metros. Já as áreas localizadas no município de Prudentópolis possuem altitude menor, aproximadamente

790 metros. Na Figura 4 podemos ver as características específicas de cada sistema de cultivo.



FIGURA 4 – Exemplos dos dois sistemas de cultivo estudados no presente estudo em relação a luminosidade incidente aos indivíduos de erva-mate. A1: erval sombreado na região de Prudentópolis; A2: Erval sombreado na região de Inácio Martins; B1: erval a pleno sol na região de Inácio Martins; B2: Erval a pleno sol na região de Prudentópolis. FONTE: O autor (2021).

Ambas as áreas estão localizadas na região onde o clima predominante, segundo a classificação climática de Koeppen-Geiger é Cfb, onde as chuvas são regularmente distribuídas em todos os meses do ano, o que caracteriza um clima úmido, com ocorrência de verões frescos, com temperatura média inferior a 22° C e invernos com geadas severas e frequentes, com temperatura média superior a 3° C e inferior a 18° C. A precipitação média é de aproximadamente 1800 mm ano-1 (IBGE, 2018). Porém devido a diferença de altitude entre os locais de coleta, conforme Maack (1981), a temperatura decresce 0,5°C a cada 100 de aumento na altitude, então presume-se que a temperatura média anual específica nos locais de coleta é diferente, podendo influenciar, portanto, no desenvolvimento das plantas presentes nesses locais.

O solo também se difere entre as áreas estudadas, sendo que em Prudentópolis o solo é caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico que são solos profundos a muito profundos, bem estruturados e bem drenados, apresentam textura média argilosa. Esses solos apresentam em geral baixa a muito baixa fertilidade natural (EMBRAPA,

2013). Já o solo predominante na área de Inácio Martins trata-se de um Cambissolo Háplico Tb Distróficos que é geralmente identificado em relevos forte ondulados ou montanhosos, com argila de baixa atividade e de baixa fertilidade, com presença de pedra na massa do solo (EMBRAPA, 2013). Em alguns casos, produtores a fim de corrigir e remediar a baixa fertilidade do solo realizam adubações nas áreas de cultivo, tanto para correção do solo, tanto para fornecimento de nutrientes as plantas. Em relação as áreas cultivadas do presente estudo, não é feita nenhuma prática de manejo nesse sentido, apenas limpeza de plantas daninhas em forma de roçada.

Para ambas as áreas de estudo, os produtores relataram que o intervalo de colheita adotado é aproximadamente dois anos, conservando cerca de 30% da copa das erveiras na colheita dos ramos e galhos. Também ressalta-se que os indivíduos presentes nas áreas de estudo se desenvolveram de forma natural, sem que houve-se o plantio de mudas, e também não houve o adensamento com novos indivíduos nas áreas.

As características das áreas sombreadas seguem as particularidades presentes na Floresta Ombrófila Mista, presença principalmente de *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa*, *Ocotea puberula*, *Mimosa scabrella* entre outras, formando a cobertura de dossel na floresta. Já as áreas sem cobertura vegetal, que estão a pleno sol possuem apenas a presença de *I. paraguariensis*, sem incidência de sombra sobre os indivíduos estudados.

4.2. COLETA DE DADOS

Para a visualização das etapas realizadas no presente estudo a Figura 5 demonstra o fluxograma adotado para pesquisa, com as etapas a campo bem como o processamento dos dados.

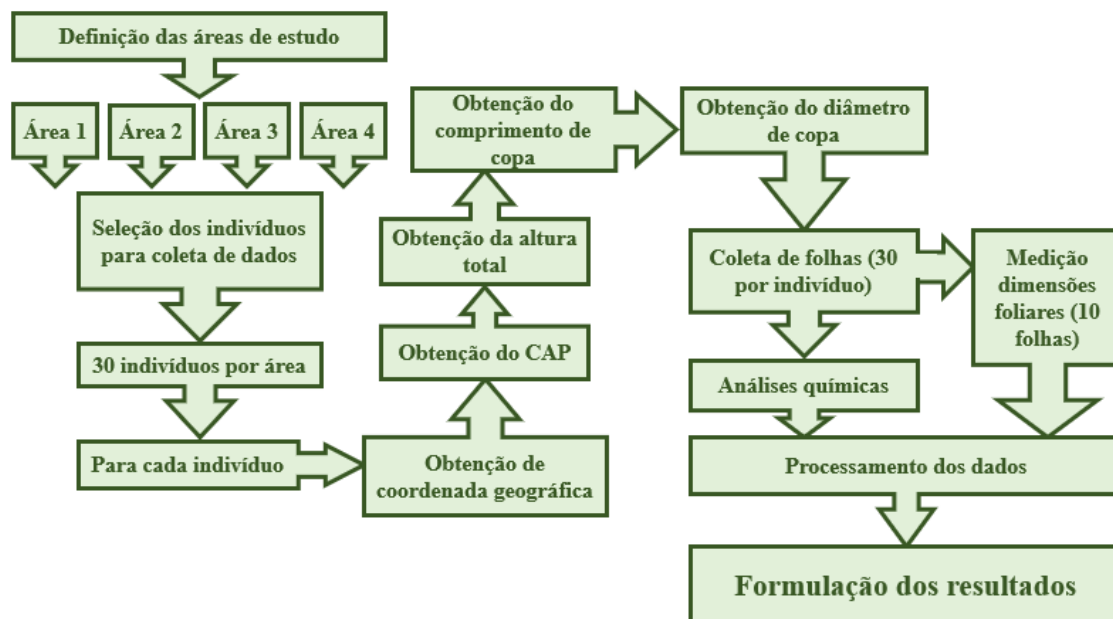


FIGURA 5 - Fluxograma das etapas adotadas para a pesquisa.

4.2.1. VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Dentro das áreas definidas para a pesquisa, foram selecionados 30 indivíduos para cada local e para cada tipo de cultivo, sendo que essa seleção foi feita de forma a compreender toda a variação presente na área, ou seja, foram selecionados indivíduos ao longo de toda a extensão da área de pesquisa, totalizando 120 indivíduos. Desses indivíduos inicialmente foi medido a circunferência do tronco com o uso de fita métrica graduada em milímetros.

Essa medida foi tomada logo abaixo da primeira bifurcação, pois indivíduos de erva-mate cultivados em geral apresentam tronco bifurcado abaixo da altura de 1,3 m, impossibilitando a obtenção da Circunferência a Altura do Peito (CAP). Esses valores posteriormente foram transformados em diâmetro do tronco (DT).

Juntamente a isso, a altura total das árvores foi mensurada, com o uso de hipsômetro Haglof EC IID. O diâmetro de copa e o comprimento de copa foram obtidos com o uso de trena. Para o diâmetro de copa foi adotado o procedimento onde medem-se dois diâmetros, formando um ângulo de 90° entre eles, tomando as medidas na projeção da copa. Com isso, o diâmetro de copa é obtido pela média entre os diâmetros. Já para o comprimento de copa, foi tomado a medida do solo até o começo da copa, e assim subtraído esse valor da altura total das árvores. Essas variáveis foram mensuradas a fim de analisar as possíveis correlações entre elas e os teores químicos das folhas.

4.2.2. ANÁLISES QUÍMICAS DAS FOLHAS

Foram coletadas as folhas para análises químicas dos compostos, buscando determinar as concentrações de metilxantinas presentes. As coletas foram feitas entre os meses de junho e agosto de 2020, na estação de inverno, mantendo as coletas dentro de uma mesma estação, evitando assim que fosse possível uma alteração nos resultados em decorrência das características de cada estação do ano. A poda da erva-mate é variável, sendo que cada produtor possui a autonomia de realizá-la em qualquer época do ano, porém em geral a maioria dos produtores realizam ela entre os meses de maio a agosto, durante o inverno ou nos meses do verão, entre novembro e janeiro.

Inicialmente a copa das árvores foi dividida em três porções, sendo o terço inferior, médio e superior. Para cada terço da copa foram coletadas dez (10) folhas, aleatoriamente, sendo folhas jovens e maduras. Assim em cada árvore obteve-se uma amostra de 30 folhas, que foram armazenadas em sacos plásticos Zip Lock, com tamanho 20 x 35 cm, formando uma amostra composta para cada árvore.

Esse “blend” de folhas foi levado no mesmo dia ao laboratório após a coleta a campo, sendo armazenado em freezer para manter as propriedades físicas e químicas das folhas. O laboratório responsável pelas análises químicas pertence a empresa Guayaki Yerba Mate Brasil, com sede no município de Turvo – PR. A empresa possui um laboratório especializado em análises de composição químicas em plantas.

Após a obtenção das folhas para amostras químicas, foram selecionadas 10 folhas aleatoriamente dentre as 30 coletadas para obtenção do valor de área foliar das plantas selecionadas a campo. Na Figura 6 é possível verificar como foi realizada a obtenção do comprimento e largura das folhas e também como as amostras foram armazenadas.



FIGURA 6 - A: Medição de largura e comprimento das folhas selecionadas para estimativa de área foliar; B: Folhas coletadas para análise química, devidamente armazenadas para envio ao laboratório.

Para cada uma das dez folhas foram medidas a largura e comprimento, para cálculo da área. Para a determinação da área foliar de cada planta fez-se uso do método de dimensões foliares, proposto por Barros et al., (1973) e utilizado por Flumignan et al. (2008) para obtenção de dimensões foliares do café. No presente trabalho foi aferido as medidas de máximo comprimento e máxima largura das folhas, para cálculo da área por meio da fórmula da elipse (1).

$$\text{Área da elipse} = \left(\frac{L}{2}\right) \times \left(\frac{C}{2}\right) \times \pi \quad (1)$$

(1) – Fórmula da área da elipse, sendo: L: largura da folha; C: comprimento da folha; π : Pi;

4.2.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Antes do início da preparação das amostras para análise, foi necessário fazer as curvas de calibração, tanto para cafeína quanto para a teobromina. Foram preparadas soluções padrões para os dois compostos e criado pontos de calibração, onde cada qual possui uma concentração conhecida. Após isso deu-se o início do processamento das amostras.

Primeiramente, a amostra de erva-mate foi homogeneizada dentro do mesmo saco plástico onde foi armazenada, sendo agitada até que seu conteúdo ficasse devidamente uniforme. Após a homogeneização, a amostra foi seca, em estufa, até apresentar estabilidade em seu peso. Após isso, a mesma foi moída com auxílio de um moinho elétrico. As amostras foram moídas até estar com folhas e palitos em uniformidade, como mostra a Figura 7.



FIGURA 7 - Amostra de erva-mate moída após a homogeneização, para ser realizado procedimento de extração de metilxantinas.

Após a moagem, foi pesado 0,06g de amostra em um tubo tipo Falcon de 15 ml e colocado dentro do mesmo tubo, a água em estado de ebulição. Em seguida foi fechado o tubo e deixado em agitação no aparelho Vortex por 30 minutos (processo de extração).

Após essa etapa, o tubo permaneceu em repouso por 15 minutos, para que o material vegetal se instalasse na base do tubo. Utilizou-se uma seringa de 3 ml para se fazer a coleta do material do tubo e passar o material para o vial, que se trata de um recipiente de vidro, onde foi injetado no HPLC (*High performance liquid chromatography*) ou Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, utilizando o equipamento Cromatógrafo Líquido de alta Eficiência (CLAE) Thermo Cientific – Ultimate 3000, que é composto por sistemas com injetor automático, forno de coluna, detector UV/VIS e computador.

Após esse processo no sistema do Cromatógrafo, obtiveram-se os cromatogramas com os resultados para cada amostra. O cálculo é efetuado automaticamente pelo software Chromeleon a partir da curva de calibração previamente elaborada. Os resultados obtidos por meio da curva de calibração são expressos em mg/L.

4.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.3.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos, cada um deles apresentando 30 repetições, sendo que cada árvore de cada local de coleta tornou-se uma repetição. Os 120 indivíduos de erva-mate divididos em quatro áreas de coleta foram considerados como sendo as unidades amostrais do estudo. Foi determinado uma altura aproximada para os locais de coleta, sendo 1.100 m para as áreas de Inácio Martins e 790 m para as áreas de Prudentópolis. Os tratamentos estão descritos da seguinte forma:

T1 – Pleno Sol (Altitude média 790 m)

T2 – Sombreado (Altitude média 790 m)

T3 – Pleno Sol (Altitude média 1.100 m)

T4 – Sombreado (Altitude média 1.100 m)

Os dados obtidos com as coletas a campo, bem como os resultados das análises químicas foram organizados em planilha eletrônica no *Microsoft Excel*® para compilação dos dados. As análises básicas, como Desvio Padrão, Variância e Média foram feitas no software *Microsoft Excel*®. A análise qualitativa, para conhecimento de amplitude de valores também foi feita no mesmo programa. Com os dados das variáveis dendrométricas foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, com significância de 5% entre as variáveis dendrométricas, área foliar e teores de metilxantinas, a fim de identificar alguma correlação, seja ela positiva ou negativa entre os dados. A correlação pode ser fraca ($0 < r < 0,3$), regular ($0,3 < r < 0,6$), forte ($0,6 < r < 0,9$) ou muito forte ($0,9 < r < 1,0$) (CALEGARI-JACQUES, 2003).

Foram realizadas análises estatísticas para as variáveis dendrométricas e para os teores de cafeína e teobromina bem como para área foliar, resultando assim em grupos distintos de valores. Para a análise estatística foi utilizado o software R (R Core Team 2021), com ferramentas contidas no pacote “*EasyAnova*” (ARNHOLD, 2013). O pacote “*EasyAnova*” foi utilizado devido aos dados serem considerados desbalanceados pois um valor de teor de cafeína das amostras foi perdido, não sendo considerado para o presente estudo. Inicialmente foi realizado o teste de normalidade dos resíduos e o teste para observar se as variâncias dos resíduos são homogêneas, empregando-se o teste de

Shapiro Wilk e o teste de Bartlett respectivamente, ambos com 5% de significância. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias foi aplicado a Análise de Variância - ANOVA, com 5% de probabilidade, para determinação se houve diferença significativa entre os tratamentos. Caso fosse rejeitado a hipótese imposta pela anova, ou seja, os tratamentos foram diferentes, ou ao menos um se diferenciou dos demais, então foi aplicado o teste de TUKEY, com 5% de probabilidade de erro para identificação dos tratamentos superiores.

Para as variáveis que não apresentaram distribuição normal dos resíduos, bem como a não homogeneidade das variâncias, como as variáveis diâmetro do tronco, altura total, diâmetro de copa, comprimento de copa, área foliar e os dados de teores de teobromina, foi realizada a transformação dos mesmos, submetendo os dados a transformações do tipo logarítmica de base 10. Apenas os dados de teores de cafeína mostraram-se normais em sua forma original. Entretanto, a variável de diâmetro do tronco (DT) não se mostrou normal após a transformação logarítmica. Assim, esses dados foram submetidos a outros tipos de transformação, como a logarítmica natural, raiz quadrada e Box Cox, porém apesar das transformações, os dados ainda não apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias. Portanto, os mesmos foram considerados dados não paramétricos, sendo assim necessário a aplicação de um teste não paramétrico para obtenção das médias dos tratamentos.

Em função do delineamento estatístico do presente estudo, o teste não paramétrico indicado para esse caso foi o de Kruskal-Wallis, com 5% de significância, onde esse teste compara três ou mais amostras independentes realizando o ordenamento das medianas (CARNELUTTI FILHO et al. 2001). Após a aplicação desse teste, e caso o mesmo indicasse a significância entre os tratamentos, foi aplicado o teste de Dunn, um teste de comparação de medianas compatível com o teste de Kruskal-Wallis, com um método de ajuste de Bonferroni, um ajuste para múltiplas comparações, para identificação dos tratamentos superiores.

4.4. INTERAÇÃO SOLO-PLANTA

Para uma representação da variação dos teores de cafeína e teobromina nas folhas de erva-mate, realizou-se uma interpolação dos dados obtidos por meio das coordenadas geográficas obtidas de cada um dos indivíduos em função dos teores das metilxantinas.

Para geração dos mapas com as propriedades de cafeína e teobromina foi utilizado o software Qgis® (QGIS.org, 2021), para realizar a interpolação dos dados pelo método IDW – *Inverse Distance Weighted*, ou Inverso do peso da distância. A utilização desse método de interpolação se dá devido aos dados não terem dependência espacial, impossibilitado a utilização da geoestatística, por exemplo.

A interpolação permite que em um mapa sejam quantificados os valores de uma variável denominada Z, em função das coordenadas geográficas, nesse caso atuando com X e Y. Essa ferramenta auxilia em estudos científicos uma vez que possibilita uma melhor visualização da variabilidade dos teores químicos presentes nas áreas de estudo, e posteriormente uma comparação entre os locais e sistemas de cultivos.

Para realizar a interpolação, foram necessários os limites das quatro (4) áreas de estudo, em formato shapefile (.shp), bem como as coordenadas de cada árvore onde foram coletadas as folhas para análise química. Esses dados foram processados utilizando uma ferramenta dentro do próprio software, chamada interpolação, e os mapas interpolados foram extraídos em formato de imagem (.jpeg).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS

Visando demonstrar a variabilidade dos dados, bem como suas características e singularidades foi compilado uma tabela descritiva dos dados, como consta na Tabela 3.

TABELA 3 – Estatísticas básicas comparativas de variáveis dendrométricas, área foliar, cafeína e teobromina obtidas em indivíduos de erva-mate presentes nas áreas de estudo.

Variáveis dendrométricas	Locais	Sistemas de produção	Média	Desvio Padrão	Variância ²	Coefficiente de variação (%)
Diâmetro do tronco (cm)	Prudentópolis	Pleno Sol	5,062	0,834	0,696	16,47
		Sombreado	10,387	3,657	13,376	35,2
	Inácio Martins	Pleno Sol	12,773	4,388	19,257	34,35
		Sombreado	8,194	3,124	9,758	38,12
Altura total (m)	Prudentópolis	Pleno Sol	2,227	0,33	0,109	14,81
		Sombreado	4,729	0,872	0,76	18,43
	Inácio Martins	Pleno Sol	3,873	0,523	0,273	13,5
		Sombreado	3,451	0,514	0,264	14,89
Comprimento de Copa (m)	Prudentópolis	Pleno Sol	2,077	0,336	0,113	16,17
		Sombreado	3,838	0,825	0,68	21,49
	Inácio Martins	Pleno Sol	2,879	0,516	0,267	17,92
		Sombreado	2,423	0,526	0,277	21,7

Diâmetro de copa (m)	Prudentópolis	Pleno Sol	2,422	0,567	0,321	23,41
		Sombreado	2,709	0,687	0,472	25,35
	Inácio Martins	Pleno Sol	2,965	0,888	0,789	29,94
		Sombreado	2,167	0,579	0,336	26,71
Área foliar (cm ² /planta)	Prudentópolis	Pleno sol	390,21	82,623	6826,53	21,17
		Sombreado	514,59	134,493	18088,25	26,14
	Inácio Martins	Pleno sol	278,14	61,571	3791,01	22,13
		Sombreado	475,50	108,140	11694,21	22,74
Cafeína (mg/L)	Prudentópolis	Pleno sol	57,54	34,33	1178,85	59,67
		Sombreado	60,43	21,15	447,12	34,99
	Inácio Martins	Pleno sol	43,60	25,04	626,99	57,43
		Sombreado	51,55	26,85	720,83	52,08
Teobromina (mg/L)	Prudentópolis	Pleno sol	15,17	11,10	123,26	73,18
		Sombreado	9,41	4,98	24,84	52,95
	Inácio Martins	Pleno sol	7,51	4,37	19,10	58,21
		Sombreado	4,12	5,78	33,39	81,7

Na Tabela 3 está demonstrado os dados de média, variância e desvio padrão, bem como o coeficiente de variação (CV%) das variáveis dendrométricas e área foliar obtidas a campo, bem como os teores de cafeína e teobromina obtidos por meio de análises químicas em laboratório. É possível verificar os valores de mínimo e máximo de cada variável, para cada área de estudo.

5.2. AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

5.2.1. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ANÁLISES QUÍMICAS

Para a análise das correlações entre as variáveis, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson, construindo assim matrizes de correlação entre os dados. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 4.

TABELA 4 - Matrizes de correlação entre variáveis dendrométricas, área foliar e teores de metilxantinas obtidos nas áreas de estudo.

	LOCAL: PRUDENTÓPOLIS			CONDIÇÃO: PLENO SOL			
	Diâmetro do tronco	Altura total	Diâmetro de copa	Comprimento de copa	Área foliar	Cafeína	Teobromina
Diâmetro do tronco	-	0,086	0,218	0,121	-0,263	-0,475	0,354
Altura total	-	-	0,372	0,995	0,222	-0,385	0,239
Diâmetro de copa	-	-	-	0,397	-0,298	-0,268	0,266

Comprimento de copa	-	-	-	-	0,183	-0,393	0,241
Área foliar	-	-	-	-	-	0,190	-0,113
Cafeína	-	-	-	-	-	-	-0,640
Teobromina	-	-	-	-	-	-	-
LOCAL: INÁCIO MARTINS			CONDIÇÃO: PLENO SOL				
	Diâmetro do tronco	Altura total	Diâmetro de copa	Comprimento de copa	Área foliar	Cafeína	Teobromina
Diâmetro do tronco	-	0,189	0,311	0,159	-0,266	-0,236	-0,031
Altura	-	-	0,359	0,703	-0,130	0,086	-0,157
Diâmetro de copa	-	-	-	0,147	-0,351	-0,340	0,059
Comprimento de copa	-	-	-	-	-0,020	0,072	-0,277
Área foliar	-	-	-	-	-	0,125	-0,229
Cafeína	-	-	-	-	-	-	-0,491
Teobromina	-	-	-	-	-	-	-
LOCAL: PRUDENTÓPOLIS			CONDIÇÃO: SOMBREADO				
	Diâmetro do tronco	Altura total	Diâmetro de copa	Comprimento de copa	Área foliar	Cafeína	Teobromina
Diâmetro do tronco	-	0,349	0,568	0,164	0,148	-0,194	0,014
Altura	-	-	0,501	0,868	-0,113	-0,101	0,157
Diâmetro de copa	-	-	-	0,256	0,289	-0,145	0,099
Comprimento de copa	-	-	-	-	-0,128	-0,263	0,307
Área foliar	-	-	-	-	-	0,149	-0,090
Cafeína	-	-	-	-	-	-	-0,706
Teobromina	-	-	-	-	-	-	-
LOCAL: INÁCIO MARTINS			CONDIÇÃO: SOMBREADO				
	Diâmetro do tronco	Altura total	Diâmetro de copa	Comprimento de copa	Área foliar	Cafeína	Teobromina
Diâmetro do tronco	-	0,290	0,423	0,121	-0,131	-0,129	-0,307
Altura	-	-	0,643	0,772	-0,029	-0,010	0,067
Diâmetro de copa	-	-	-	0,515	-0,043	-0,108	-0,107
Comprimento de copa	-	-	-	-	-0,113	-0,072	0,060
Área foliar	-	-	-	-	-	0,287	0,047
Cafeína	-	-	-	-	-	-	-0,556
Teobromina	-	-	-	-	-	-	-

Conforme Callegari-Jacques (2003) a correlação pode ser considerada fraca ($0 < r < 0,3$), regular ($0,3 < r < 0,6$), forte ($0,6 < r < 0,9$) ou muito forte ($0,9 < r < 1$). A variável altura quando correlacionada com a variável comprimento de copa apresentou para todas as áreas de estudo correlação forte positiva ($0,6 < r < 0,9$), sendo que na área de Prudentópolis a Pleno Sol a correlação foi considerada muito forte positiva ($0,9 < r < 1$). Esse resultado pode ser explicado pelo fato que a variável comprimento de copa é

dependente da variável altura total. Ademais a altura apresentou correlação fraca com as demais variáveis, apenas apresentando correlação regular comparada com a variável diâmetro de copa.

A variável Diâmetro do tronco apresentou correlação regular negativa relacionada com a cafeína e positiva relacionada com a teobromina apenas em uma das áreas de estudo, portanto não é possível inferir alguma conclusão sobre essa correlação sendo que esse resultado não foi observado nas outras áreas do estudo. Quando correlacionada com a variável diâmetro de copa, o diâmetro do tronco apresentou correlação regular em três das áreas de estudo (áreas em Inácio Martins e a área sombreada em Prudentópolis), indicando assim uma tendência de relação positiva entre as variáveis. Com a altura total, o diâmetro do tronco apresentou uma correlação considerada superior nas áreas sombreadas em comparação a áreas a pleno sol.

A área foliar apresentou correlação fraca com todas as variáveis estudadas indicando assim que a mesma não possui correlação com as variáveis dendrométricas, bem como os teores de cafeína e teobromina presentes nas folhas dos indivíduos estudados. O trabalho de Zerbielli (2016) encontrou correlação de 0,59 entre a área foliar e os teores de cafeína em ervais com diferentes níveis de sombreamento. O mesmo autor indica que a luminosidade possui alta correlação negativa com a área foliar.

Se tratando da correlação entre as metilxantinas, observou-se uma correlação regular negativa em todas as áreas de estudo ($-0,3 < r < -0,6$), indicando que, indivíduos que possuem alto teor de cafeína tendem a apresentarem baixos teores de teobromina, ou mesmo o inverso. Nesse contexto, o estudo de Rakocevic et al. (2011) encontrou uma correlação entre cafeína e teobromina de 0,559 estudando propriedades químicas das folhas de áreas sombreadas.

Conforme descrito, os teores de cafeína e teobromina foram as variáveis estudadas que apresentaram maior grau de correlação, mesmo sendo negativa. Na Figura 8 é possível observar graficamente a correlação dos dados de cafeína e teobromina das áreas de estudo.

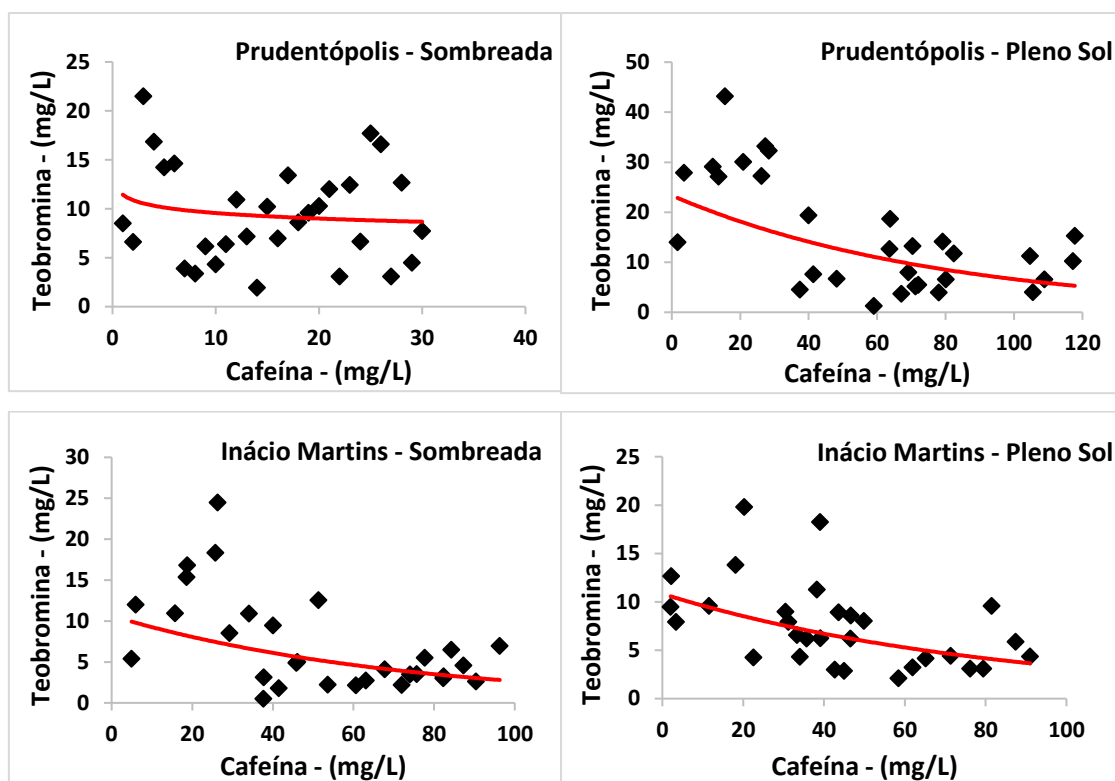


FIGURA 8 – Gráficos de correlação entre teores de cafeína e teobromina para as 4 áreas estudadas na região centro-sul do estado do Paraná.

O estudo de Marx et al. (2003) estudando a concentração química de ervais plantados em Misiones na Argentina encontrou uma correlação entre as duas metilxantinas de $r = 0,37$. No mesmo estudo os autores constataram que a cafeína é negativamente correlacionada com as colheitas realizadas nas áreas de estudo, concluindo que os teores de cafeína diminuem logo após a colheita das folhas e galhos.

5.2.2. VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Inicialmente para os dados de diâmetro do tronco, de acordo com o teste de Shapiro Wilk, a nível de 5% de probabilidade de erro, os resíduos não foram considerados normais, e o teste de Bartlett considerou que as variâncias não foram homogêneas, sendo assim necessária a transformação dos dados. Inicialmente foi realizada a transformação logarítmica, não normalizando os dados, assim foi realizada a transformação por raiz quadrada, também não normalizando os dados. Após isso foi realizada a transformação por Box Cox também não conseguindo normalizar os dados. Assim sendo os dados da variável diâmetro de tronco foram considerados não paramétricos, sendo necessário a aplicação do teste de Kruskal-Wallis (TABELA 5). Esse teste indica que $p\text{-valor} < 0,05$

define que as amostras comparadas são diferentes estatisticamente, sendo que o valor obtido de qui-quadrado no teste foi de 64,837 e o p-valor resultante do teste foi de 0,0001, assim, admitimos que há diferença entre os tratamentos para a variável de diâmetro do tronco. Com isso, foi aplicado o teste de Dunn, para identificação dos tratamentos superiores (TABELA 5).

TABELA 5 – Valores obtidos com a aplicação do teste de Dunn, a nível de 5% de significância para a variável diâmetro do tronco.

Tratamentos	Medianas	Médias	
Inácio Martins – Pleno Sol	12,73	12,77	a
Prudentópolis – Sombreado	9,26	10,38	a
Inácio Martins – Sombreado	7,73	8,19	b
Prudentópolis – Pleno Sol	4,95	5,06	c

Com médias de 12,77 cm e 10,38 cm de diâmetro médio, a área a pleno sol em Inácio Martins e a área Sombreada em Prudentópolis foram consideradas superiores estatisticamente que as demais. Já a área de Prudentópolis a pleno sol foi a que apresentou menor valor de diâmetro médio (5,06 cm).

O trabalho de Signor et al. (2013) avaliando a biomassa comercial de erva-mate na região de Inácio Martins obteve alguns valores de variáveis dendrométricas. No estudo o autor obteve o valor médio de 5,5 cm para o diâmetro medido a 0,6 m do solo, com um CV% de 61,6% para essa variável.

A variável diâmetro do tronco teve grande variação em relação aos valores obtidos. As áreas de Inácio Martins e a área sombreada de Prudentópolis possuem um aspecto em comum, a criação de animais consorciada com o cultivo da erva-mate, porém não é empregado técnicas culturais visando o aprimoramento do erval em si, sem condução dos ramos ou realização do rebaixamento para emissão de maior número de ramos, aumentando a produção das árvores.

Se tratando das demais variáveis dendrométricas obtidas no presente estudo, nenhuma apresentou distribuição normal e homogeneidade de variâncias com os dados iniciais. Assim, foi realizado a transformação dos dados, logaritmizando os mesmos. Portanto, após a transformação dos dados por meio da transformação logarítmica, os testes de Shapiro Wilk a 5% de probabilidade de erro, e os testes de Bartlett indicaram normalidade dos dados para as três variáveis restantes (altura, comprimento de copa e diâmetro de copa), conforme Tabela 6.

TABELA 6 – Valores de significância para os testes de Shapiro Wilk e Bartlett para as variáveis Altura, comprimento de copa e diâmetro de copa. Valor de p-valor > 0,05 indicam a aceitação da primeira hipótese proposta, ou seja, os resíduos são considerados normais e as variâncias são consideradas homogêneas.

Variáveis	Shapiro Wilk (p-valor)	Bartlett (p-valor)
Altura	0,374	0,346
Comprimento de copa	0,743	0,436
Diâmetro de copa	0,948	0,711

Assim aplicou-se a ANOVA para as três variáveis, com probabilidade de erro de 5%, conforme a Tabela 7.

TABELA 7 – Análise de variância para os dados das variáveis altura, comprimento de copa e diâmetro de copa, incluindo valores de coeficiente de variação e valores de significância.

Variáveis dendrométricas	Coefficiente de variação (%)	Fcal	P-valor
Altura	12,43	129,97 ^{ns}	<0,001
Comprimento de copa	19,17	56,72 ^{**}	<0,001
Diâmetro de copa	28,61	8,18 ^{**}	<0,001

ns: não significativo; *: Significativo a nível de 5% de probabilidade de erro; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade de erro

Considerando as análises de variâncias, constatou-se que há diferenciação entre os tratamentos para as três variáveis consideradas (Altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa). Assim torna-se necessário a aplicação do teste de Tukey para identificação dos tratamentos superiores (TABELA 8).

TABELA 8 – Valores referentes ao teste de média de Tukey, a 5% de significância para a variável altura total nas áreas de estudo.

Variáveis dendrométricas	Área de estudo	Médias
Altura	Prudentópolis – Sombreada (T2)	4,73 a
	I. Martins – Pleno Sol (T3)	3,87 b
	Inácio Martins – Sombreada (T4)	3,45 c
	Prudentópolis – Pleno Sol (T1)	2,23 d
Comprimento de copa	Prudentópolis – Sombreada (T2)	3,84 a
	I. Martins – Pleno Sol (T3)	2,88 b
	I. Martins – Sombreada (T4)	2,42 c
	Prudentópolis – Pleno Sol (T1)	2,08 d
Diâmetro de copa	I. Martins – Pleno Sol (T3)	2,96 a
	Prudentópolis – Sombreada (T2)	2,71 ab
	Prudentópolis – Pleno Sol (T1)	2,42 bc
	Inácio Martins – Sombreada (T4)	2,17 c

Médias seguidas da mesma letra nas colunas são consideradas iguais estatisticamente.

Conforme indicado na Tabela 5, a área localizada em uma região com altitude aproximada de 790 m, sob regime sombreado foi a área que apresentou maior média de altura, diferenciando-se estatisticamente das demais. Essa superioridade pode ser explicada pelo regime de podas realizado anteriormente na área, onde a intensidade realizada pode ter sido inferior que as demais e os intervalos entre as podas mais longo, o que proporcionou aos indivíduos de erva-mate melhores condições para seu desenvolvimento, aumentando assim seu crescimento em altura.

Para a variável altura, todas as áreas se diferiram entre si, sendo que a área de Prudentópolis a pleno sol apresentou a menor média estatística. Esse resultado é explicado pelo manejo aplicado pelo produtor nessa área, onde as plantas são induzidas a emissão de galhos desde uma altura aproximada de 30 cm. Esse manejo prioriza um maior número de galhos e ramos, aumentando a produtividade por planta. Os resultados encontrados para a variável altura total e comprimento de copa foram similares, fato explicado pela relação de dependência que a variável comprimento de copa tem para com a variável altura total, uma vez que ela é encontrada utilizando o valor mensurado da altura da planta.

Signor et al. (2013) avaliando a biomassa comercial de indivíduos de erva-mate na região de Inácio Martins em ervais sombreados obteve um valor de altura média de 4,0 m, com um CV% de 26,6% e também um valor médio de comprimento de copa de 3,3 m, com um CV% de 29,6. O trabalho de Fleig (2002) encontrou os valores de 3,1 m para média de altura total para um plantio a pleno sol de erva-mate no estado de Santa Catarina. Já o trabalho de Berger et al. (2006) obteve uma altura média de 2,92 para indivíduos abatidos, no trabalho que teve como objetivo quantificar a biomassa total de indivíduos de erva-mate em ervais sombreados. Vuaden (2009) obteve valores de altura média semelhante aos trabalhos mencionados, com valor de 3,0 m.

Berger (2007) obteve valores para comprimento de copa, sendo 4,13 m de comprimento médio e 1,58 m de desvio padrão. O trabalho de Fleig (2002) encontrou uma média de 2,3 m para o comprimento de copa de indivíduos de erva-mate.

Por fim, o diâmetro de copa apresentou médias superiores para as áreas de Inácio Martins a pleno sol e Prudentópolis sombreada, ambas foram iguais estatisticamente. As duas áreas de Prudentópolis foram iguais estatisticamente, com médias de 2,71 m para a área sombreada e 2,42 para a área a pleno sol. Com a menor média estatística encontrada ficou a área de Inácio Martins sombreada, com média de 2,17 m. O trabalho de Fleig (2002) obteve uma média de diâmetro de copa em indivíduos de erva-mate de 2,2 m em

um plantio homogêneo de erva-mate no estado de Santa Catarina. Já o estudo desenvolvido por Vuaden (2009) encontrou valores de 1,5 m para diâmetro de copa. Apesar de se tratarem de ervais cultivados naturais, que não foram plantados e possuem sua ocorrência natural, os indivíduos de erva-mate presentes na área sombreada de Prudentópolis apresentaram em geral um maior porte, tanto em altura total, bem como diâmetro e comprimento de copa.

5.2.3. AVALIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR

Para os dados de área foliar foi necessário a transformação logarítmica, pois os mesmos não apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias para os dados iniciais. Após a transformação foi observado que os dados apresentaram normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro Wilk (0,6886) e homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett (0,6335), ambos a 5% de probabilidade de erro. Portanto, os dados da variável área foliar foram submetidos a Análise de Variância – ANOVA, também a 5% de probabilidade, conforme Tabela 9.

TABELA 9 - Análise de Variância para os dados de área foliar média por indivíduos de quatro populações de *Ilex paraguariensis* localizadas na região Centro-Sul do estado do Paraná. CV%: 24,24.

Análise de variância – ANOVA					
	GL	SQ	QM	Fcal	P-valor
Tratamentos	3	1,2397	0,4132	39,6805**	<0,001
Resíduo	116	1,2080	0,0104		
Total	119				

ns: não significativo; *: Significativo a nível de 5% de probabilidade de erro; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade de erro

Com o resultado da análise de variância, observou que os tratamentos possuem significância, ou seja, possuem diferenças entre si, sendo necessário então a aplicação do teste de comparação de médias de Tukey, com 5% de significância para a identificação dos tratamentos superiores estatisticamente (TABELA 10).

TABELA 10 -Resultado do teste de média de Tukey, a 5% de probabilidade de erro para os dados de Área foliar para as quatro áreas de estudo.

Variável	Área de estudo	Médias
Área foliar	Prudentópolis – Sombreada (T2)	514,6 (cm ² /planta) a
	I. Martins – Sombreada (T4)	475,5 (cm ² /planta) a
	Prudentópolis – Pleno Sol (T1)	390,2 (cm ² /planta) b
	I. Martins – Pleno Sol (T3)	278,1 (cm ² /planta) c

Médias seguidas de mesma letra na coluna são consideradas iguais estatisticamente.

De acordo com o resultado do teste de Tukey, os tratamentos 2 e 4 foram considerados superiores estatisticamente que os demais, ambos se tratando de áreas sombreadas, fator que pode explicar os resultados obtidos pelo estudo. Devido a menor disponibilidade de luz, quando compara com áreas a pleno sol, plantas que se encontram sob sombreamento tendem a aumentar sua área foliar em busca de maior taxa fotossintetizante, como mostra os resultados do presente estudo. Já em áreas a pleno sol, comparando entre os locais, áreas com altitude aproximada de 790 m apresentaram maiores médias de área foliar. No presente estudo não foram determinados os índices de luminosidade de cada área, principalmente as sombreadas, ficando como uma recomendação para estudos posteriores, sendo que essa determinação pode auxiliar em conclusões sobre o desenvolvimento dos indivíduos de erva-mate.

Segundo Poletto et al., (2010) a erva-mate apresenta melhor crescimento e desenvolvimento em locais com maior nível de sombreamento. Esse valor pode ser explicado pela influência do dossel na luminosidade que chega aos indivíduos de erva-mate, geralmente localizados no sub-bosque. Devido a falta de luminosidade, as plantas desenvolvem mais suas folhas, aumentando sua área foliar a fim de aumentar os níveis de absorção de luz.

Conforme Pacheco et al. (2013) e Gobbi et al. (2011), procurando uma forma de aumentar sua superfície fotossintetizante em áreas de maior nível de sombreamento, a planta aumenta sua área foliar, conferindo assim maior aproveitamento em baixas intensidades luminosas. De acordo com Bjorkman (1981) é comum em plantas que possuem grande potencial de aclimatação a capacidade de alteração na estrutura das suas folhas, influenciadas pelos diferentes níveis de luz que a mesma recebe.

5.3. TEORES DE METILXANTINAS

5.3.1. AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

5.3.1.1. Teor de cafeína

De acordo com o teste de normalidade de Shapiro Wilk, com 5% de probabilidade de erro, a distribuição dos resíduos pode ser considerada normal, resultando em um p-valor de 0,3020. O teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett apresentou um p-valor de 0,0719, indicando que as variâncias são homogêneas. Após essa etapa, foi

realizado a análise de variância, para teste de significância dos fatores estudados (TABELA 11).

TABELA 11 - Análise de variância para os dados de teores de cafeína obtidos em quatro áreas de estudo localizadas nos municípios de Inácio Martins e Prudentópolis, na região Centro-Sul do estado do Paraná. CV%: 52,58.

Análise de variância – ANOVA					
	GL	SQ	QM	Fcal	P-valor
Tratamentos	3	4929,663	1643,2210	2,2026 ^{ns}	0,0915
Resíduo	116	85792,772	746,0241		
Total	119				

ns: não significativo; *: Significativo a nível de 5% de probabilidade de erro; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade de erro

Analisando os resultados obtidos com a Análise de Variância, observou-se que não houve significância entre os tratamentos, ou seja, os teores de cafeína foram iguais estatisticamente para todos os tratamentos. Portanto, não se faz necessária a aplicação do teste de comparação de médias de Tukey, uma vez que não houve diferença entre os tratamentos propostos.

O resultado do presente estudo ainda não é conclusivo para entender o comportamento da cafeína, sendo ainda necessário para um maior entendimento uma maior gama de locais de coleta, um maior número de regiões amostradas, com diferentes altitudes, diferentes condições de solo, relevo, práticas culturais empregadas nas áreas e também uma diferenciação climática de cada local de estudo.

No trabalho de Andrade (2016), onde avaliou-se a biomassa, clorofila, cafeína e tanino em erva-mate, crescendo sob sombreamento e pleno sol, observou-se que os teores de cafeína não foram afetados pela luminosidade, onde os maiores resultados foram obtidos para os tratamentos extremos de luminosidade e sem luminosidade. Já Rakocevic et al. (2006) verificou que em ambientes sombreados as plantas de erva-mate apresentam teores de cafeína superiores às cultivadas a pleno sol.

Conforme Caron et al. (2014) as concentrações de cafeína em áreas cultivadas com elevada luminosidade tendem a ser menores do que em áreas cultivadas sombreadas, além de provocarem mudanças morfológicas nas plantas. Isso pode ter relação ao efeito de diluição dos compostos nos tecidos vegetais, uma vez que em áreas com alta luminosidade a produção de matéria seca e emissão de folhas jovens é maior, se comparada com áreas sombreadas.

Segundo Esmelindro et al. (2002) outro fator que pode exercer influência sobre os teores de cafeína serem menores em áreas cultivadas a pleno sol é o aumento da

temperatura, que pode degradar as substâncias. Por outro lado, Floss et al. (2000) relatam que em áreas sombreadas, as plantas investem maior energia em produção de metilxantinas, devido a proteção contra insetos, fungos e outros animais prejudiciais a planta.

5.3.1.2. Teor de teobromina

O teste de Shapiro Wilk demonstrou que os dados não têm distribuição normal, assim, foi necessária uma transformação dos dados de teores de teobromina para aplicação do teste. Portanto, os dados foram logaritmizados para posterior aplicação do teste de normalidade, sendo que o teste resultou em um p-valor de 0,1309 indicando uma distribuição normal dos resíduos. Já o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett apresentou um p-valor de 0,0641 indicando assim que as variâncias são homogêneas.

Portanto, sendo possível a aplicação da análise de variância, obtiveram-se os seguintes valores apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 - Análise de variância dos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* presentes nas áreas de estudo. CV%: 72,24.

Análise de variância – ANOVA					
	GL	SQ	QM	Fcal	P-valor
Tratamentos	3	1,8670	0,6553	6,3237**	<0,001
Resíduo	116	11,4156	0,0984		
Total	119				

ns: não significativo; *: Significativo a nível de 5% de probabilidade de erro; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade de erro

Conforme demonstrado pela ANOVA, os tratamentos possuem diferença estatística entre si, portanto os dados de teores de teobromina foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey, com 5% de significância, como demonstrado na Tabela 13.

TABELA 13 – Resultado do teste de média de Tukey, a 5% de probabilidade para os dados de teores de teobromina nas folhas de indivíduos de erva-mate presentes nas áreas de estudo.

Variável	Área de estudo	Médias
Teobromina	Prudentópolis – Pleno Sol (T1)	15,17 a
	Prudentópolis – Sombreada (T2)	9,41 b
	I. Martins – Pleno Sol (T3)	7,50 b
	I. Martins – Sombreada (T4)	7,12 b

- - Médias seguidas da mesma letra nas colunas são consideradas iguais estatisticamente.

Com a aplicação do teste de Tukey, foi observado que a área de Prudentópolis a pleno sol apresentou a maior média estatística (15,17 mg/L), diferindo-se das demais.

Essa área encontra-se em uma altitude de aproximadamente 790. Já as demais interações não apresentaram diferença estatística entre elas. Isso pode ser decorrente de diversos fatores tais como clima, solo, manejo diferente, idade do erval entre outros. Em se tratando do clima das regiões estudadas, ambas encontram-se em região predominante do clima Cfb, porém as áreas de Inácio Martins se encontram em uma altitude mais elevada. O manejo adotado nas áreas de estudo, que realiza a poda em intervalos aproximados de 24 meses, e realiza apenas a limpeza das áreas em forma de roçadas manuais, bem como vem sendo feito historicamente também pode ser considerado uma fonte de variação para tentar explicar os valores encontrados.

Conforme o estudo de Dortzbach et al. (2020) as metilxantinas apresentam um aumento de concentração à medida que há um aumento de sombreamento, onde obteve uma média de 63,35 mg/g e 61,75 mg/g para as áreas sombreadas e 39,07mg/g e 23,00 mg/g com menor nível de sombreamento. Os estudos de Rachwal et al. (2002), testando a influência da luminosidade em plantas com cinco anos de idade, obtiveram menores teores de metilxantinas em indivíduos que recebiam maior luminosidade. Paula (1968) observou grande variação nos teores de cafeína e teobromina na erva-mate produzida para chimarrão influenciada pela região de origem.

Rachwal et al. (2002) avaliando a influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar, teores de macronutrientes, cafeína e teobromina presentes em folhas de erva-mate relatou que não houve diferença nos teores de teobromina em função da variação de luminosidade. Já Mazzafera (1994) destacou que há uma maior produção de metilxantinas em ervais sombreados, se comparados com ervais que recebem maior iluminação. Santos et al. (2011) afirma que características ambientais do local entre outros fatores podem causar diferenças sensíveis no produto gerado a partir da matéria-prima, com atributos específicos de cada região.

5.4. ESPACIALIZAÇÃO PLANTA - METILXANTINAS

Com as coordenadas geográficas obtidas de cada indivíduo que foram selecionados para coleta de folhas para análises químicas bem como aferição de medidas dendrométricas, foi possível a fabricação de mapas interpolados pelo método IDW – “Inverse Distance Weighted” ou, Inverso do Peso da Distância. Com esses mapas torna-se possível a visualização da localização dos indivíduos de erva-mate nas áreas de estudo, bem como a representação dos teores de cafeína e teobromina para cada indivíduo.

Na Figura 9 observa-se a distribuição espacial dos indivíduos de erva-mate em áreas sombreadas em Prudentópolis e Inácio Martins. Esses mapas são relacionados com os teores de Cafeína presente nas folhas dos indivíduos. Os teores de cafeína variaram entre 5,02 (mg/L) para o indivíduo que teve a menor concentração até 96,3 (mg/L) para o indivíduo com maior concentração. Conforme já descrito, a correlação entre cafeína e teobromina se mostrou regular negativamente no presente estudo, ou seja, em indivíduos que apresentaram altos teores de cafeína, apresentaram baixos teores de teobromina, sendo que esse comportamento pode se apresentar ao contrário.

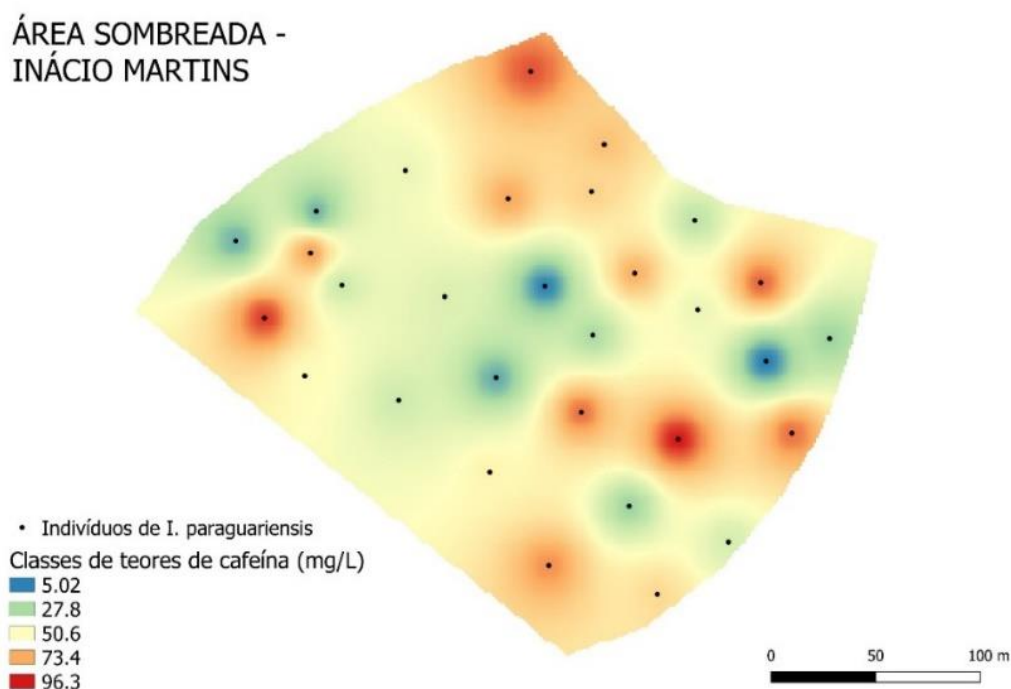


FIGURA 9 - Croqui interpolado pelo método IDW de teores de cafeína presentes nas folhas de erva-mate localizados em uma área sombreada na região de Inácio Martins – PR, com altitude média de 1.100 metros.

Já na Figura 10 observa-se o comportamento dos teores de cafeína presentes nas folhas de erva-mate localizados em uma área sombreada, porém em outra região, no município de Prudentópolis – PR. Essa região teve com altitude média 790 metros.

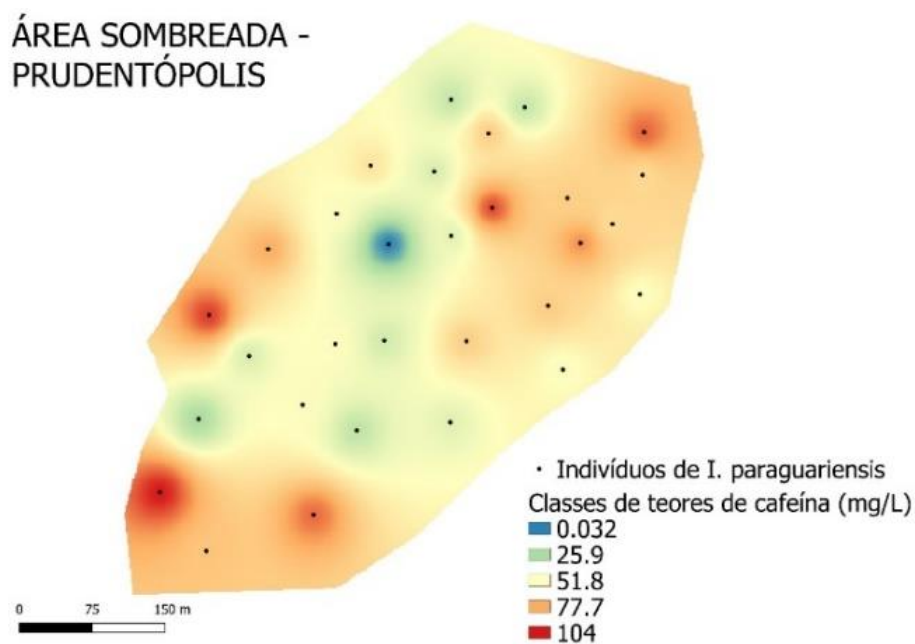


FIGURA 10 – Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína em área sombreada na região de Prudentópolis, com altitude aproximada de 790 m, no Centro-sul do estado do Paraná.

Nota-se uma grande variação nos teores de cafeína, variando entre 0,032 mg/L até 104 mg/L por indivíduo. Essa variação não possui um fator conhecido que exerce influência direta sob os teores encontrados. Na Figura 11 estão demonstrados os indivíduos de erva-mate selecionados em áreas a pleno sol, em Inácio Martins, relacionados com os teores de cafeína encontrados pela análise química.

ÁREA PLENO SOL - INÁCIO MARTINS

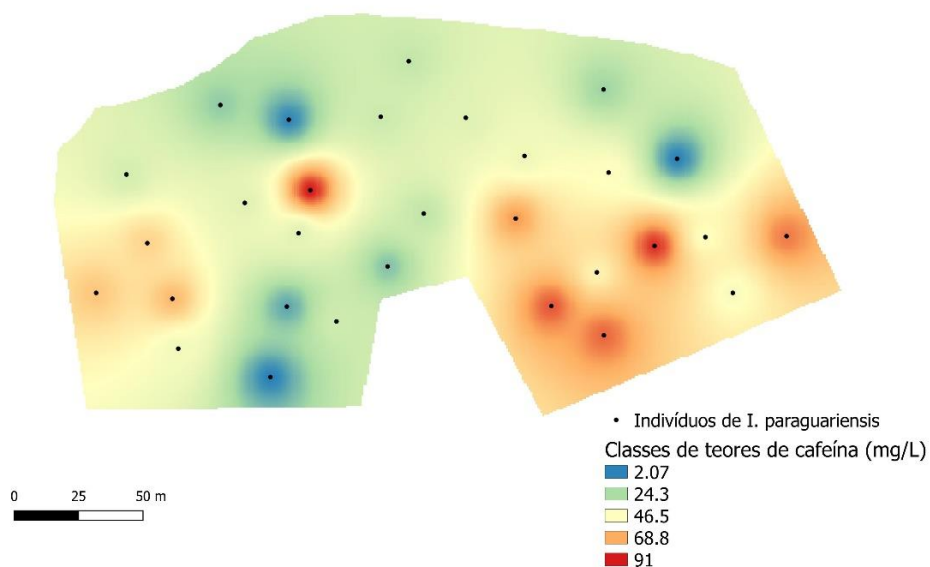


FIGURA 11 - Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína em área sombreada na região de Inácio Martins, no Centro-sul do estado do Paraná.

Conforme demonstrado na Figura 11, os indivíduos localizados na região ao leste da área de estudo apresentaram maiores teores de cafeína, porém isso mostrou-se exceção aos demais, visto que em nenhuma outra área foi encontrado comportamento igual. A cafeína teve grande variação dentro da área de estudo localizada em Prudentópolis a pleno sol (FIGURA 12), com valores entre 1,7 (mg/L) até 118 (mg/L), corroborando com os demais resultados onde mostra a grande variação de teores não só entre as áreas de estudo, mas também dentro da mesma área.

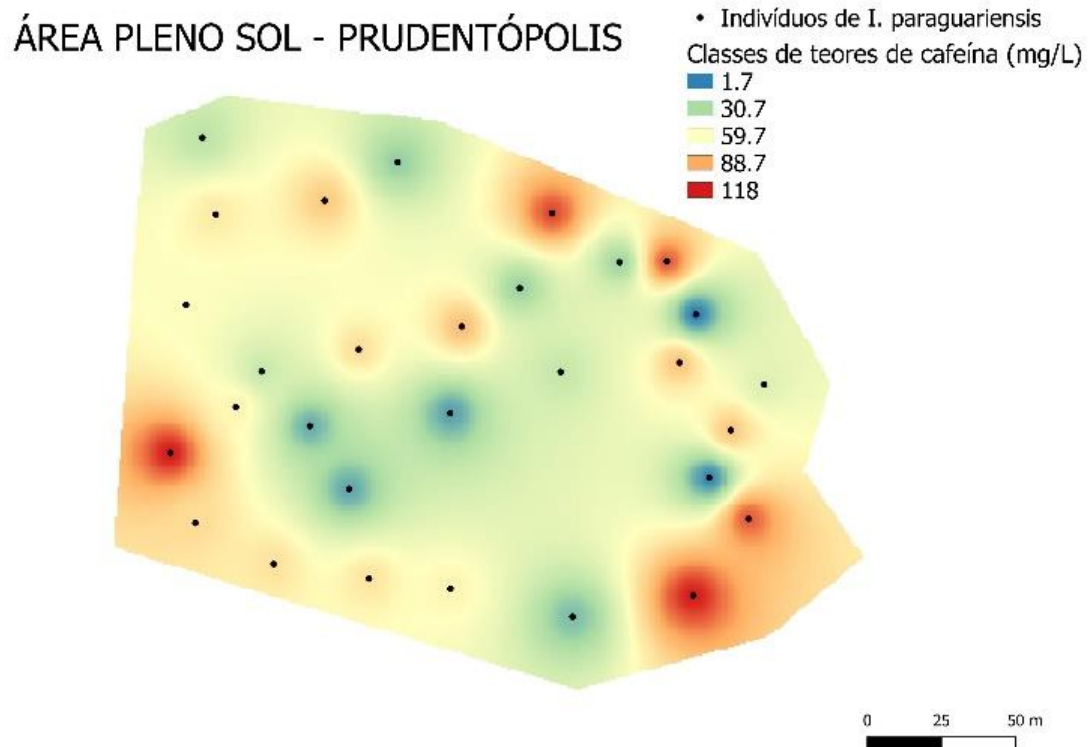


FIGURA 12 - Croqui interpolado pelo método IDW para teores de cafeína presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* presentes em áreas a pleno sol na região de Prudentópolis, localizada na região Centro-Sul do estado do Paraná.

Em relação aos teores de teobromina, há uma diminuição na concentração em relação aos teores de cafeína, como demonstra a Figura 13.

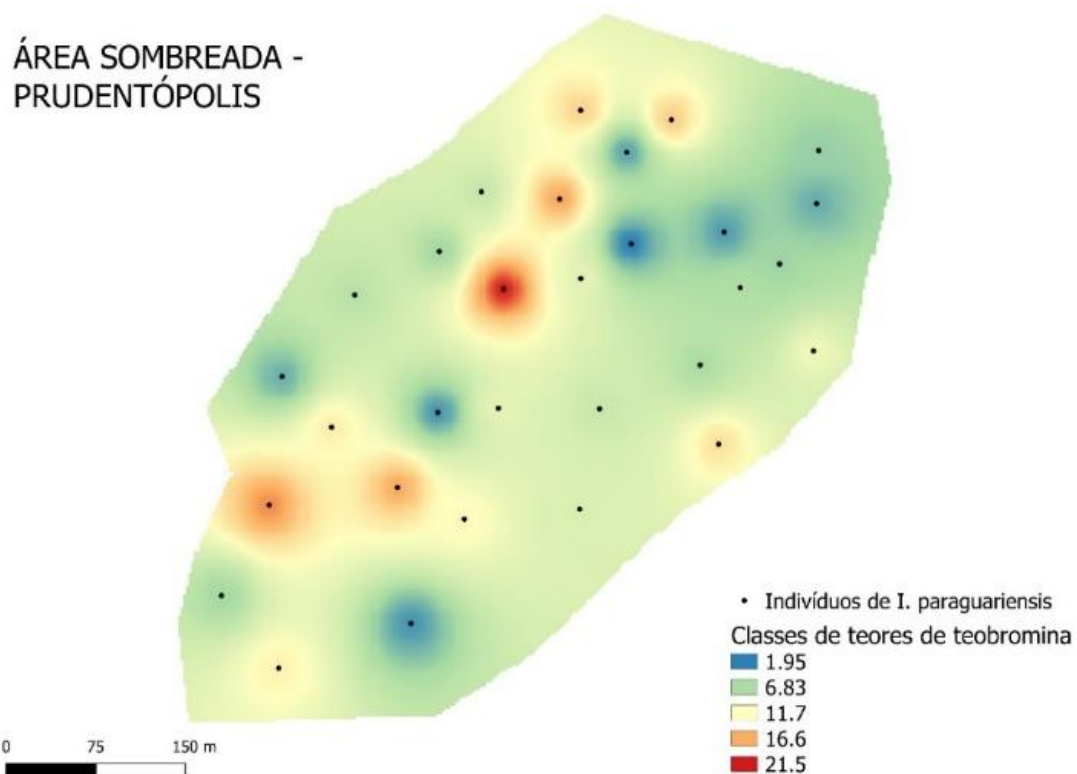


FIGURA 13 - Croqui interpolado em relação aos teores de teobromina (mg/L) presentes nas folhas de erva-mate localizadas em área sombreada na região de Prudentópolis.

A teobromina apresenta teores inferiores aos da cafeína, porém ainda mantém a característica de grande variação entre os indivíduos de mesma área de estudo, como demonstrado na Figura 14.

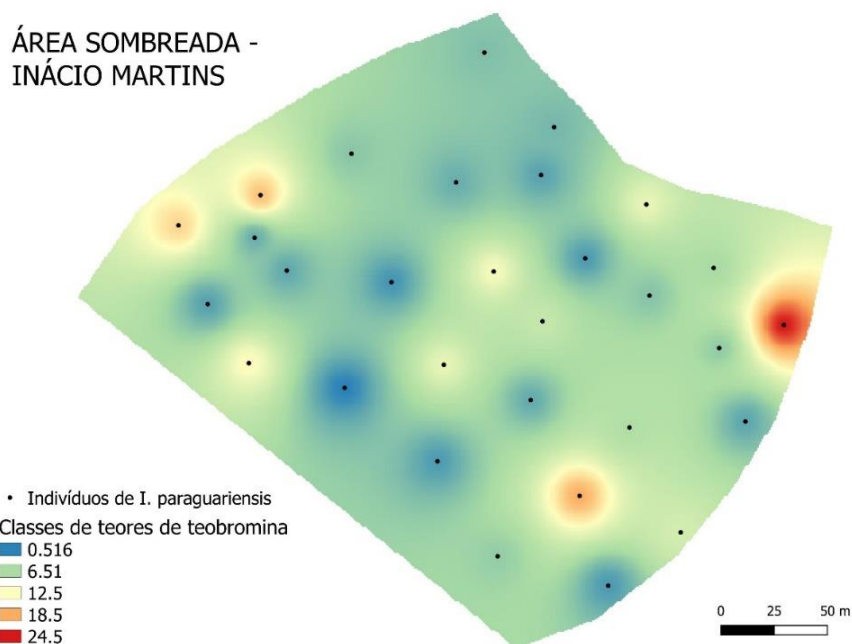


FIGURA 14 – Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área sombreada na região de Inácio Martins – PR.

Os teores de teobromina encontrados nas áreas sombreadas variaram entre 0,516 (mg/L) encontrado na área de Inácio Martins e 24,5 (mg/L) também encontrado na área de Inácio Martins. Os teores de teobromina para as áreas a pleno sol estão demonstrados na Figura 15 e 16.

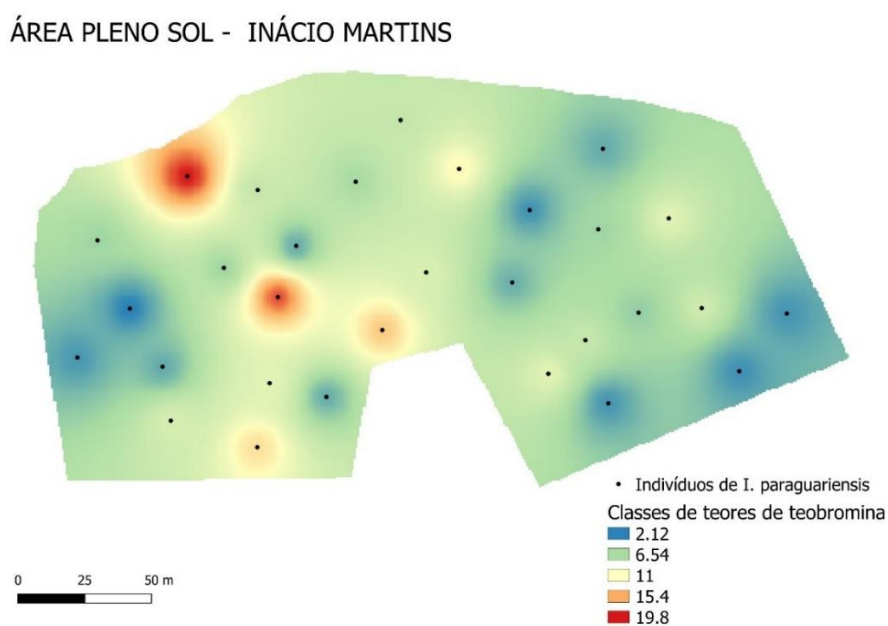


FIGURA 15 - Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área a pleno sol na região de Inácio Martins – PR.

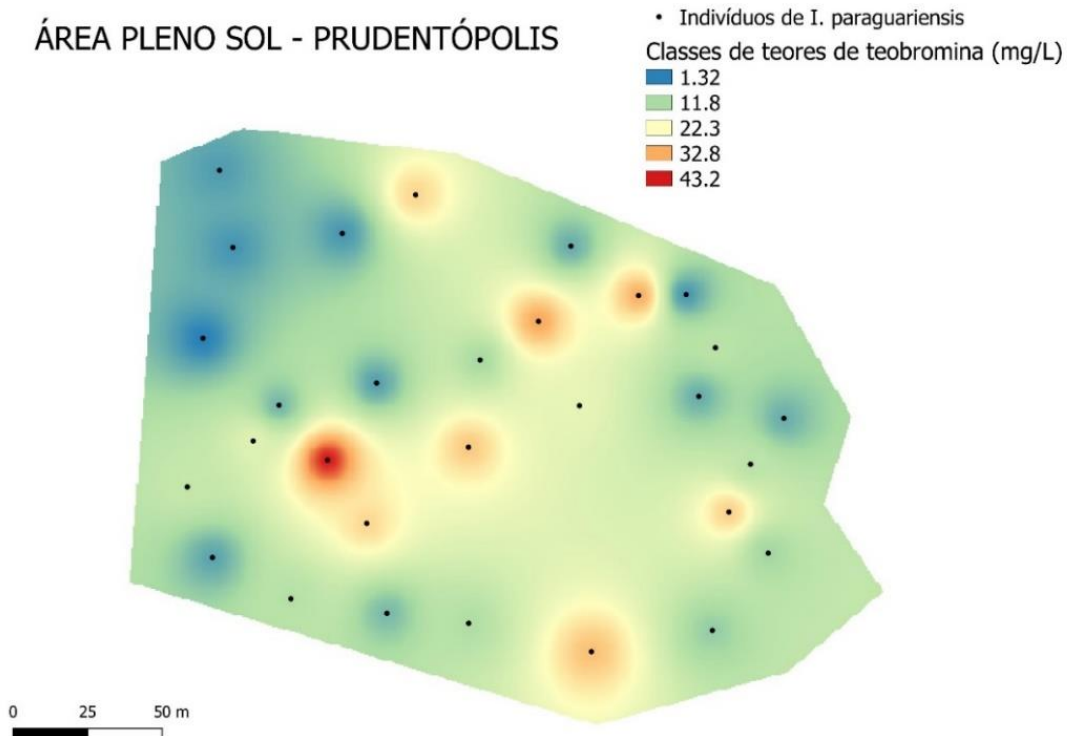


FIGURA 16 - Croqui interpolado pelo método IDW em relação aos teores de teobromina presentes nas folhas de indivíduos de *I. paraguariensis* localizados em área a pleno sol na região de Prudentópolis.

Já as áreas a pleno sol (FIGURA 15 e 16) variaram entre 1,32 (mg/L) encontrado na área de Prudentópolis e 43,2 (mg/L) também encontrado na área de Prudentópolis. Nota-se, como nos outros mapas gerados uma grande variação em termos de teores de metilxantinas.

6. CONCLUSÕES

- Com o presente trabalho, foi possível avaliar as diferenças morfológicas e químicas entre ervais cultivados, com diferentes condições de luminosidade e de altitude, diferenciando assim essas áreas conforme suas características.
- As características de diâmetro do tronco e diâmetro de copa apresentaram maiores médias nas áreas de Inácio Martins, com altitude de 1.100m, a pleno sol e em Prudentópolis com altitude de 790m, na área sombreada. Já a área de Prudentópolis sombreada apresentou médias superiores que as demais para as variáveis altura total e comprimento de copa.
- Os teores de cafeína não diferiram entre os tratamentos, porém, os teores de teobromina foram superiores no tratamento 1, ou seja, para a área de Prudentópolis a pleno sol.
- As áreas sombreadas apresentaram maior Altura, Comprimento de copa e Área foliar se comparada com as áreas a pleno sol.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, F. R. de. **Erva-mate**. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola. 85 p. 1960.
- ALVES, H. M. A.; VOLPATO, M. M. L.; VIEIRA, T. G. C.; BOREM, F. M., BARBOSA, J. N. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p.1-12, 2011.
- ANDRADE, F. M. de. Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol. 2016.
- ANDRADE, F. M. de. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Florestal) – UFPR. Curitiba, 2004.
- ANDRADE, F. M. de. Diagnóstico da cadeia produtiva da *Ilex paraguariensis* St. Hill, erva-mate. São Mateus do Sul: Fundo Brasileiro para a Biodiversidade/FUNBIO, 1999.
- ANDRADE, F. M. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: SIMÕES, L. P.; LINO, C. F. (Org.). **Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. 2. ed. São Paulo: Editora SENAC, 2002. p. 19-34.
- ARJONA, F. B. S., MONTEZUMA, R. C. M., SILVA, I. M. Aspectos etnobotânicos e biogeografia de espécies medicinais e/ou rituais comercializadas no mercado de madureira, RJ. **Caminhos de Geografia**, Edição Especial, vol. 8, n. 23, p. 41-50, 2007.
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.50, n.6, p.488-492, 2013.
- BALZON, D. R. SILVA, J. C. G. L. da; SANTOS, A. J. dos. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros - análise retrospectiva. **Revista Floresta**, v.34, n.3, p.363-371, 2004.
- BARROS, R. S; MAESTRI, M; VIEIRA, M; BRAGAFILHO, L. J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- BEGON, M.; COLIN, R.; TOWNSEND, J. L. H. Ecology: from individuals to ecosystems. 4th ed. **Oxford: Blackwell Publishing**, 2006.
- BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST.-Hil.)**, No município de Nova Prata, RS. 2006. 93 f . 2006. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.BERKAI, D; BRAGA, C. A. 500 anos de história da erva-mate. Porto Alegre, Atlas 2000.
- BERGER, G. D. C. Modelos volumétricos para erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul: uma análise através das técnicas de regressão. 2007.
- BERTONI, M. H; PRAT KRICUN, S. D.; KANZIG, R. G. & CATTANEO, P. Effect of different stages of the traditional process for yerba mate production on the composition of fresh leaves. **Anales de La Asociación Química Argentina**, 80: 493 – 501, 1992.
- BHERING, S. B. et al. Mapa de solos do estado do Paraná. **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**, 2007.

- BJORKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In ANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B., ZEGLER, H. (eds.) Encyclopedia of plant physiology, Vol. 12.4. **Physiological plant ecology**. I, Responses to the physical environment. Springer-Verlag, Berlin, p. 57-107.1981.
- BRACESCO, N., A. G. SANCHEZ, V. CONTRERAS, T. MENINI; A. GUGLIUCCI. Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview. **Journal of ethnopharmacology**, v.136, p.378-84, 2011.
- BROWN, J.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2006.
- BRUNETON, J. **Pharmacognosie et phytochimie de plants medicinales**. 2. Ed.Paris: Lavosier, 1993.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed, Porto Alegre, 2003.
- CARDOSO JÚNIOR, E. L. **Teores de metilxantinas e compostos fenólicos em extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.
- CARNELUTTI FILHO, A. et al. **Testes não paramétricos para pesquisas agrícolas**. Santa Maria: UFSM/CCR/Departamento de Fitotecnia, 2001.
- CARON, B. O., SCHMIDT, D., MANFRON, P. A., BEHLING, A., ELOY, E. BUSANELLO, C. 2014. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal** v 24, 2014. p. 257-265.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**, v. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003, 1039 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPASPI, 1994. 639 p.
- COELHO, G. C. Variabilidade morfológica e química da erva-mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 2; **Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate**, 3., 2000. Encantado. Anais. Porto Alegre. UFRGS e FEPAGRO, 2000. p. 125-128.
- COELHO, G. C., MARIATH, J. E., A. & SCHENKEL, E. P. Populational diversity on leaf morphology of maté (*Ilex paraguariensis* St. Hill. ,Aquifoliaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 45 (1), 47-51. 2002.
- DA CROCE, D. M. & FLOSS, P. A. **Cultura da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina**. EPAGRI. Boletim Técnico nº 100. Florianópolis, 1999. 81 p.
- DANIEL. O. **Erva-mate Sistema de produção e processamento industrial**, Dourado: UEMS 288p. 2009.
- DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p. 383-390, 2005.
- DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKY, J. N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DORTZBACH, D. et al. Influência do meio geográfico nas características do produto erva-mate. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e7489109165-e7489109165, 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. ampl.: Brasília, DF. 2013. 353p.

EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba: EMATER, 1991. 104p. 2ª edição.

ESMELINDRO, M. A.; TONIAZZO, G.; WACZUK, A.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, D. de. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, 2002. p. 193-204.

FERRERA, T. S. et al. Substâncias fenólicas, flavonóides e capacidade antioxidante em erva-mate sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. **Rev. Bras. Pl. Med**, v. 18, n. 2, p. 588–596, 2016.

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.

FLOSS, P. A.; BOHNER, J. A. M.; DITTRICH, R. C. Estudo da longevidade foliar na erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil). In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2; **Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate**, 3., 2000. Encantado. Anais ... Porto Alegre. UFRGS e FEPAGRO, 2000. p. 133-136.

FLUMIGNAN, D. L.; ADAMI, M.; DE FARIA, R. T. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2008.

FONTANA, H. P.; PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. Estudos sobre la germinacion y conservacion de semillas de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Cerro Azul: Inta. Estação experimental de Cerro Azul, 1990. (Informe Técnico, 52).

FRITZSONS, E. et al. Proposta metodológica para subsidiar conservação e melhoramento genético da erva mate no sul do Brasil, baseada em grupos climáticos. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

GIBERTI, G. C. *Ilex* en Sudamérica: Florística, Sistemática y Potencialidades con Relación a un Banco de Germoplasma para la Yerba Mate. IN: 2º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA - MATE E 3ª REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA - MATE. Anais. Encantado.UFRGS/Helga Winge (Coordenadora):Porto Alegre, 470 p. (p.30-32).

GOBBI, K. F. et al. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436- 1444, 2011.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas Medicinais: Fatores de Influência no Conteúdo de metabólitos secundários. **Quím. Nova** , São Paulo, v 30, n. 2, abril de 2007.

GRIGIONI, G. et al. Flavour characteristics of *Ilex paraguariensis* infusion, a typical Argentine product, assessed by sensory evaluation and electronic nose. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 5, p. 427–432, 2004.

- HELM, C. V. et al. Metilxantinas e compostos fenólicos em amostras de erva-mate. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA AMBIENTAL, 8., 2017, Curitiba. O químico e os desafios ambientais na sociedade atual: resumos e trabalhos completos. Curitiba: UTFPR, 2017., 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.
- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia da árvore**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1979. 745 p.
- L. MAZUR, P. G. PERALTA-ZAMORA, B. DEMCZUK, R. HOFFMANN, J. **Food Compos.** Anal. 2014, 35, 55–60.
- LINHARES, T. **História econômica do mate**. Rio de Janeiro. Livraria José Olympio, 522p. 1969
- LOMBARDO, A. **Flora arbórea y arborescente del Uruguay**. Montevideo: Concejo Departamental de Montevideo, 1964.
- LOPEZ, J. A.; LITTLE JUNIOR, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S.; HAHN, W. J. Arboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação cultivo de plantas arbóreas do Brasil**, vol. 1 / Harri Lorenzi. —5. ed. —Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Ed., 1981. 442 p.
- MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. Campinas: UNICAMP, Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2005. p. 199.
- MALHEIROS, G. C. **Estudo s alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. Dissertação- Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- MARX, F. et al. Caffeine and theobromine composition of mate (*Ilex paraguariensis*) leaves in five plantations of Misiones, Argentina. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 58, n. 3, p. 1-8, 2003.
- MAZUCHOWSKI, I. et al. Influência da inoculação de *Fusarium* spp. e níveis de sombreamento no crescimento e desenvolvimento da erva-mate. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 513-521 jul./set. 2010.
- MAZUCHOWSKI, J. Z. **A Cultura da Erva-Mate**. Técnicas Florestais nº 1. EMATER Paraná. Curitiba, 1989 e 1991. 40 p. il.
- MAZUCHOWSKI, J. Z.; MACCARI JUNIOR, A.; SILVA, E. T. Influência de diferentes condições de radiação solar sobre o crescimento morfológico da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 3., 16 a 19 de novembro de 2003. Chapecó (SC); Anais... Chapecó: EPAGRI, CD. 2003.
- MAZZAFERA, M. F. G. et al. Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.

- MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 62, n. 2, 1994.
- MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N.; OLIZESKI, A.; MOSELE, S. H. Recuperação de ervais degradados. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 6 p. (Comunicado Técnico, 86).
- MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; MOSELE, S. H.; WACZUK, A. J. Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 3 p. (Comunicado Técnico, 38).
- MEDRADO, M. J. S.; STURION, J. A. Condução e poda. In: EMBRAPA. **Sistemas de produção: cultivo da erva-mate**, 2ª ed. Embrapa Florestas: versão eletrônica, 2010.
- MELLO, D. V. **Morfologia e germinação da semente de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.)**. Pelotas: UFPEL, 49p. 1980. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Pelotas, 1980.
- MERTEN, G. H. (Org.). Manejo de solos de baixa aptidão agrícola na região Centro-Sul do Paraná. Londrina: **IAPAR**, 1994, 110 p.
- MEURER, A. Z. **Caracterização química e climática de populações naturais de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no Planalto Norte Catarinense**. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, UFSC, Florianópolis.
- MISSIO, F. J.; R. M. R. RIVAS. Aspectos da Formação Econômica de Mato Grosso do Sul. **Estudos Econômicos**, v.49, p.601-632, 2019.
- MONTEIRO. J. P., ALVES. M. G., OLIVEIRA. P. F., SILVA B. M., 2016, DOI 10.3390/molecules21080974
- MORELLATO, L. P. C. A pesquisa em fenologia na América do Sul e suas perspectivas atuais. In G. M. Rego, R. R. B. Negrelle & L. P. C. Morellato (Eds.), Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos (pp. 37-48). Colombo: Embrapa Florestas. 2007.
- NIETSCHKE, K. **Caracterização da qualidade da erva-mate cancheada**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 89 f. Curitiba, Paraná, 2002.
- OLIVEIRA, T. T.; ROSA, C. O. B.; STRINGUETA, P. C.; VILELA, M. A. P. Ação antioxidante dos flavonóides. In: Costa, N. M. B; Rosa, C. O. B. (Ed.). **Alimentos Funcionais**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa. p. 31-56. 2006.
- OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10, 1983, Curitiba. Anais...Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1985. p. 17-36.
- PACHECO, F. V. et al. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (FABACEAE) e *Chorisia speciosa* A.St.-Hil (MALVACEAE) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945-953, 2013.
- PARANÁ. **Consumo e exportação de Erva-mate**. 2018.
- PAULA, R. D. G. (1968). Novos estudos sobre o mate. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, Ministério da Indústria e do Comércio. 12p.

- PENTEADO JÚNIOR, J. F.; I. C. G. R. GOULART. **Erva 20: sistema de produção para erva-mate**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 152 p.
- PENTEADO, S. R. C., IEDE, E. T., LEITE, M. S. P. Pragas da erva-mate: perspectivas de controle. In: Congresso sul-americano da erva-mate. Reunião técnica da erva-mate. Anais... Ed. UFRGS, Porto Alegre, 2000.
- POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. 13, p. 396-410, 1999.
- QGIS.ORG. QGIS 3.16. Geographic Information System Developers Manual. QGIS Association. 2021.
- QUEIROZ, P. R. C. A Companhia Mate Laranjeira, 1891-1902: contribuição à história da empresa concessionária dos ervais do antigo sul de Mato Grosso. **Territórios e Fronteiras**, v.8, n.1, p.204-228, 2015.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. 2021
- RACHWAL, M. F. G. et al. Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.
- RACHWAL, M. F. G; CURCIO, G. R; DEDECEK, R; NIETSCHKE, K; FILHO, F. E. S. E.; VOGEL, R. C. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) aos quatro anos e quatro meses de idade sobre Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico em São Mateus do Sul, PR: In: I CONGRESSO SULAMERICANO DA ERVA-MATE; II REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1, 1998: Curitiba. Resumos. Curitiba, p.445. 1998.
- RAKOCEVIC, M.; PICARELLI, É. V.; MEDRADO, M. J. S. Correlação entre as propriedades químicas foliares e o amargor do chimarrão de folhas sombreadas. In: **Proceedings of 5th South-American Congress in Yerba-Mate**. 2011. p. 213-220.
- RAKOCEVICZ, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T. A. Influência do sexo, da sombra e da idade de folhas no sabor do chimarrão. In: 40 CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE. 2006, Argentina. Actas. Argentina: INYM, INTA, UNaM, EPAGRI, 1ª Ed, p. 31-36. 2006.
- RATES, S. M. K. Metilxantinas. In: FARMACOGNOSIA: DA PLANTA AO MEDICAMENTO. Organizado por: SIMÕES, C. M. O; SCKENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. Editora da UFSC e Editora da UFRGS. Porto Alegre/Florianópolis. 1ª Edição. p. 723 a 737. 1999.
- RATES, S. M. K.; SIMÕES, C. M. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5 ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/ Editora da UFSC, 2004.
- RIACHI, L. G. **Efeito da luz solar durante o cultivo e das condições de processamento sobre os fitoquímicos da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.–Hil.) e análise do consumo do chá mate sobre o teor sérico de creatina quinase em voluntários com idade a partir de 50 anos**. 2018.
- RODRIGUES, A. L. **Dinâmica e correlações ambientais em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Guarapuava, PR**. Irati: Unicentro, 2012, 119 p.

Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

ROSSA, Ü. B. et al. Influência da luminosidade e fertilizantes nos teores de metilxantinas e compostos fenólicos em folhas de erva-mate. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1365-1374, 2017.

SANTOS, E. C. S., M. A. BICCA, C. H. BLUM-SILVA, A. P. R. COSTA, A. A. DOS SANTOS, E. P. SCHENKEL, M. FARINA, F. H. REGINATTO; T. C. M. DE LIMA. Anxiolytic-like, stimulant and neuroprotective effects of *Ilex paraguariensis* extracts in mice. **Neuroscience**, v.292, p.13-21, 2015.

SANTOS, J. C. P.; SAVIAN, G. C. P. S.; SAVIAN, M. Caracterização de sistemas agrofloreais de manejos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) nativa no município de Turvo, Paraná, Brasil. In: Congreso sudamericano de la yerba mate, 5., 2011, Posadas. Anais... Posadas: Instituto Nacional de La Yerba Mate, 2011. p. 131–135.

SCHERER, R., URFER, P., MAYOL, M. R., BELINGHERI, L. D., MARX, F., JANSSENS, M. J. J., Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica** 126, 203–210. 2002.

SIGNOR, P. et al. **BIOMASSA COMERCIAL DE *Ilex paraguariensis* St.-Hil. E SUA RELAÇÃO COM VARIÁ VEIS AMBIENTAIS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA, PARANÁ.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2013.

STRECK, L., PARODI, T. V.; CANTERLE, L. P. Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Food Chemistry**, v. 102, p. 560–564, 2007.

STREIT, N. M. HECKTHEUER, L. H. R. CANTO, M. W. MALLMANN, C. A., STRECK, L., PARODI, T. V. & CANTERLE, L. P.(2007).Relation amongtaste related compounds (phenolic sand caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **FoodChemistry**,102,560–564.

SUERTEGARAY, C. E. de O. **Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Sistemas Agroflorestais e monocultivos.** Florianópolis: UFSC, 2002, 49 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p. 2004.

VALDUGA, E. **Caracterização Química e Anatômica da Folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e de Algumas Espécies Utilizadas na Adulteração do Mate.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Química do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995.

VIEIRA, A.R.R.; SUERTEGARAY, C.E.O.; HELDWEIN, A.B.; MARASCHIN, M.; DA SILVA, A.L. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 2003, v. 11, n. 1, p. 91 - 97.

VIEIRA, M. A.; MARASCHIN, M.; PAGLIOSA, C. M.; PODESTÁ, R. Análise de Compostos Fenólicos, Metilxantinas, Tanino e Atividade Antioxidante de Resíduo do Processamento da Erva-Mate: Uma Nova Fonte Potencial de Antioxidantes. **International Workshop Advance in Cleaner Production**, São Paulo, 2009.

VUADEN, E. **Sombreamento no desenvolvimento de brotos de *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Santa Maria: UFSM, 2009, 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

WANG, T., O'NEILL, G. A., & AITKEN, S. N. Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate. *Ecological Applications*, 20(1), 153-163. PMID:20349837.1. 2010.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas.** São Paulo: EPU: Editora da Universidade de São Paulo, 1982. *Temas de Biologia*. vol. 30. 101 p.

WREGGE, M. S., FRITZSONS, E., SOARES, M. T. S., PRELA-PÂNTANO, A., STEINMETZ, S., CARAMORI, P. H., RADIN, B., & PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*., 22, 524-553. 2018.

ZERBIELLI, LUIZ CARLOS. **Produtividade, luminosidade, composição química e qualidade da ervamate.** Tese de Doutorado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Brasil. 2016.