

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO HENRIQUE MALUCELLI MARIOTTO

SOBREVIVÊNCIA, PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DA ERVA-
MATE SOB EFEITO DE ADUBAÇÃO

CURITIBA

2022

PEDRO HENRIQUE MALUCELLI MARIOTTO

SOBREVIVÊNCIA, PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DA ERVA-
MATE SOB EFEITO DE ADUBAÇÃO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientadora: Dr^a. Márcia Toffani Simão Soares

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Mariotto, Pedro Henrique Malucelli

Sobrevivência, produtividade e composição fitoquímica da erva-mate sob efeito de adubação / Pedro Henrique Malucelli Mariotto. – Curitiba, 2022.

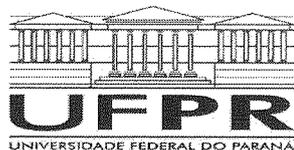
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientadora: Dra. Márcia Toffani Simão Soares

1. Erva-mate. 2. Adubação. 3. Compostos fenólicos. I. Pauletti, Volnei. II. Soares, Márcia Toffani Simão. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **PEDRO HENRIQUE MALUCELLI MARIOTTO** intitulada: **SOBREVIVÊNCIA, PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DA ERVA-MATE SOB EFEITO DE ADUBAÇÃO**, sob orientação do Prof. Dr. VOLNEI PAULETTI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 16 de Dezembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

16/12/2022 23:06:49.0

VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

19/12/2022 08:15:49.0

ELIZIANE LUIZA BENEDETTI

Avaliador Externo (INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS CANOINHAS)

Assinatura Eletrônica

19/12/2022 17:01:37.0

RENATO MARQUES

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: pgcisolo@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 242446

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 242446

RESUMO

A erva-mate é uma importante cultura perene para a região sul do Brasil e permite a diferenciação de renda de pequenos e médios produtores. Considerando isso e a necessidade de informações que subsidiem a adubação da cultura em campo, o presente trabalho objetivou estudar a influência da adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no estabelecimento à campo, na produção de erva comercial (ECOM) e no efeito da suplementação nitrogenada na composição fitoquímica de dois cultivares de erva-mate. O estudo foi conduzido à campo, em três experimentos distintos, no município de Severiano de Almeida – RS. O delineamento adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 (2 cultivares x 5 doses do nutriente). Como tratamentos foram utilizadas os cultivares BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba (subparcela) combinado com doses anuais de nitrogênio (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹), fósforo (0, 10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹ de P₂O₅) ou potássio (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹ de K₂O) (parcela). Como resultados principais obteve-se que o cultivar Yari é mais sensível à campo, apresentando estabelecimento dificultado. As doses utilizadas dos três nutrientes afetaram negativamente a sobrevivência da Aupaba, enquanto somente a adubação nitrogenada N prejudicou Yari. A aplicação de N ou P não aumentou a produtividade comercial em nenhuma dose, o que permite considerar os cultivares testados como pouco exigentes quanto aos nutrientes avaliados, nas fases iniciais do seu desenvolvimento. O fornecimento de N não afetou a concentração de cafeína, teobromina e fenólicos totais pelas plantas. Os cultivares Yari e Aubapa apresentam uma dinâmica distinta para o acúmulo de metilxantinas.

Palavras-chave: erva-mate, adubação, compostos fenólicos, sobrevivência à campo

ABSTRACT

The present work aimed at studying the influence of five nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) rates on the establishment of two yerba mate clones in the field. It was intended to understand the influence of N and P on the production of commercial yerba (ECOM) and on the percentage of accumulated dry mass. The dynamics of N in the deposition of phenolic compounds and methylxanthines were evaluated; the P content in the soil at three depths and its relationship with the doses of fertilizer used. The study was carried out in the field, in three different experiments, in the municipality of Severiano de Almeida - RS. The adopted design was in randomized blocks in a factorial scheme using 2 cultivars and 5 fertilizer rates. As treatments, the cultivars BRS BLD Yari and BRS BLD Aupaba (subplot) were used combined with annual doses of nitrogen (0, 5, 10, 20 and 30 g plant⁻¹), phosphorus (0, 10, 20, 30 and 40 g plant⁻¹ of P₂O₅) or potassium (0, 5, 10, 20 and 30 g plant⁻¹ of K₂O) (plot). As main results it was obtained that the cultivar Yari is more sensitive, presenting a more difficult establishment in the field. The used doses of the three nutrients negatively affected the development of Aupaba, while only N harmed Yari. As for commercial productivity, the application of N or P did not increase production at any rate and thus the tested cultivars can be seen, in the early stages of their development, as undemanding. The supply of N did not affect the deposition of caffeine, theobromine and total phenolics by the plants. The Yari and Aupaba cultivars present a distinct dynamic for the accumulation of methylxanthines.

Keywords: yerba mate, fertilization, phenolic compounds, field survival

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL ENTRE 2019 E 2021 (BARRAS), E MÉDIA NORMAL (1981-2010) (LINHAS) ESTIMADAS PARA A REGIÃO DE SEVERIANO DE ALMEIDA-RS (REGIÃO 120).	18
FIGURA 2 -	MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA CULTIVAR (A), ÉPOCA DE AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (B) E DOSES ANUAIS DE NITROGÊNIO APLICADAS (C) ¹	21
FIGURA 3 -	MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE DAS CULTIVARES YARI E AUPABA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA EM QUE FOI REALIZADA A AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (A, B) E DAS DOSES ANUAIS DE POTÁSSIO APLICADAS (C) ¹	22
FIGURA 4 -	MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE DAS CULTIVARES YARI E AUPABA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA EM QUE FOI REALIZADA A AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (A, B) E DAS DOSES ANUAIS DE FÓSFORO APLICADAS (C) ¹	23
FIGURA 5 -	PRODUTIVIDADE DE ERVA-MATE COMERCIAL POTENCIAL (ECOM) (A, B), PORCENTAGEM DE MASSA SECA (MS) DE FOLHAS (C, D), GALHOS FINOS (E, F) E GALHOS GROSSOS (G, H) ENCONTRADOS PARA O EXPERIMENTO.	41
FIGURA 6 -	TEOR DE NITROGÊNIO (N-FOLIAR) (A E B), TEOBROMINA (C, D), CAFEÍNA (E, F) E FENÓLICOS TOTAIS (G, H) EM FOLHAS DE ERVA MATE EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DOSE DE NITROGÊNIO APLICADA NA ADUBAÇÃO.	44
FIGURA 7 -	ASPECTO DAS PLANTAS DA ÁREA EXPERIMENTAL APÓS 36 MESES DE CULTIVO.	54
FIGURA 8 -	COLHEITA INICIAL E FORMAÇÃO DE COPA DA ERVA-MATE.....	55
FIGURA 9 -	TEOR DE FÓSFORO EXTRAÍVEL (MEHLICH-1) NO SOLO EM FUNÇÃO DAS DOSES ANUAIS DE P ₂ O ₅ APLICADAS.	61

FIGURA 10 - CORRELOGRAMA ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS NA ERVA-MATE CULTIVADA POR TRÊS ANOS (CORRELAÇÃO DE PEARSON), CULTIVARES YARI (a) E AUPABA (b).....62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAMADA DE 0-20 CM DO SOLO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NO MUNICÍPIO DE SEVERIANO DE ALMEIDA, RS ¹	17
TABELA 2 -	QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MORTALIDADE DE MUDAS DE CULTIVARES DE ERVA-MATE ESTABELECIDAS EM SEVERIANO DE ALMEIDA, RS, AVALIADA EM TRÊS ÉPOCAS APÓS A IMPLANTAÇÃO, SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO (N), POTÁSSIO (K) E FÓSFORO (P).....	20
TABELA 3 -	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAMADA DE 0-20 CM DO SOLO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NO MUNICÍPIO DE SEVERIANO DE ALMEIDA, RS ¹	35
TABELA 4 -	QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ECOM, PERCENTUAL DE MATÉRIA SECA (MS) DE FOLHAS (FO), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CULTIVARES DE ERVA-MATE ESTABELECIDAS EM SEVERIANO DE ALMEIDA, RS, AVALIADA TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO, e SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO (N). 40	
TABELA 5 -	QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE ERVA MATE COMERCIAL (ECOM), PERCENTUAL DE MATÉRIA SECA DOS COMPONENTES DA PLANTA, TEORES DE FÓSFORO FOLIAR (P FOLIAR) E DO SOLO, EXTRAÍVEIS POR MEHLICH-1, AOS TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ERVA-MATE SUBMETIDAS A DOSES DE FÓSFORO (P), EM SEVERIANO DE ALMEIDA - RS.	58
TABELA 6 -	PRODUÇÃO DE ERVA COMERCIAL (ECOM) POTENCIAL E TEOR DE P FOLIAR EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DAS DOSES DE P, AOS TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO DO ERVAL NO CAMPO ¹	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	CAPÍTULO 1: ADUBAÇÃO COM NPK NO ESTABELECIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE ERVA-MATE NO SUL DO BRASIL	14
2.1	RESUMO	14
2.2	ABSTRACT.....	15
2.3	INTRODUÇÃO	16
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
2.6	CONCLUSÕES	27
2.7	REFERÊNCIAS	28
3	CAPÍTULO 2: PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DE CULTIVARES DE ERVA-MATE SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SUL DO BRASIL	31
3.1	RESUMO	31
3.2	ABSTRACT.....	32
3.3	INTRODUÇÃO	33
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.4.1	Caracterização da área e adubação	35
3.4.2	Extração e determinação de compostos fenólicos totais	36
3.4.2.1	Preparo da amostra	36
3.4.2.2	Análise dos compostos fenólicos totais.....	37
3.4.2.3	Curva de calibração para determinação dos compostos fenólicos totais.....	38
3.4.2.4	Extração e determinação de cafeína e teobromina	38
3.4.3	Análise estatística	39
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.5.1	Produção de matéria seca de erva-mate comercial (ECOM).....	40
3.5.2	N-foliar e compostos fitoquímicos	42
3.6	CONCLUSÕES	45
3.7	REFERÊNCIAS	46
4	CAPÍTULO 3: EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ERVA-MATE	49
4.1	RESUMO	49

4.2	ABSTRACT.....	50
4.3	INTRODUÇÃO.....	51
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	53
4.4.1	Área experimental e tratamentos.....	53
4.4.2	Colheita da erva-mate comercial e avaliação da massa seca.....	54
4.4.3	Coleta de folhas índice e análise de fósforo foliar.....	55
4.4.4	Coleta do solo e análise de fósforo extraível por Mehlich-1.....	56
4.4.5	Análise estatística.....	57
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.6	CONCLUSÕES.....	63
4.7	REFERÊNCIAS.....	64
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO GERAL

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.ST.-HIL.) é considerada uma planta rústica nativa da região sul da América do Sul. Durante seu processo evolutivo, se adaptou à solos intemperizados de baixa fertilidade natural e pH, além de tolerar elevados teores de alumínio e manganês trocáveis (CARVALHO, 2003; REISSMANN et al., 1983; TOPPEL et al., 2018). Apesar disso, em decorrência da exploração intensiva de cultivos comerciais, há estudos que indicam que a correção de solo e na adubação podem acelerar o tempo de desenvolvimento das plantas enquanto jovens até a idade produtiva, bem como melhorar o seu desempenho produtivo (DUARTE et al., 2020; LOURENÇO; CURCIO; RACHWAI, 1999; SANTIN et al., 2013). É necessário ainda que essa adubação melhore o crescimento das mudas sem ao mesmo tempo interferir na mortalidade, a fim de se evitar gasto adicional com mudas e mão-de-obra.

Os principais nutrientes que são fornecidos para a planta da erva-mate através da adubação são o fósforo, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O fósforo (P) é um macronutriente primário para o crescimento das plantas, sendo seu papel nutricional associado ao armazenamento de energia e crescimento (USUDA; SHIMOGAWARA, 1993). Para a erva-mate, a deficiência de P pode ser um problema. Muitos dos cultivos são ainda feitos de forma tradicional, sob florestas nativas de *Araucaria angustifolia* e sem nenhum uso de corretivo de acidez ou fertilizantes (CARVALHO, 2003). Neste modelo de produção, o cultivo é normalmente realizado em solos ácidos (pH próximo de 4 ou inferior), nos quais a disponibilidade do P é naturalmente baixa e o alumínio trocável é alto (PANDOLFO et al., 2003). No entanto, a erva-mate é dependente de um teor alto de P nos primeiros centímetros da camada do solo para atingir excelentes índices de produtividade (SANTIN et al., 2017). O conhecimento sobre a exigência de P pela erva-mate é limitado e há divergências no relatado entre os autores.

O nitrogênio (N) é outro elemento que precisa ser aprofundado visando a correta nutrição da erva-mate. Ele atua na produção de proteínas, ácidos nucleicos, cofatores além de metabólitos secundários (MANOLI et al., 2014). No caso específico da erva-mate, além de ser o nutriente mais exportado (SANTIN et al., 2019), desempenha papel importante na formação e estabelecimento das mudas no campo. Contudo, em plantas adultas, Lourenço, Curcio e Rachwai (1999) encontraram que a

adubação com N não é necessária em solos argilosos. Mazuchowski et al. (2007) observaram que o N não influenciou significativamente no crescimento das plantas durante o primeiro ano após a implementação, mas auxiliou na rebrota.

A correta nutrição não interfere apenas no desenvolvimento das plantas a campo, mas também nas características químicas do material colhido. Metilxantinas como a cafeína e teobromina são produtos do metabolismo secundário e podem apresentar aumento da concentração com o maior fornecimento de N (PALUMBO; PUTZ; TALCOTT, 2007). Este aspecto é um importante fator mercadológico, visto que afeta a destinação do produto (SCHERER et al., 2002). Para esses autores, os mercados urbanos e de exportação (EUA, Países Árabes) preferem erva mais suave, para a infusão de chás. Sabe-se que o grau de acumulação dessas substâncias é produto da genética do material, além de condições de estresse que podem aumentar a teobromina (MARX et al., 2003). Acredita-se também que o manejo nutricional adotado pode ser um fator de contribuição, embora até então não tenha sido encontrado nenhum trabalho que tenha feito tal avaliação em erva-mate. É importante conhecer esses aspectos para dar a destinação mais correta ao produto colhido, bem como orientar o manejo dos plantios para garantir sua qualidade.

Esta dissertação foi estruturada em três capítulos que abordam diferentes papéis da fertilização na cultura da erva-mate:

- CAPÍTULO 1: ADUBAÇÃO COM NPK NO ESTABELECIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE ERVA-MATE NO SUL DO BRASIL;
- CAPÍTULO 2: PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DE CULTIVARES DE ERVA-MATE SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SUL DO BRASIL;
- CAPÍTULO 3: EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ERVA-MATE.

2 CAPÍTULO 1: ADUBAÇÃO COM NPK NO ESTABELECIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE ERVA-MATE NO SUL DO BRASIL

2.1 RESUMO

O estabelecimento de mudas de erva-mate à campo não é uma tarefa trivial e depende diretamente de variáveis como a cultivar escolhida e a nutrição empregada. O presente estudo objetivou determinar doses de nitrogênio, fósforo e potássio mais favoráveis à sobrevivência no estabelecimento inicial, em ambiente não sombreado, de duas cultivares de erva-mate na região norte do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado em três experimentos localizados no município de Severiano de Almeida – RS. Os tratamentos consistiram na combinação das cultivares de erva-mate BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba com cinco doses anuais de nitrogênio (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹), fósforo (0, 10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹ de P₂O₅) ou potássio (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹ de K₂O). A mortalidade das mudas foi determinada pela contagem de plantas mortas na parcela útil aos 14, 19 e 30 meses após à implantação a campo. A cultivar Yari foi mais sensível no período de implantação, apresentando maior mortalidade nos primeiros 14 meses de cultivo. Quanto à adubação, sob uso de P e K houve variação da mortalidade em função do material genético utilizado. Nos primeiros 30 meses após o plantio, as doses de P e K não influenciaram na mortalidade de Yari, mas resultaram em diminuição da sobrevivência da Aupaba. Analogamente, o uso de N promoveu aumento da mortalidade das mudas, independente da cultivar utilizada.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*, nitrogênio, fósforo, potássio, fertilização.

2.2 ABSTRACT

CHAPTER 1: NPK FERTILIZATION AND INITIAL ESTABLISHMENT OF YERBA MATE CULTIVARS GROWN IN SOUTHERN BRAZIL

The establishment of yerba mate seedlings in the field is not a trivial task and depends directly on variables such as the chosen cultivar and the nutrition employed. This study aimed to determine nitrogen, phosphorus, and potassium doses that are more favorable for survival in the initial establishment, in an unshaded environment, of two yerba mate cultivars in the northern region of Rio Grande do Sul. The study was conducted in three experiments located in the municipality of Severiano de Almeida - RS. The treatments consisted of the combination of yerba mate cultivars BRS BLD Yari and BRS BLD Aupaba with five annual doses of nitrogen (0, 5, 10, 20, and 30 g plant⁻¹), phosphorus (0, 10, 20, 30, and 40 g plant⁻¹ of P₂O₅) or potassium (0, 5, 10, 20, and 30 g plant⁻¹ of K₂O). The mortality of seedlings was determined by counting dead plants in the useful plot at 14, 19, and 30 months after field implementation. The Yari cultivar was more sensitive during the implementation period, presenting higher mortality in the first 14 months of cultivation. Regarding fertilization, under the use of P and K, there was variation in mortality depending on the genetic material used. In the first 30 months after planting, P and K doses did not influence the mortality of Yari, but resulted in a decrease in the survival of Aupaba. Similarly, the use of N promoted an increase in seedling mortality, regardless of the cultivar used.

Keywords: *Ilex paraguariensis*, nitrogen, phosphorus, potassium, fertilization.

2.3 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma essência florestal nativa da América do Sul, de significativa importância econômica e sociocultural na sua região de origem. É consumida principalmente a partir de infusões, resultando em bebidas ricas em vitaminas e minerais, com propriedades estimulante, diurética e antimicrobiana. Durante a formação de povoamentos homogêneos para cultivo da espécie, é comum observar morte de mudas em campo, especialmente sob condições climáticas adversas, demandando operações periódicas de replantio e roçada para a obtenção de cultivos sem falhas. Estudos recentes indicam que uso de materiais genéticos melhorados, associados a um sistema de nutrição adequado, pode favorecer substancialmente a formação de ervais mais homogêneos, mais resistentes a pragas e doenças (SANTIN et al., 2015), com maior produção de massa verde e qualidade superior para o consumo (WENDLING et al., 2017). O fornecimento de N, P e K às mudas em campo pode aumentar o sucesso do plantio, ao estimular importantes mecanismos fisiológicos relacionados à aclimação e crescimento das plantas, como a produção de metabólitos secundários pelo N (MANOLI et al., 2014), a geração e transferência de energia pelo P (GRANT et al., 2001), a regulação estomática e tolerância a estresses bióticos e abióticos pelo K (PATHAK et al., 2020).

Os povoamentos de erva-mate vêm sendo estabelecidos, ao longo de sua história, com uso restrito ou ausente de calagem e adubação, em solos pobres quimicamente e com alta disponibilidade de Al (RICARDI et al., 2020). Apesar da intensa exportação de nutrientes pela colheita, e de relatos associados ao declínio produtivo de ervais, as recomendações de adubação atualmente preconizadas são baseadas em poucos estudos, muitos deles com resultados discrepantes quanto ao efeito da suplementação nitrogenada (DUARTE et al., 2020; MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007; SANTIN et al., 2008, 2014b) potássica (SANTIN et al., 2008, 2014b) e fosfatada (SANTIN et al., 2013). Em atendimento a estas demandas, este estudo objetivou determinar a sobrevivência de duas cultivares clonais de erva-mate (Yari e Aupaba) sob diferentes doses de N, P e K, durante o estabelecimento inicial das plantas a campo, na região norte do Rio Grande do Sul.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Severiano de Almeida, Rio Grande do Sul, nas coordenadas -27°24'16" S, 52°6'32,6" W, a 412 m de altitude, em um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico A proeminente, com baixos teores de matéria orgânica e P, e médio teor de K na camada 0-20 cm (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2016) (TABELA 1). O clima da região é classificado como Cfb (ALVARES et al., 2013), com precipitação média mensal entre 2019 e 2021, e média normal (1981-2010) da região que abrange o município de Severiano de Almeida. Estas foram obtidas pelo método de interpolação (CPTEC/INPE, 2014) e estão apresentadas na FIGURA 1.

Três experimentos foram estabelecidos em área anteriormente cultivada com grãos em sistema convencional entre 1977 e 1985, e sob plantio direto entre 1987 e 2018 (rotação milho-soja). Em julho de 2018, o solo foi escarificado a 50 cm de profundidade e submetido à abertura de covas (30 cm largura e 25 cm profundidade) com uso de enxadão, para o estabelecimento da erva-mate no espaçamento de 2,7 m entre linhas e 1,5 m entre as plantas.

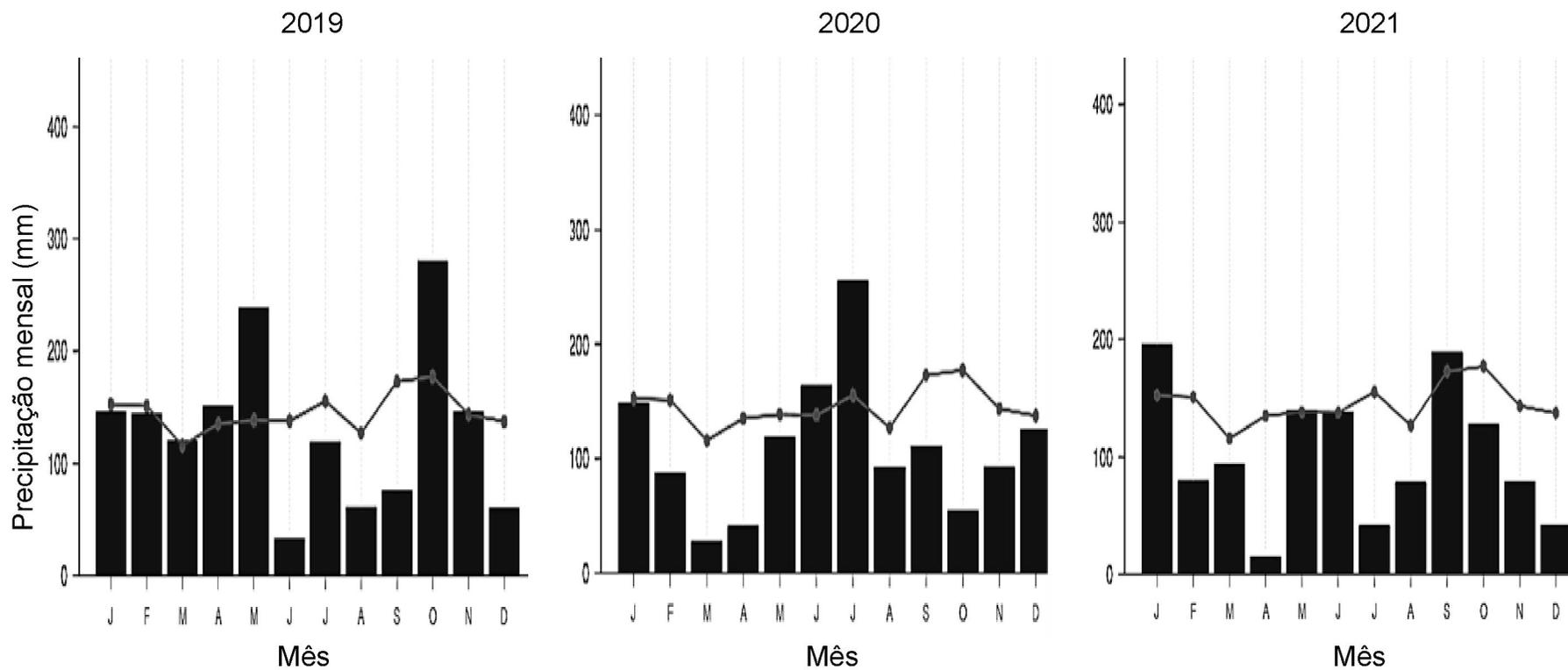
TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAMADA DE 0-20 CM DO SOLO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NO MUNICÍPIO DE SEVERIANO DE ALMEIDA, RS¹.

MO g kg ⁻¹	__ pH __ SMP	H ₂ O	P _mg dm ⁻³ _	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC	Argila	Areia
						cmol _c dm ⁻³				__ g kg ⁻¹ __	
17,00	5,50	5,30	1,70	64,00	6,60	2,60	0,30	5,60	14,98	420	90

FONTE: O autor (2022).

NOTA: ¹MO: matéria orgânica; SMP: pH medido em tampão pH 7 (Shoemaker, McLean e Pratt); P: fósforo extraível por solução Mehlich⁻¹

FIGURA 1 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL ENTRE 2019 E 2021 (BARRAS), E MÉDIA NORMAL (1981-2010) (LINHAS) ESTIMADAS PARA A REGIÃO DE SEVERIANO DE ALMEIDA-RS (REGIÃO 120).



FONTE: Adaptado de CPTEC/INPE (2022).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, em fatorial 5 x 2, distribuídos a campo em parcelas subdivididas, com 4 repetições, sendo a unidade experimental composta por 6 plantas úteis. Nas parcelas foram aplicadas cinco doses anuais de nutrientes (N, P₂O₅ ou K₂O) e, nas subparcelas, estabelecidas as cultivares BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba, selecionadas pela produtividade e sabor suave de suas bebidas (WENDLING et al., 2017). Cada parcela possui 6 linhas com 5 plantas, com a primeira e a última linha ou planta consideradas bordaduras (não avaliadas). As doses de N e K₂O foram de 0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹ ano⁻¹ enquanto as de P₂O₅ de 0, 10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹ ano⁻¹. Os adubos utilizados para compor as diferentes doses de nutrientes foram a ureia (45 % de N), o superfosfato triplo (ST, 45 % de P₂O₅) e o cloreto de potássio (KCl, 60 % de K₂O). Nos experimentos cujos tratamentos foram estabelecidos com doses crescentes de N, foram aplicadas quantidades fixas de P₂O₅ (30 g planta⁻¹ ano⁻¹) e de K₂O (20 g planta⁻¹ ano⁻¹); naqueles em que foram avaliadas doses de K₂O, quantias fixas de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹) e de P₂O₅ (30 g planta⁻¹ ano⁻¹) e; nos experimentos com doses crescentes de P₂O₅, quantidades fixas de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹) e de K₂O (20 g planta⁻¹ ano⁻¹). No plantio das mudas as doses totais de N, P e K foram incorporadas na cova. Após o plantio, a dose anual foi dividida em partes iguais e aplicada em setembro e fevereiro, em superfície, na projeção da copa, e mantendo uma distância de 20 cm da muda.

A contagem das mudas mortas na parcela útil foi realizada em três épocas distintas (E1 - 17 de setembro de 2019; E2 - 03 de fevereiro de 2020 e E3 - 26 de janeiro de 2021), correspondente a 14, 19 e 30 meses após à implementação a campo. O valor obtido de sobrevivência foi também utilizado para subsidiar a reposição (replantio) na sequência, podendo, com isso, ter ocorrido mais de um replantio em uma mesma cova, durante os 30 meses de condução do experimento.

Os dados obtidos foram verificados quanto à normalidade, submetidos à transformação, quando necessário, e a análise de variância, por experimento, considerando-se os efeitos de bloco, época de avaliação, da cultivar, das doses dos nutrientes (N, P e K) e suas interações. Quando detectado efeito significativo pelo teste F (fatores e interações), os dados foram submetidos à comparação entre médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e à regressão polinomial linear ou quadrática (fator dose). As análises estatísticas foram efetuadas no software SAS versão 6.11.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância (TABELA 2), a mortalidade no experimento com N foi influenciada pela cultivar, época de avaliação ($P \leq 0,01$) e dose de adubo ($P \leq 0,05$), sem interação entre fatores. A mortalidade (FIGURA 2A) foi 3 vezes menor na cultivar Aupaba (13,89 %) em relação a Yari (42,50 %) nos primeiros 30 meses de cultivo ($p \leq 0,01$). Quanto à época de avaliação, o mês de janeiro de 2021, aos 30 meses após implantação do erval, foi caracterizado por uma menor perda de indivíduos (24,17 %, FIGURA 2B) em relação a setembro de 2019 (14 meses, 34,17%, $p \leq 0,01$). Neste período de cultivo, foi possível estabelecer uma equação quadrática com grau fraco de ajustamento ($R^2 = 0,0531$, $p \leq 0,05$), relacionando os percentuais de mudas mortas (Yari + Aupaba) e as doses de N (FIGURA 2C). Pelo modelo, uma mortalidade de 18,72 % seria obtida sem aplicação de N, ao passo que adubação com $22 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N resultaria na mortalidade máxima de 34,68 %.

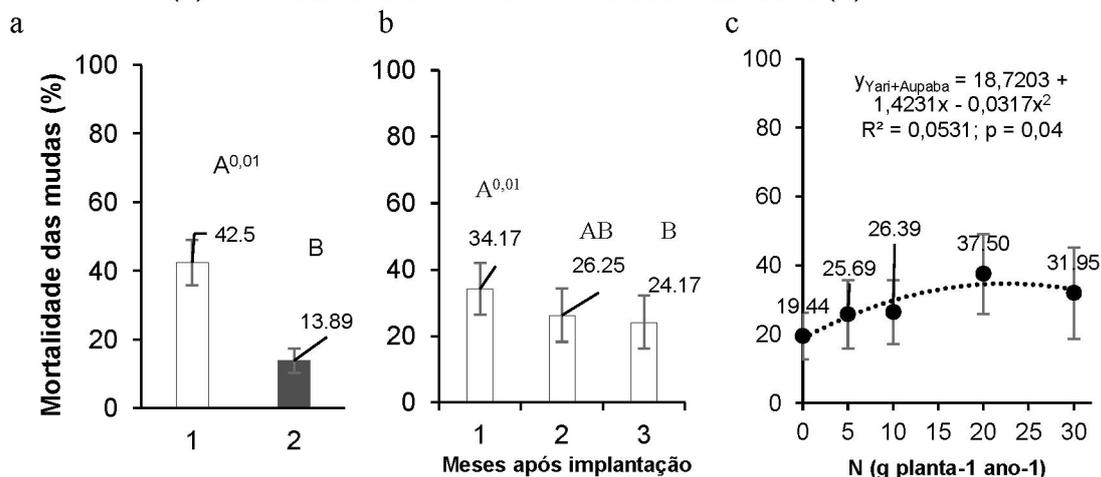
TABELA 2 - QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MORTALIDADE DE MUDAS DE CULTIVARES DE ERVA-MATE ESTABELECIDAS EM SEVERIANO DE ALMEIDA, RS, AVALIADA EM TRÊS ÉPOCAS APÓS A IMPLANTAÇÃO, SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO (N), POTÁSSIO (K) E FÓSFORO (P).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio ¹ e p-valor		
		N	K	P
		$\sqrt{PLmorp} +$	(PLmorp+1)	(PLmorp+1) ^{0,7}
bloco	3	6,31 ^{N.S.}	343,72 ^{N.S.}	2,71 ^{N.S.}
cultivar	1	247,08 ^{≤0,01}	8244,06 ^{≤0,01}	29,24 ^{N.S.}
época	2	19,85 ^{≤0,01}	4535,32 ^{≤0,01}	693,13 ^{≤0,01}
dose	4	11,18 ^{≤0,05}	105,37 ^{N.S.}	56,56 ^{≤0,10}
cultivar*época	2	7,49 ^{N.S.}	6717,93 ^{≤0,01}	174,84 ^{≤0,01}
cultivar*dose	4	5,41 ^{N.S.}	1526,90 ^{≤0,01}	82,12 ^{≤0,05}
época*dose	8	2,41 ^{N.S.}	210,07 ^{N.S.}	10,96 ^{N.S.}
cultivar*época*dose	8	4,97 ^{N.S.}	227,70 ^{N.S.}	23,73 ^{N.S.}
CV (%)		42,17	53,17	43,33

FONTE: O autor (2022).

NOTA: ¹Dados transformados.

FIGURA 2 - MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA CULTIVAR (A), ÉPOCA DE AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (B) E DOSES ANUAIS DE NITROGÊNIO APLICADAS (C)¹.

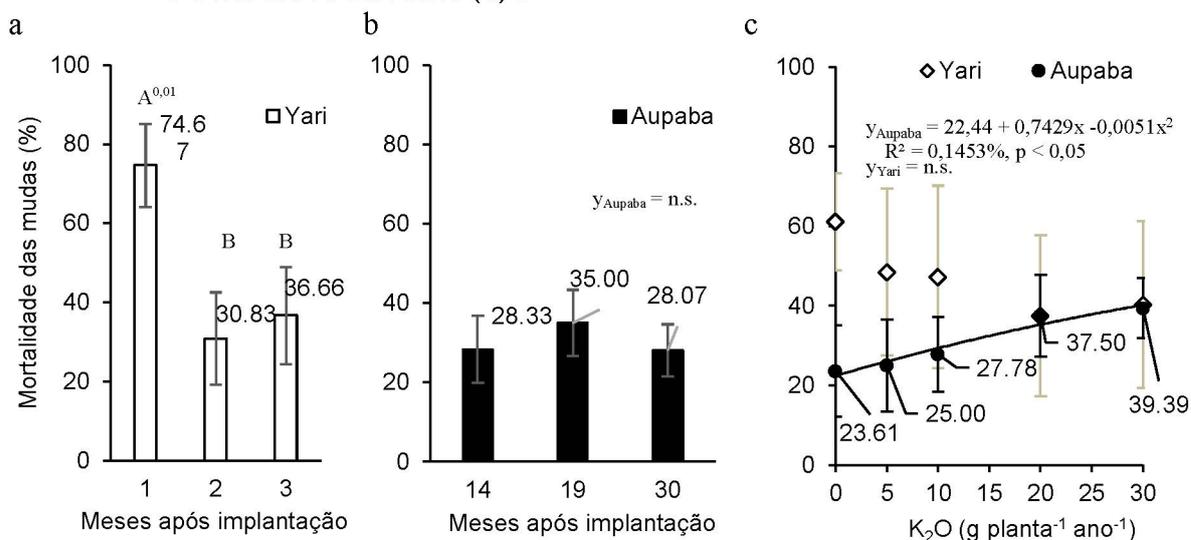


FONTE: O autor (2022).

NOTA: ¹Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si – Tukey 5%; barras correspondem ao intervalo de confiança - 95%.

No experimento com uso de K, houve interação entre cultivar e época de avaliação, e cultivar e doses do nutriente ($P \leq 0,01$, TABELA 2). Neste plantio, não houveram diferenças ($p \leq 0,05$) entre os percentuais de mudas Aupaba mortas aos 14, 19 e 30 meses após sua implantação, com mortalidade média entre 28,07 % e 35,00% (FIGURA 3B). Similarmente, 30,83 % e 36,66 % de mudas Yari morreram, respectivamente, aos 19 e 30 meses após implantação (FIGURA 2A). Estes valores correspondem a menos da metade do observado na primeira avaliação ($p < 0,01$), aos 14 meses após a implantação do experimento (74,67 %). Quanto à adubação, o uso de doses crescentes de K_2O não modificou a mortalidade da cultivar Yari nos primeiros 30 meses de estabelecimento do erval (FIGURA 3C), mas resultou em aumento quadrático de mudas Aupaba mortas ($R^2 = 14,53$ %, $p < 0,05$), com registro de 23,61 % de mortalidade sem uso de adubo potássico e 39,39% com uso da dose máxima de 30 g planta⁻¹ de K_2O .

FIGURA 3 - MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE DAS CULTIVARES YARI E AUPABA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA EM QUE FOI REALIZADA A AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (A, B) E DAS DOSES ANUAIS DE POTÁSSIO APLICADAS (C)¹.

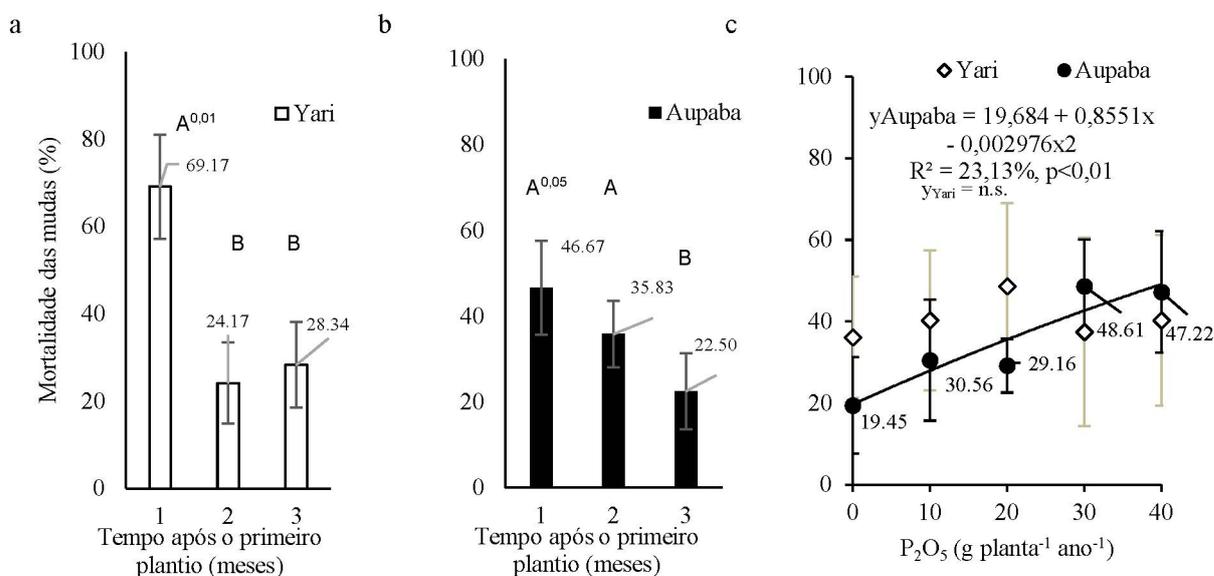


Fonte: O autor (2022).

NOTA: ¹Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si – Tukey 5%; n.s.: não significativo. Barras correspondem ao intervalo de confiança - 95%.

Em semelhança ao teste com K, a análise de variância do experimento com P indicou interação entre cultivar e época de avaliação ($P \leq 0,01$), e entre cultivar e doses de adubo ($P \leq 0,05$, TABELA 2). Para Yari, os percentuais de mudas mortas aos 19 e 30 meses após implantação do erval (24,17% e 28,34%, respectivamente, FIGURA 4A) foram significativamente inferiores ao observado na primeira avaliação (69,17%, $p \leq 0,01$), não sendo possível estabelecer regressões que relacionam a mortalidade, durante 30 meses de avaliação, desta cultivar com as doses de P_2O_5 (FIGURA 4C). Nas subparcelas com Aupaba (FIGURA 4B), a alta mortalidade de mudas (46,67%) observada aos 14 meses foi reduzida em mais da metade aos 30 meses após sua implantação a campo (22,50%, $p \leq 0,05$). Quanto à adubação, houve um aumento quadrático ($R^2 = 23,13\%$) de mudas Aupaba mortas com uso de P_2O_5 ($p \leq 0,01$, FIGURA 4C), com estimativa de menor percentual (19,68%) mediante ausência da adubação, e máxima mortalidade (49,13%) com uso de 30 g planta⁻¹ ano⁻¹ de P_2O_5 .

FIGURA 4 - MORTALIDADE MÉDIA DE MUDAS (%) DE ERVA-MATE DAS CULTIVARES YARI E AUPABA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA EM QUE FOI REALIZADA A AVALIAÇÃO APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO (A, B) E DAS DOSES ANUAIS DE FÓSFORO APLICADAS (C)¹.



FONTE: O autor (2022).

NOTA: ¹Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si – Tukey 5%; n.s.: não significativo. Barras correspondem ao intervalo de confiança - 95%.

Nas condições de solo e clima onde foram estabelecidos os três experimentos, os fatores avaliados (época, cultivar e adubação) condicionaram significativa amplitude de condições à sobrevivência da erva-mate, durante o seu estabelecimento inicial. Em campo, as altas taxas de mortalidade indicam a ocorrência de processos morfofisiológicos desfavoráveis ao crescimento inicial e sobrevivência das mudas, como escassa produção de folhas, senescência e abscisão foliar, em um período (2019-2021) caracterizado, na região, por mais da metade dos registros de chuvas mensais abaixo da normal climatológica (FIGURA 1), e por temperaturas médias acima do padrão climático em grande parte do território gaúcho (CARDOSO et al., 2020; JACONDINO et al., 2019).

Embora o efeito de fenômenos climáticos estressores sobre povoamentos de erva-mate seja ainda pouco elucidado, estudos preliminares indicam que condições hídricas e térmicas atípicas podem restringir significativamente o desenvolvimento da espécie (WREGGE et al., 2020), evolutivamente adaptada aos ambientes da Mata Atlântica, com clima mais úmido e ameno (MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007).

A cultivar Aupaba se apresentou mais tolerante ao estabelecimento em campo em relação à Yari, com mortalidade 2,6 e 1,5 vezes menor nos primeiros 14 meses após estabelecimento inicial dos experimentos de K (28,33 %, FIGURA 3B) e P (46,67 %, FIGURA 4B), respectivamente, e 3 vezes menor (13,89 %) nos primeiros 30 meses do experimento com N (FIGURA 2A). Diferenças sazonais e entre materiais genéticos quanto à emissão de raízes foram observadas por Pimentel et al. (2019) em miniestacas de erva-mate, o que sugere existir capacidades distintas, entre clones, quanto à retenção de água para a formação e manutenção de tecidos sob maiores temperaturas e irradiância solar. A diminuição das porcentagens de mudas mortas com o tempo pode também estar associada à variações no condicionamento e vigor das mudas utilizadas na reposição à campo. Concomitante a isso, ocorreu uma progressiva diminuição do efeito salino dos fertilizantes nas covas, favorecendo maior exploração das raízes no perfil do solo em épocas com suficiência de água para seu crescimento. Os resultados indicam, adicionalmente, a necessidade de se desenvolver mais pesquisas que relacionem práticas fitossanitárias e nutricionais de viveiro (fertilização, volume e composição de substrato, por exemplo), à qualidade final das mudas propagadas e o desempenho dos povoamentos estabelecidos à campo. Quanto à fertilização, os resultados obtidos no experimento com N apontam para uma suficiente oferta deste nutriente às mudas Aupaba e Yari não adubadas e efeito depressivo da ureia (Yari + Aupaba), nas doses e condições ambientais avaliadas. Resultado semelhante foi relatado por Mazuchowski et al. (2007), que observaram um aumento da mortalidade da espécie com uso de 50 ou 75 g planta⁻¹ de N, em um erval com 1 ano de idade, estabelecido em um Organossolo Háplico sob diferentes percentuais de luminosidade. A suficiência de N nos tratamentos sem adubação pode estar associada à mineralização da matéria orgânica do solo após o seu preparo, apesar do baixo teor apresentado pela análise (TABELA 1), que pode ter sido subestimada pelo método de análise empregado (oxidação por dicromato) que pode apresentar maior coeficiente de variação e menor confiabilidade em alguns casos

(JIMENEZ; LADHA, 1993). Quantidades excessivas de N amoniacal (NH_4^+), por outro lado, podem diminuir a absorção de cátions que contribuem com a tolerância das plantas a estresses, como o Ca (formação da parede celular) e o K (regulação estomática) (BATTIE-LACLAU et al., 2016), por inibição competitiva (SOUZA et al., 2012). A maior mortalidade com o uso de ureia pode também estar associada ao aumento da demanda hídrica inerente ao incremento de biomassa em períodos chuvosos, não sustentada nos meses em que o volume de água ofertado esteve abaixo do esperado, de modo semelhante ao relatado para *Camellia sinensis* estabelecida em vasos e em campo no Quênia, África Oriental, sob estresse hídrico e fertilização nitrogenada (CHERUIYOT et al., 2009).

Similarmente ao N, é possível que a concentração de K^+ no solo (64 mg dm^{-3} , TABELA 1), antes do plantio, tenha sido suficiente para o crescimento inicial da cultivar Aupaba. Embora a adubação com potássio seja passível de propiciar ganhos significativos de biomassa nas fases avançadas de produção (SANTIN et al., 2014b). Santin et al. (2008) também reportaram efeito depressivo do KCl em mudas, quando aplicado o equivalente a 200 kg ha^{-1} de K_2O , em solo com 34 mg dm^{-3} de K^+ . Recomendações quanto a ponderação no uso localizado do KCl em períodos de estresse hídrico, na região de estudo (RS) são justificadas pela elevada salinidade do adubo potássico, que pode aumentar a pressão osmótica da solução do solo (LEONARDO et al., 2008) e causar danos ao sistema radicular (FIORIN; VOGEL; BORTOLOTTI, 2016) sob baixa umidade. Secundariamente, em semelhança à hipótese levantada para o experimento com N, o K^+ em excesso na solução do solo pode ter estabelecido relações competitivas ou antagônicas com outros cátions (VIEIRA et al., 2014), provocado desbalanço nutricional no erval. (KHAN; MULVANEY; ELLSWORTH, 2014)

Apesar do baixo teor de P extraível no solo (menor do que 2 mg dm^{-3}), houve aumento da mortalidade de mudas Aupaba com o uso de ST (FIGURA 4C), no experimento com P_2O_5 . Devido à baixa mobilidade e rápida adsorção do P em solos tropicais, eram esperadas respostas positivas da erva-mate sob adubação fosfatada, visto que as doses aplicadas resultaram em aumento dos teores extraíveis por Mehlich-2 (este assunto é abordado com detalhe no capítulo 3 deste documento). Os resultados encontrados são discordantes dos observados por Santin et al. (2008) e Santin et al. (2013) em mudas propagadas por sementes, cultivadas em casa de vegetação. No estudo realizado por Santin et al. (2013), plantas cultivadas em

amostras da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Distrófico tiveram melhor desempenho quando os teores de P no solo estavam entre 18,5 e 28,6 mg dm⁻³, e os vasos foram suplementados com 100 mg dm⁻³ de N e K₂O. Similarmente, Santin et al. (2008) relataram que o rendimento da erva-mate, estabelecida em amostras da camada 0-20 cm de Argissolos Vermelho-Amarelo, foi maior com a aplicação de doses próximas a 400 mg kg⁻¹ de P₂O₅. Doses excessivas de P, por outro lado, podem trazer o comprometimento da absorção e transporte de Fe pelas plantas (SANTIN et al., 2013). Com base nos resultados não consensuais obtidos até o presente momento, é salutar que pesquisas voltadas ao manejo sítio-específico do P considere, além das doses, localização, fontes de P e épocas de aplicação, as variações de atributos físicos e químicos do solo, como disponibilidade e assimilação do nutriente em ambientes com diferentes classes texturais e composição mineral, e aspectos biológicos, como a associação de diferentes materiais genéticos com microorganismos simbióticos (SILVA et al., 2017). Tais aspectos, pouco ou não elucidados para a espécie, devem ser explorados em ações futuras voltadas ao manejo silvicultural de mudas seminais e clonais de diferentes procedências, evitando-se a aplicação de sub ou superdosagens de fontes fosfatadas em campo.

2.6 CONCLUSÕES

No estabelecimento inicial das mudas de erva-mate após transplante:

A cultivar Yari foi mais sensível às condições de campo em relação a Aupaba, com maior mortalidade de mudas principalmente nos primeiros 14 meses após implantação do erval.

Nas condições estudadas, a adubação com N proporciona maior mortalidade no estabelecimento de erva-mate, independente da cultivar.

A mortalidade de mudas de erva-mate varia em função da cultivar sob adubação com P e K. O uso destes nutrientes não influencia a sobrevivência da cultivar Yari, mas promove diminuição da sobrevivência da Aupaba, nos primeiros 30 meses após o plantio.

2.7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BATTIE-LACLAU, P. et al. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 364, p. 77–89, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.004>

CARDOSO, L. S. et al. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. (Circular: divulgação técnica, 6).

CHERUIYOT, E. K. et al. HIGH FERTILIZER RATES INCREASE SUSCEPTIBILITY OF TEA TO WATER STRESS. **Journal of Plant Nutrition**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 115–129, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904160903392659>

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. *E-book*. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf

CPTEC/INPE. **INFORMAÇÕES SOBRE PRODUTOS DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO MENSAL E SAZONAL DAS CHUVAS NO BRASIL NA PÁGINA DO CPTEC/INPE**. [s. l.], 2014. Disponível em: http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf.

CPTEC/INPE. **EVOLUÇÃO MENSAL E SAZONAL DAS CHUVAS; 2019,2020 e 2021, REGIÃO 120**. [s. l.], 2022. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt#>.

DUARTE, M. M. et al. Adubação nitrogenada na miniestaquia de erva-mate. **Advances in Forestry Science**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 981–988, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34062/afs.v7i2.9716>

FIORIN, J. E.; VOGEL, P. T.; BORTOLOTTI, R. P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 92–97, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i2a5371>

GRANT, C. A. et al. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 211–224, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/P00-093>

JACONDINO, W. D. et al. ANÁLISE SINÓTICA DO MÊS DE ABRIL DE 2018 NA REGIÃO SUL DO BRASIL: EPISÓDIO DE CALOR EXTREMO. **Revista Brasileira de**

Climatologia, Piracicaba, v. 25, n. April 2018, p. 182–203, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.60992>

JIMENEZ, R. R.; LADHA, J. K. Automated Elemental Analysis: A Rapid and Reliable but Expensive Measurement of Total Carbon and Nitrogen in Plant and Soil Samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S. l.], v. 24, n. 15–16, p. 1897–1924, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103629309368926>

KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; ELLSWORTH, T. R. The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 3–27, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1742170513000318>

LEONARDO, M. et al. Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. **Bragantia**, [S. l.], v. 67, n. 4, p. 883–889, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400010>

MANOLI, A. et al. NO homeostasis is a key regulator of early nitrate perception and root elongation in maize. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 185–200, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/ert358>

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T. da; MACCARI JUNIOR, A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Curitiba, PR, v. 31, n. 4, p. 619–627, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400006>

PATHAK, J. et al. Role of Calcium and Potassium in Amelioration of Environmental Stress in Plants. In: **Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress**. Estados Unidos da América: John Wiley and Sons Ltd, 2020. p. 535–562. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119552154.ch27>

PIMENTEL, N. et al. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 559–570, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509827009>

RICARDI, A. C. et al. O alumínio melhora o crescimento e a qualidade de mudas clonais de erva-mate (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. 1–29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8064>

SANTIN, D. et al. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 9, n. 1, p. 59–66, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rsa.v9i1.10135>

SANTIN, D. et al. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 363–375, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050989282>

SANTIN, D. et al. Effect of potassium fertilization on yield and nutrition of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 5, p. 1469–1477, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100->

06832014000500012

SANTIN, D. et al. SOBREVIVÊNCIA, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE ERVA-MATE PRODUZIDAS POR MINIESTACAS JUVENIS E POR SEMENTES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 571–579, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/19608/11603>

SILVA, E. P. da et al. MICORRIZAS ARBUSCULARES E FOSFATO NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CEDRO-AUSTRALIANO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269–1281, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509830320>

SOUZA, T. R. de et al. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 846–854, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600016>

VIEIRA, C. R. et al. Características do solo e das mudas de teca em função da adição de lodo do calcário. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v. 2, n. 2, p. 32–45, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2316980X15226>

WENDLING, I. et al. **BRS BLD Aupaba e BRS BLD Yari: cultivares clonais de erva-mate para produção de massa foliar de sabor suave**. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2017. Comunicado Técnico 411. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169725/1/CT-411-1496-final.pdf>.

WREGE, M. S. et al. Natural distribution of yerba mate in Brazil in the current and future climatic scenarios. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 28, n. March 2021, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v28.e026795>

3 CAPÍTULO 2: PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DE CULTIVARES DE ERVA-MATE SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SUL DO BRASIL

3.1 RESUMO

A erva-mate é uma espécie florestal que possui em sua composição diversos compostos bioativos de interesse para a saúde humana, como as metilxantinas, com ação estimulante, e compostos fenólicos de atividade antioxidante. São escassas as informações voltadas a compreensão do efeito da adubação e material genético na produção e composição química de suas folhas. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produtividade e composição fitoquímica de duas cultivares clonadas de erva-mate, na fase inicial de crescimento após o estabelecimento da muda para o cultivo a campo. O experimento foi conduzido em Severiano de Almeida - RS, à campo e a pleno sol utilizando como tratamentos duas cultivares de erva-mate (BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba) e aplicações anuais de nitrogênio em cinco diferentes doses (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹). Avaliou-se a produtividade de erva-mate comercial (ECOM), o teor de N de folhas índice (N-foliar), a porcentagem de massa seca (%MS) da fração folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG), o teor de metilxantinas (cafeína e teobromina) por cromatografia líquida (HPLC) e compostos fenólicos totais por oxidação (Folin Ciocalteu). Nenhuma dose de nitrogênio foi capaz de interferir na produção de ECOM e nos teores de compostos fenólicos totais das cultivares. Por outro lado, a matéria seca de galhos grossos foi influenciada positivamente pela adubação, apresentando maiores valores com o fornecimento de doses mais altas. A escolha da cultivar apresenta importância na concentração de cafeína e teobromina presente nas folhas da erva-mate.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*, nitrogênio, HPLC, metilxantinas

3.2 ABSTRACT

CHAPTER 2: PRODUCTIVITY AND PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF YERBA MATE CULTIVARS UNDER NITROGEN FERTILIZATION IN SOUTHERN BRAZIL

Yerba mate is a forest species that contains various bioactive compounds of interest to human health, such as methylxanthines, which have stimulating effects, and phenolic compounds with antioxidant activity. There is a scarcity of information regarding the understanding of the effect of fertilization and genetic material on the production and chemical composition of its leaves. The general objective of this work was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the productivity and phytochemical composition of two cloned cultivars of yerba mate in the initial growth phase after transplanting for field cultivation. The experiment was conducted in Severiano de Almeida - RS, in the field and under full sun, using two yerba mate cultivars (BRS BLD Yari and BRS BLD Aupaba) as treatments and annual nitrogen applications at five different doses (0, 5, 10, 20, and 30 g plant⁻¹). The commercial yerba mate productivity (ECOM), the leaf nitrogen content index (N-foliar), the percentage of dry matter (%MS) of the leaf fraction (FO), thin branches (GF), thick branches (GG), the content of methylxanthines (caffeine and theobromine) by liquid chromatography (HPLC), and total phenolic compounds by oxidation (Folin Ciocalteu) were evaluated. No nitrogen dose was able to interfere with the ECOM production and the total phenolic compounds of the cultivars. On the other hand, the dry matter of thick branches was positively influenced by fertilization, with higher values observed with higher doses. The choice of cultivar is important for the concentration of caffeine and theobromine present in yerba mate leaves.

Keywords: *Ilex paraguariensis*, nitrogen, HPLC, methylxanthines

3.3 INTRODUÇÃO

A erva-mate é uma cultura perene de importância econômica para a região sul da América do Sul (Brasil, Argentina e Paraguai), rica em nutrientes, antioxidantes polifenóis, compostos fenólicos, como flavonoides e ácidos clorogênicos (CQAs) e metilxantinas como a cafeína e a teobromina (TOMASI et al., 2021), o que confere à planta propriedades antioxidantes e estimulantes (BASTOS et al., 2007; SAMOGGIA; LANDUZZI; VICIÉN, 2021). Suas folhas são utilizadas para uma gama de usos, que incluem a fabricação de bebidas industrializadas e alimentos funcionais (GAWRON-GZELLA; CHANAJ-KACZMAREK; CIELECKA-PIONTEK, 2021), o preparo de chás e outras infusões tradicionais como o “chimarrão” e o “tererê”, responsáveis atualmente pelas principais demandas do mercado ervateiro (CARDOZO JUNIOR; MORAND, 2016; GAWRON-GZELLA; CHANAJ-KACZMAREK; CIELECKA-PIONTEK, 2021). O aumento de sua popularidade, e o potencial de expansão do mercado de folhas no exterior é exemplificada por entrevistas realizadas por SAMOGGIA; LANDUZZI; VICIÉN (2021) na Itália, as quais 66% das respostas indicavam que os participantes já tinham ouvido falar na planta anteriormente, 33% já haviam provado chás com erva-mate em sua composição, e 53% estariam dispostos a experimentá-los.

Dentre os principais nutrientes fornecidos ao erval via adubação, destaca-se o nitrogênio, o macronutriente primário mais exportado pela colheita da espécie, (SANTIN et al., 2019), presente na constituição molecular de aminoácidos, ácidos nucleicos, coenzimas (TAIZ; ZEIGER, 2002, p. 69), metilxantinas e polifenóis (PALUMBO; PUTZ; TALCOTT, 2007). Apesar da importância do N para o cultivo, são escassos e não consensuais os resultados experimentais com o uso da suplementação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo dos ervais (LOURENÇO; CURCIO; RACHWAI, 1999; MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007; SANTIN et al., 2014a, SANTIN et al., 2019).

Variações nos teores de metilxantinas e polifenóis podem alterar a palatabilidade da bebida derivada de erva-mate (SCHERER et al., 2002) e, com isso, a sua aceitação pelos consumidores. No mercado brasileiro, por exemplo, verifica-se menor preferência pelo consumo de infusões com sabor mais acentuado e amargo, o que justifica a demanda por folhas de sabor mais suavizado, a serem obtidas com estratégias de manejo e processamento, como o uso de materiais clonais melhorados (WENDLING et al., 2017) e cuidados na secagem industrial (TOMASI et al., 2021).

Como as metilxantinas são produzidas pelo metabolismo secundário das plantas para defesa contra patógenos e insetos (MORRIS et al., 1994), acredita-se popularmente que manter o cultivo em condições ambientais adequadas pode se constituir em estratégia para a obtenção de material suave, em contraposição à crença popular de que a adubação pode resultar em folhas com maior teor de compostos fenólicos (mais amarga) do que a erva não ou manejada. São, todavia, escassas as informações científicas voltadas a padronização da composição fitoquímica da espécie em povoamentos comerciais.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produtividade e composição fitoquímica de duas cultivares clonais de erva-mate, na fase inicial de crescimento, após o estabelecimento das mudas a campo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área e adubação

O estudo foi realizado em experimento implantado em julho de 2018, na localidade de Severiano de Almeida – RS (SA), coordenadas -27°24'16" S, 52°6'32,6" W, 412 m de altitude, em um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico A proeminente. O cultivo na área onde foram implantados os experimentos iniciou em 1975 com agricultura para produção de grãos, principalmente soja e milho, sendo que a partir de 1985 o cultivo foi realizado sem preparo do solo, em sistema plantio direto. As características químicas e o teor de argila do solo antes da instalação do experimento constam na Tabela 1. São observados baixos teores de matéria orgânica e P, médio teor de K e Al (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2016).

TABELA 3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAMADA DE 0-20 CM DO SOLO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NO MUNICÍPIO DE SEVERIANO DE ALMEIDA, RS¹.

MO g kg ⁻¹	___ pH ___ SMP	H ₂ O	P _ mg dm ⁻³ _	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC	Argila ___ g kg ⁻¹ ___	Areia
_____ cmol _c .dm ⁻³ _____											
17,00	5,50	5,30	1,70	64,00	6,60	2,60	0,30	5,60	14,98	420	90

FONTE: O autor (2022).

NOTA: ¹MO: matéria orgânica; SMP: pH medido em tampão pH 7; P: fósforo extraível por solução Mehlich-1

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela possui 6 linhas de 5 plantas, sendo a primeira e a última linhas as bordaduras (não avaliadas). Das 4 linhas úteis centrais, duas de cada clone, descartou-se a primeira e a última planta (bordaduras), totalizando 3 plantas úteis por linha, resultando, portanto, em seis plantas úteis para cada clone. O espaçamento entre linhas é de 2,7 m e entre as plantas na mesma linha de 1,5 m.

Os tratamentos resultaram da combinação de dois clones fêmeas (BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba), abreviados neste trabalho como Yari e Aupaba e cinco doses de N de 0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹ ano⁻¹, resultando em 10 tratamentos. No plantio das mudas a dose de N foi aplicada incorporada na cova, de tamanho de 15 x 15 cm. Após o plantio a dose anual foi dividida em partes iguais e aplicada em

setembro e fevereiro, em superfície, na projeção da copa, e mantendo uma distância de 20 cm do tronco.

Os adubos utilizados para compor as diferentes doses de nutrientes foram a ureia (U – 45% de N), o superfosfato triplo (ST – 45% de P_2O_5) e o cloreto de potássio (KCl – 60% de K_2O). P e K foram aplicados em doses fixas de $30 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 e $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O . Essas doses foram aplicadas da mesma forma que as adubações nitrogenadas.

Em julho de 2021, realizou-se a primeira colheita da área experimental. Foi colhido aproximadamente 85% da massa de folhas e galhos das plantas, manualmente e usando serrote de poda. O material colhido foi separado e quantificado em massa fresca (MF) de folhas (FO), galhos finos (<7 mm - GF) e galhos grossos (>7 mm – GG). A soma de FO e GF compreende a erva-mate comercial (ECOM) e GG não é utilizado comercialmente (descarte). Como parâmetro foi utilizado a ECOM potencial, considerando o total colhido por parcela dividido pelo número de plantas colhidas (e não pelo número total). Uma amostra de FO, GF e GG foi coletada e seca em estufa de circulação de ar para determinação da massa seca (MS). Os dados obtidos foram transformados em kg ha^{-1} considerando a produção e o espaçamento entre plantas. Também foi calculado a porcentagem de massa seca, pela relação entre a massa fresca colhida (massa fresca) e a massa obtida após secar o material em estufa até peso constante.

3.4.2 Extração e determinação de compostos fenólicos totais

3.4.2.1 Preparo da amostra

Para determinação dos compostos fenólicos totais foram coletadas quatro folhas de cinco plantas da área útil da subparcela, uma em cada ponto cardeal, resultando em 20 folhas e aproximadamente 50 gramas de folhas frescas. Logo após a coleta, ainda à campo, procedeu-se a secagem em forno de micro-ondas, visando a melhor preservação de metabólitos secundários (como fenólicos e metilxantinas) (HANSEL et al., 2008; TOMASI et al., 2021). Na secagem, as folhas foram levemente prensadas entre pedaços de papel toalha e secadas em intervalos de 30 segundos até o material vegetal estar com o aspecto “crocante” (totalizando aproximadamente 5 min). Entre os intervalos de secagem, as folhas foram movimentadas para a melhor

perda de umidade e para evitar a sua oxidação. As amostras secas foram identificadas, colocadas em papel *kraft* protegidas ao abrigo da luz. No laboratório, as amostras foram triadas, com a remoção das folhas com aspecto de oxidação, e moídas até quase 100% do material passar por peneira de malha 1 mm. As amostras foram armazenadas em saquinhos plásticos com o mínimo de ar e mantidas em freezer (± -5 °C) até o momento da análise.

3.4.2.2 Análise dos compostos fenólicos totais

As amostras mantidas em freezer foram descongeladas à temperatura ambiente. Em seguida, entre 1 e 1,5 g do material foi acondicionado em cadinho de porcelana e deixado em estufa a 105 °C até massa constante, para eliminação da umidade. Entre 500 e 510 mg da amostra foram adicionadas em tubos Falcon de 50 mL, em 40-45 mL de água deionizada fervente. Os tubos foram tampados, agitados até não haver amostra retida no fundo e submetidos ultrassom por 30 minutos, para a extração dos compostos fenólicos. As amostras foram filtradas em papel filtro qualitativo por aproximadamente 18 horas em sala escura refrigerada por ar-condicionado (≈ 18 °C), até não haver mais líquido retido no filtro. Foram então avolumadas em balão de 50 mL e armazenadas novamente em tubos Falcon.

As determinações dos compostos fenólicos totais foram realizadas em duplicata, seguindo metodologia desenvolvida por Singleton e Rossi (1965). Em balões de 10 mL adicionou-se ± 5 mL de água deionizada juntamente com uma alíquota de 100 μ L do extrato (amostra), com o uso de micropipeta de precisão. Em seguida, também com micropipeta, adicionou-se 500 μ L do reagente concentrado *Folin-Ciocalteu* (Sigma-Aldrich®). Homogeneizou-se cada balão por aproximadamente 1 minuto. Em sequência, adicionou-se 2 mL de solução aquosa de Na_2CO_3 (15% m/v) para ativar a reação. Os balões foram então homogeneizados novamente por mais 30 segundos e avolumados com água deionizada. A partir deste momento cronometrou-se 2 horas para dar início a leitura das amostras.

A leitura da absorbância foi feita com cubetas de vidro em espectrofotômetro UV 720 nm. Entre repetições da mesma amostra a cubeta foi apenas aclimatada com a repetição a ser lida. Entre diferentes amostras, a cubeta foi também lavada com água destilada para evitar contaminação. O resultado da absorbância obtido foi

plotado em curva padrão para determinar a concentração em mg L^{-1} de equivalente ácido gálico.

3.4.2.3 Curva de calibração para determinação dos compostos fenólicos totais

A curva padrão foi montada com o uso de uma solução estoque, preparada com 0,010 g de ácido gálico PA em água deionizada, avolumada para 100 mL. Esta solução foi pipetada em 10 volumes distintos (150; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 μL) em 10 mL de água deionizada? (equivalente a 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 mg L^{-1}). Essas concentrações conhecidas foram relacionadas com os resultados de absorvância, obtendo-se o modelo linear $y=0,1139x-0,0352$ ($R^2 = 0,993$).

3.4.2.4 Extração e determinação de cafeína e teobromina

Em laboratório, uma alíquota das amostras de folha previamente descongeladas e secas foram separadas, peneiradas em malha 0,25 mm, e 250 mg foi misturada com com ± 12 mL de água purificada, para extração em banho-maria por 1 h a 100 °C, conforme descrito por Tomasi et al. (2021). O extrato aquoso obtido foi filtrado em filtro de café (102 Melitta®) e armazenado em tubos tipo Falcon, em congelador (± -5 °C), até o dia da leitura.

Antes da análise, os tubos foram retirados do congelador para descongelar lentamente em geladeira, por 12 h. O extrato foi então agitado e ± 1 mL filtrado em microfiltro de seringa e transferido para *vial flask* previamente identificado. A leitura dos compostos (cafeína e teobromina) foi realizada por cromatografia líquida (*high-performance liquid chromatography* - HPLC), ajustada para comprimento da onda de 254 nm. Os resultados das leituras obtidas foram plotados em curva padrão, feita a partir de concentrações conhecidas dos compostos fenólicos em questão. Obteve-se assim a concentração destes de forma indireta, através de cálculo pela área do gráfico resultante (CAMARGO; TOLEDO, 1999).

3.4.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a testes realizados quanto à normalidade por meio do teste de *Shapiro Wilk* para verificação da normalidade dos dados, e posteriormente, à análise de variância (ANOVA) para detectar os efeitos dos tratamentos (p-valor 0,05 ou inferior), considerando-se a variável dose de nitrogênio (0, 5, 10, 20 e 30 g planta⁻¹ ano⁻¹) como parcela e os cultivares (Yari, Aupaba) como sub parcela. Quando positivo, foi realizada a análise de regressão para o fator dose de N.O teste de normalidade e a análise de variância foram efetuadas no software R (*R Core Team*, versão 4.2.1), com o uso do pacote estatístico *doebioresearch* (versão 0.1.0). Os modelos de regressão foram obtidos pelo software SAS versão 6.11.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Produção de matéria seca de erva-mate comercial (ECOM)

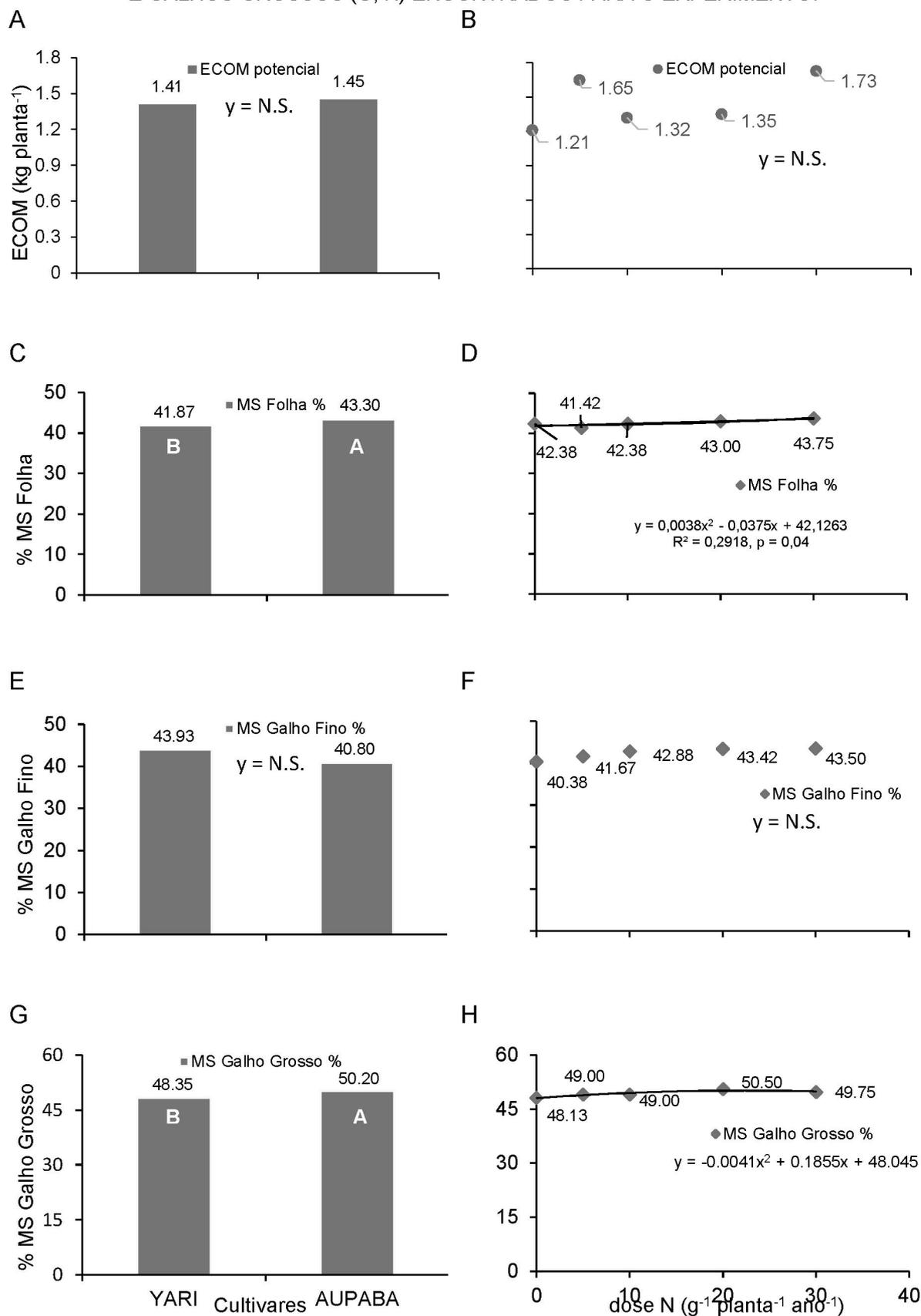
Pela análise de variância (TABELA 4), não houve efeito da cultivar na produção de ECOM e nos percentuais de matéria seca de GF e GG. As cultivares, todavia, diferiram quanto o percentual de matéria seca do componente FO, maior na cultivar Aupaba (FIGURA 5 C). A interação entre cultivar e adubação não resultaram em diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na produção de ECOM e nos percentuais de FO, GF e GG. Isoladamente, a adubação nitrogenada promove mudanças nos percentuais de matéria seca dos componentes FO ($p \leq 0,05$) e GG ($p \leq 0,01$), todavia os aumentos estimados pelos modelos são discretos (FIGURA 5 D e H). O aumento do percentual de massa seca com a adubação nitrogenada também é relatada por Santin et al. (2017), é favorável sob o aspecto produtivo, por aumentar o rendimento de erva após o processamento. O efeito da adubação nitrogenada na produção do erval, reportados em literatura, não são consensuais, sendo verificados aumentos na produtividade em até 18% (SANTIN et al., 2014a) e 32% (Santin et al., 2019) com o uso de N em cultivo a campo e plantas adultas. As respostas à adubação nitrogenada podem variar significativamente em razão do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições pedoclimáticas do sítio de produção (vide capítulo 1).

TABELA 4 - QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ECOM, PERCENTUAL DE MATÉRIA SECA (MS) DE FOLHAS (FO), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CULTIVARES DE ERVA-MATE ESTABELECIDAS EM SEVERIANO DE ALMEIDA, RS, AVALIADA TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO, E SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO (N).

Parâmetro	ECOM Potencial ³ kg planta ⁻¹	Matéria Seca (MS)			Composição Química			
		MS FO ¹ %	% MS GF ¹	% MS GG ¹	N Foliar ⁴ g kg ⁻¹	Teobro- mina ¹ mg g ⁻¹	Cafeína ¹ mg g ⁻¹	Fenólicos Totais ² mg g ⁻¹
BLOCO	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,01$	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,05$
CLONE	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,01$	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$	$p = 0,08$
DOSE N	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,05$	QM ^{n.s.}	$p \leq 0,01$	QM ^{n.s.}	$p = 0,07$	$p = 0,07$	QM ^{n.s.}
CLONE X DOSE N	QM ^{n.s.}	$p = 0,07$	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}

FONTE: O autor (2022)

FIGURA 5 - PRODUTIVIDADE DE ERVA-MATE COMERCIAL POTENCIAL (ECOM) (A, B), PORCENTAGEM DE MASSA SECA (MS) DE FOLHAS (C, D), GALHOS FINOS (E, F) E GALHOS GROSSOS (G, H) ENCONTRADOS PARA O EXPERIMENTO.



FONTE: O autor (2022).

3.5.2 N-foliar e compostos fitoquímicos

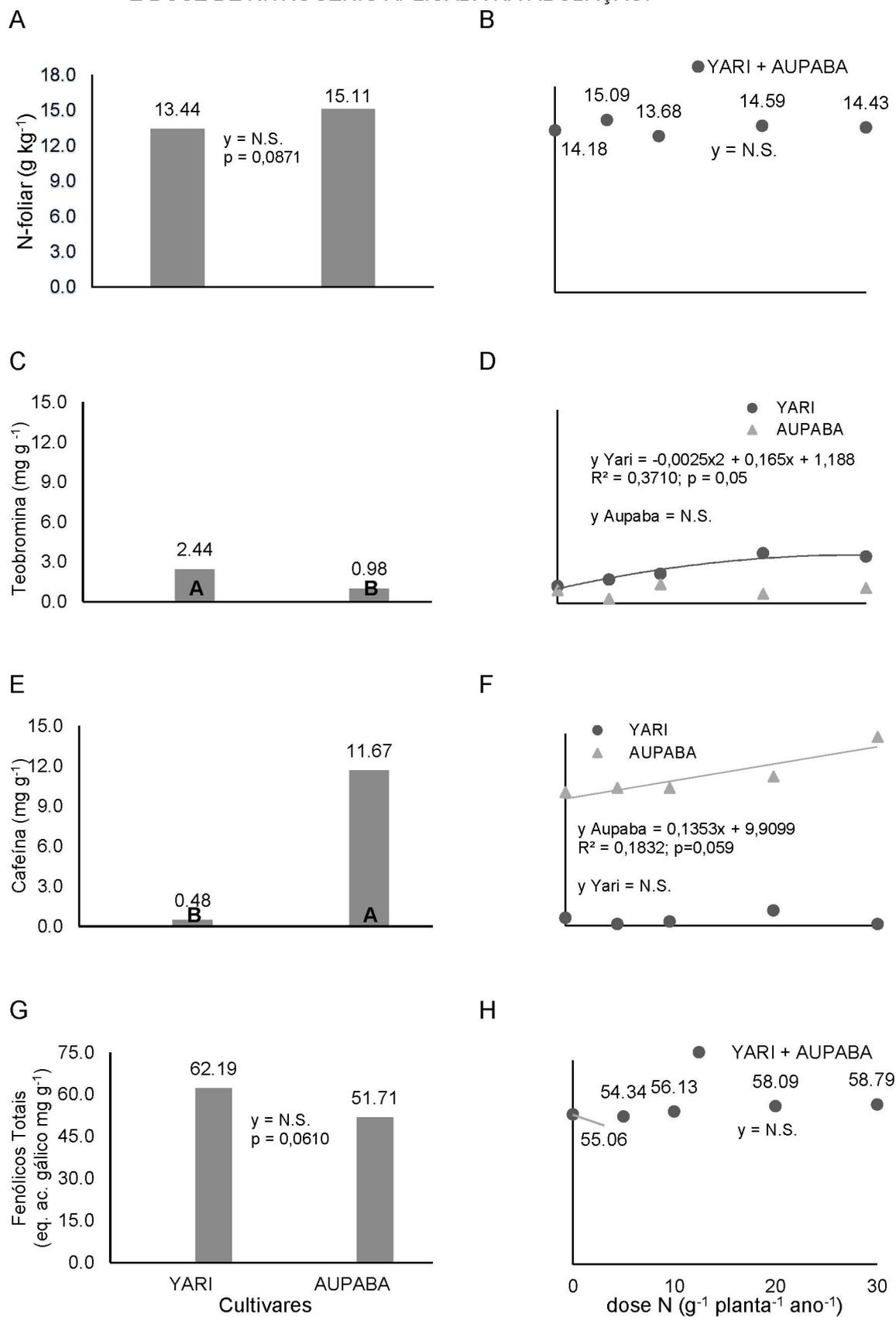
A ANOVA (TABELA 4) detectou efeito da cultivar nos teores foliares de N mineral ($p \leq 0,05$), sem efeito da adubação nitrogenada e da interação entre cultivar e adubação. Pelo teste de médias, o teor médio de N foi (numericamente) maior na cultivar Aupaba, considerando o valor p limítrofe para significância ($p \leq 0,10$). Os teores médios de N em ambas cultivares (10 a 21 g kg⁻¹) estão abaixo do intervalo considerado adequado por Pauletti e Motta (2019), de 24 a 36 g kg⁻¹, o que sugere a ocorrência de deficiência nutricional sem sintomas visuais, numa condição conhecida como "fome oculta". Considerando que o mecanismo majoritário de absorção do N pelas raízes é o fluxo de massa (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989), pode-se considerar que, em períodos com registros de precipitação abaixo da média (FIGURA 1), a deficiência hídrica do solo tenha comprometido a adequada nutrição nitrogenada, mesmo com suficiência de N no solo, resultando no aproveitamento reduzido da adubação mineral e do N disponibilizados pela decomposição da matéria orgânica, após o preparo do solo, em todos os tratamentos. Ainda que as condições ambientais justifiquem a obtenção de teores foliares abaixo do esperado, independentemente da dose aplicada, deve-se também considerar a limitação amostral inerente as faixas de suficiência atualmente preconizadas em literatura, limitadas quanto a idade do povoamento, a genética e o ambiente.

Isoladamente, as cultivares diferiram quanto os teores foliares de ambas metilxantinas avaliadas ($p \leq 0,01$). Os teores médios de teobromina foram 2,5 vezes maiores ($p \leq 0,05$) na cultivar Yari (2,44 mg g⁻¹) em relação à Aupaba (0,98 mg g⁻¹), ao passo que o teor médio de cafeína em Yari (0,48 mg g⁻¹) foi 24 vezes menor ($p \leq 0,05$) em relação à Aupaba (11,67 mg g⁻¹). Os valores médios destes compostos, obtidos no presente estudo, são semelhantes aos observados por TOMASI et al. (2021) ao utilizar folhas providas de plantas adultas de erva-mate secas com forno de microondas (13 e 0,9 mg g⁻¹ de cafeína de teobromina, respectivamente) (TOMASI et al., 2021). O efeito das doses de N nos teores foliares de teobromina e cafeína apresentaram nível p de significância de 0,07, sem interação com o fator cultivar (TABELA 4). Foi possível ajustar regressões quadrática crescente entre doses de N e teor de teobromina para a cultivar Yari, e linear crescente entre doses e teor de cafeína para a cultivar Aupaba (FIGURA 6 D e F). Os resultados são discordantes da hipótese apresentada por Morris et al. (1994). Há na literatura uma teoria que diz de que plantas

não adubadas podem sofrer estresse por restrição nutricional, o que aumentaria a produção de substâncias de defesa (metabólitos secundários) em seus tecidos, em uma relação conhecido trade off , existente entre crescimento e defesa (HERMS; MATTSON, 1992).

Os compostos fenólicos totais não sofreram o efeito da adubação nitrogenada, nem da interação desta com o fator cultivar (TABELA 4). Isoladamente, os valores p limítrofes para significância do efeito da cultivar ($p = 0,08$) sugerem teores de fenólicos maiores em Yari (TABELA 4, FIGURA 6G), o que pode ser confirmado em estudos futuros abrangendo a composição química dos materiais clonais estudados. Ambas as cultivares apresentam teores (equivalente 50 a 60 mg ácido gálico g MS⁻¹) menores à média reportada para a erva-mate (equivalente 80 a 90 mg ácido gálico g MS⁻¹) por TOMASI et al. (2021) (FIGURA 6), o que pode ser resultante da estrutura etária da população amostrada na época da colheita, constituída por plantas jovens em razão do estabelecimento inicial, realizado com a reposição das mudas não resistentes a estiagem ocorrida durante o período experimental (FIGURA 1) (CARDOSO et al., 2020; JACONDINO et al., 2019).

FIGURA 6 - TEOR DE NITROGÊNIO (N-FOLIAR) (A E B), TEOBROMINA (C, D), CAFEÍNA (E, F) E FENÓLICOS TOTAIS (G, H) EM FOLHAS DE ERVA MATE EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DOSE DE NITROGÊNIO APLICADA NA ADUBAÇÃO.



FONTE: O autor (2022).

3.6 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada não resultou em aumento da produção de erva mate e no teor de compostos fenólicos totais no início do ciclo de cultivo, independente da cultivar avaliada.

A cultivar Aupaba apresenta maiores teores de N foliar e cafeína, e menor de teobromina, em relação à Yari.

Existe uma tendência de aumento de teores de cafeína em Aupaba e teobromina em Yari com o fornecimento de N. Para fenólicos totais não houve influência para nenhuma das cultivares.

3.7 REFERÊNCIAS

BASTOS, D. H. M. et al. Yerba mate: Pharmacological Properties , Research and Biotechnology. **Medicinal and aromatic plant science and biotechnology**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 37–46, 2007. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Yerba-mat%3A-Pharmacological-Properties%2C-Research-and-Helena-Bastos/540355aa89cdebcabf8c16c1d670b35362e7a8af>

CAMARGO, M. C. R. de; TOLEDO, M. C. F. HPLC determination of caffeine in tea, chocolate products and carbonated beverages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Estados Unidos da América, v. 79, n. 13, p. 1861–1864, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199910\)79:13<1861::AID-JSFA448>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199910)79:13<1861::AID-JSFA448>3.0.CO;2-Y)

CARDOSO, L. S. et al. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. (Circular: divulgação técnica, 6).

CARDOZO JUNIOR, E. L.; MORAND, C. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health – A review. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 21, p. 440–454, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.010>

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. *E-book*. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf

GAWRON-GZELLA, A.; CHANAJ-KACZMAREK, J.; CIELECKA-PIONTEK, J. Yerba Mate—A Long but Current History. **Nutrients**, [S. l.], v. 13, n. 11, p. 3706, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu13113706>

HANSEL, F. A. et al. Moagem e sapeco/secagem em forno de microondas na classificação sensorial de erva-mate no infravermelho próximo. **Embrapa Florestas- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Colombo, PR, 2008.

HERMS, D. A.; MATTSON, W. J. The Dilemma of Plants: To Grow or Defend. **The Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 67, n. 3, p. 283–335, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2830650>

JACONDINO, W. D. et al. ANÁLISE SINÓTICA DO MÊS DE ABRIL DE 2018 NA REGIÃO SUL DO BRASIL: EPISÓDIO DE CALOR EXTREMO. **Revista Brasileira de Climatologia**, Piracicaba, v. 25, n. April 2018, p. 182–203, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.60992>

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAI, M. G. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em latossolo vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, [S. l.],

v. 34, p. 75–98, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T. da; MACCARI JUNIOR, A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Curitiba, PR, v. 31, n. 4, p. 619–627, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400006>

MORRIS, O. N. et al. Interaction of Caffeine and Related Compounds with *Bacillus thuringiensis* ssp.kurstaki in Bertha Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, [S. l.], v. 87, n. 3, p. 610–617, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jee/87.3.610>

PALUMBO, M. J.; PUTZ, F. E.; TALCOTT, S. T. Nitrogen fertilizer and gender effects on the secondary metabolism of yaupon, a caffeine-containing North American holly. **Oecologia**, [S. l.], v. 151, n. 1, p. 1–9, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0574-1>

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (org.). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

SAMOGGIA, A.; LANDUZZI, P.; VICIÉN, C. E. Market Expansion of Caffeine-Containing Products: Italian and Argentinian Yerba Mate Consumer Behavior and Health Perception. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v. 18, n. 15, p. 8117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18158117>

SANTIN, D. et al. Fontes de nitrogênio e técnicas de propagação de mudas atuam na produtividade de erva-mate. **Separatas Embrapa Florestas**, [S. l.], p. 1–6, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104117/1/2014-AAC-Ivar-FontesNitrogenio.pdf>

SANTIN, D. et al. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 1199–1214, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509810843>

SCHERER, R. et al. Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica**, [S. l.], v. 126, n. 2, p. 203–210, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1016375012471>

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965. Disponível em: <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3. ed. Sunderland, MA, EUA: Sinauer Associates, 2002.

TOMASI, J. D. C. et al. Effects of different drying methods on the chemical, nutritional

and colour of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **International Journal of Food Engineering**, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0312>

WENDLING, I. et al. **BRS BLD Aupaba e BRS BLD Yari: cultivares clonais de erva-mate para produção de massa foliar de sabor suave**. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2017. Comunicado Técnico 411. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169725/1/CT-411-1496-final.pdf>.

4 CAPÍTULO 3: EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ERVA-MATE

4.1 RESUMO

O presente estudo teve como objetivo determinar o efeito da adubação fosfatada, durante o estabelecimento inicial de duas cultivares de erva-mate, na região norte do Rio Grande do Sul. O estudo consistiu em um experimento à campo, estabelecido no município de Severiano de Almeida - RS. Foi implementado em esquema fatorial 2 x 5 com duas cultivares de erva-mate BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba e cinco doses anuais de fósforo (P) nas doses de 0, 10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹ de P₂O₅. Avaliou-se o efeito dos tratamentos na produtividade de erva-mate comercial potencial (ECOM), na porcentagem de massa seca (%MS) de folhas (FO), galhos finos (GF) e galhos grossos (GG), no teor foliar (P-foliar) e teor de P disponível no solo em 3 camadas (0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm). Os teores de P disponível no solo foram significativamente elevados na camada inicial do solo (0-10 cm), mas não nas subjacentes. A aplicação das diferentes doses não interferiu na produção de ECOM pelas cultivares nem elevou os teores de P foliar e, assim, as cultivares estudadas podem ser consideradas pouco exigentes nas fases iniciais de produção.

Palavras-chave: erva-mate, fertilização fosfatada, produção comercial

4.2 ABSTRACT

CHAPTER 3: EFFECT OF PHOSPHATE FERTILIZATION ON THE PRODUCTION OF TWO YERVA MATE CULTIVARS

The present study aimed to determine the effect of phosphorus fertilization during the initial establishment of two yerba mate cultivars in the northern region of Rio Grande do Sul. The study consisted of a field experiment established in the municipality of Severiano de Almeida - RS. A 2 x 5 factorial scheme was implemented with two yerba mate cultivars, BRS BLD Yari and BRS BLD Aupaba, and five annual doses of phosphorus (P) at 0, 10, 20, 30, and 40 g plant⁻¹ of P₂O₅. The treatments' effects on potential commercial yerba mate yield (ECOM), percentage of dry matter (%MS) in leaves (FO), fine branches (GF), and coarse branches (GG), foliar phosphorus content (P-foliar), and available P content in the soil in three layers (0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm) were evaluated. The available P content in the soil was significantly higher in the initial soil layer (0-10 cm) but not in the underlying layers. The application of different doses did not interfere with ECOM production by the cultivars nor increase foliar P content. Therefore, the studied cultivars can be considered as having low initial production requirements.

Keywords: yerba mate, phosphate fertilization, commercial production

4.3 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma espécie nativa da América do Sul (GAWRON-GZELLA; CHANAJ-KACZMAREK; CIELECKA-PIONTEK, 2021) adaptada a solos intemperizados, com baixa fertilidade natural, altos teores de alumínio e manganês trocáveis (CARVALHO, 2003; REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1999; TOPPEL et al., 2018). Apesar de explorada historicamente de forma tradicional extrativista, o desenvolvimento de sistemas intensivos de produção, constituídos pelo menor tempo para a formação do erval e por maiores índices de produção (SANTIN et al., 2014a), vem demandando a reposição dos nutrientes exportados com as colheitas via calagem ou por meio da aplicação de insumos como calcário fertilização.

Os principais nutrientes que são fornecidos para a planta da erva-mate através da adubação são o fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K). O P é um macronutriente primário atuante diretamente no crescimento das plantas (USUDA; SHIMOGAWARA, 1993), em razão de sua participação no armazenamento e transferência de energia através da molécula do ATP (GRANT et al., 2001). e o quinto macronutriente mais exportado pela cultura da erva-mate (PAULETTI; MOTTA, 2019). Embora a sua deficiência seja apontada como um dos fatores que mais limita o crescimento de espécies arbóreas em condições tropicais (FURTINI NETO et al., 2005), são poucos e não consensuais os resultados disponíveis em literatura quanto às doses adequadas à sua suplementação no cultivo da erva-mate (CECONI et al., 2007; PANDOLFO et al., 2003; SANTIN et al., 2008). Santin et al. (2008) relataram melhora no crescimento de mudas da cultura com o fornecimento de P, sendo a fertilização com 448 mg dm⁻³ de P a dose que proporcionou melhor rendimento. Similarmente, Ceconi et al. (2007) também encontraram dependência e melhor rendimento de mudas em ambiente protegido, com a dose ótima de 360 a 450 mg kg⁻¹ de P. Pandolfo et al (2003) não encontraram respostas positivas para a aplicação de P em solo argiloso quando o teor era próximo de 4 mg dm⁻³ de P (faixa de interpretação baixa).

Diante da escassez de informações sobre a exigência da erva-mate em fósforo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação fosfatada na produtividade, na influência nos teores de P foliar e no P extraível (Mehlich-1) do solo,

em duas cultivares clonais de erva-mate na fase inicial de crescimento, após o estabelecimento das mudas a campo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido à campo, no município de Severiano de Almeida, Rio Grande do Sul, nas coordenadas 27°24'16" S, 52°6'32,6" W, a 412 m de altitude. O clima local é o Cfb (subtropical úmido sem estação seca e verão temperado) (ALVARES et al., 2013) e o solo um Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico A proeminente O teor de P de 1,7 mg P dm⁻³ na camada superficial de 0-20 cm do solo antes da implementação do experimento, situa-se na faixa de interpretação muito baixa para culturas florestais (PAULETTI; MOTTA, 2019). Demais resultados da análise de solo compreendiam teores de K de 64 mg dm⁻³; 1,7% de matéria orgânica (MO); Al com teor de 0,3 cmol_c dm⁻³ e V% igual a 63%. Antes da implantação do experimento, a área foi cultivada por mais de 30 anos com espécies anuais em sistema plantio direto.

A implantação do experimento ocorreu em julho de 2018, com o plantio das mudas em covas de 30 x 25 cm e com espaçamento 2,7 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha. A parcela foi composta por seis linhas com cinco plantas, sendo consideradas bordaduras as linhas laterais das parcelas e a primeira e última planta de cada linha. Os tratamentos utilizados consistiram na combinação de duas cultivares de erva-mate (Yari e Aupaba) e cinco doses anuais de P₂O₅ (0, 10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹), consistindo assim num experimento fatorial 2 x 5. Todos os tratamentos receberam doses fixas de 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ tanto de N como de K₂O. Na implantação a dose completa foi aplicada na cova. Nos demais anos, essas doses foram divididas aplicando metade em fevereiro e metade em setembro. Os adubos (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) foram aplicados ao redor das mudas distantes pelo menos 20 cm, manualmente na superfície do solo. A condução foi realizada a pleno sol (FIGURA 7).

FIGURA 7 - ASPECTO DAS PLANTAS DA ÁREA EXPERIMENTAL APÓS 36 MESES DE CULTIVO.



FONTE: O autor (2022).

Durante a condução do experimento não foi aplicado calcário, sendo a última calagem realizada a mais de 15 anos.

4.4.2 Colheita da erva-mate comercial e avaliação da massa seca

Aos 36 meses após a implantação (julho/2021) realizou-se a primeira colheita com o uso de serrote de poda, cortando o caule primário da planta a 20 cm do solo (FIGURA 8 A) e depois realizando a limpeza das brotações excessivas, mantendo as mais promissoras, saudáveis e com maior viabilidade de desenvolvimento (FIGURA 8 B). Foram colhidas todas as plantas da área útil de cada parcela, ou seja, seis plantas de cada cultivar.

FIGURA 8 - COLHEITA INICIAL E FORMAÇÃO DE COPA DA ERVA-MATE.



FONTE: O autor (2022).

NOTA: A: Colheita do caule principal a +-20 cm de solo deixando as primeiras brotações; B: muda finalizada após retirada das brotações e ramos residuais excessivos.

O material colhido foi então triado, fazendo-se a separação das frações galho grosso (GG – galho > 7 mm diâmetro), galho fino (GF, galho < 7 mm de diâmetro) e folhas (FO). Considera-se como material comercializável (ECOM) a soma das frações FO + GF.

Todo o material vegetal colhido (GG, GF e FO) foi pesado separadamente para determinar a produtividade de massa fresca (MF) por hectare. Deste material, separou-se subamostras de 100 a 200 g para determinar a seca massa seca (%MS) com a secagem em estufa a 45°C. Com a %MS calculou-se a produtividade de matéria seca de ECOM, GG, GF e FO por hectare.

4.4.3 Coleta de folhas índice e análise de fósforo foliar

No mesmo dia e antes de iniciar a colheita, coletou-se 20 folhas totalmente expandidas do terço médio nos quatro pontos cardeais de cinco plantas úteis de cada parcela. As folhas foram coletadas nos galhos com brotação do ano, no terço médio da copa (PAULETTI; MOTTA, 2019). Em laboratório, estas foram secas durante aproximadamente uma semana em estufa a 45° até peso constante. Posteriormente

a amostra foi moída até aspecto homogêneo e tamanho de 1 mm e armazenadas dentro de sacos plásticos *ziploc* pré-identificados até o momento da digestão.

Para a análise, separou-se ± 1 g de cada amostra para uma nova secagem a 65° por meia hora, visando remover a umidade absorvida pela amostra durante o período de armazenamento. Uma alíquota de 200 a 205 mg do material vegetal foi pesada para digestão nítrica ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$), com auxílio de micro-ondas. O extrato resultante foi avolumado para 50 mL, obtendo-se assim uma concentração média de 4 g L^{-1} de material seco.

A determinação do P foi realizada pela metodologia do amarelo de vanadato (SILVA, 2009), sendo 2 mL do extrato digerido reunido a 5 mL de reagente molibdato-vanadato e submetido a 5 minutos de reação, para posterior a leitura em espectrômetro UV-VIS, em comprimento de onda de 420 nm. O teor médio de P foi determinado indiretamente, pela plotagem a absorbância de cada uma das amostras, em curva padrão realizada no mesmo dia das análises (com $R^2 > 0,99$).

4.4.4 Coleta do solo e análise de fósforo extraível por Mehlich-1

Com o auxílio de trado holandês, foram coletadas oito subamostras de solo por parcela nas linhas, no local de aplicação do adubo, das profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As subamostras de cada profundidade foram reunidas por sub-parcela e homogeneizadas, compondo aproximadamente 300 g de terra. As amostras foram encaminhadas ao laboratório para secagem em estufa a 45°C , moídas, peneiradas em malha de 2 mm, e armazenadas em sacos plásticos lacrados até o momento da análise.

A metodologia da análise de P utilizada foi por espectrofotometria com azul-de-molibdênio, de acordo com o procedimento descrito por Pavan et al. (1992). Foram cachimbados 10 cm^3 do solo previamente seco e peneirado para um erlenmeyer de 250 mL, juntamente com solução extratora Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$). A mistura foi homogeneizada em agitador circular por 10 minutos e mantida em decantação por aproximadamente 20 horas. Foram separados 5 mL do sobrenadante para a reação com 10 mL de solução concentrada de molibdato e uma pitada de ácido ascórbico, utilizado como catalizador. Após meia hora, a leitura da absorbância foi realizada em fotocolorímetro previamente calibrado no comprimento de onda de 660

nm. O teor de fósforo na amostra foi determinado indiretamente, pela plotagem a absorvância de cada uma das amostras na curva padrão ($R^2 > 0,99$).

4.4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos dados pelo teste de *Shapiro Wilk*. Sendo verdadeira esta premissa, obteve-se a análise de variância (ANOVA) como *splitplot*, utilizando as cinco doses de P como parcela e as duas cultivares como subparcela. Para tanto, foi utilizado o software R (*R Core Team*, versão 4.2.1), com auxílio da ferramenta *doebioresearch* (versão 0.1.0). Nos casos onde o teste F foi significativo ($p\text{-valor} < 0,05$) para o fator adubação, foi realizada a análise de regressão entre doses de P e produção, utilizando-se o software SAS versão 6.11.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância, não houve efeito da cultivar e da adubação na produção de ECOM (entre 0,5 e 1,0 kg planta⁻¹, TABELA 5 e TABELA 6), nos percentuais de matéria seca de FO e de GG ($p \leq 0,05$), nos teores de P foliar, e interação entre os fatores cultivar e adubação para as variáveis ECOM, MS FO%, GF%, GG% e P foliar. Houve, todavia, efeito da cultivar no percentual de matéria seca do componente GF (TABELA 5), sendo maior em Yari. O aumento do percentual de massa seca de FO ou GF com a adubação fosfatada é favorável sob o aspecto produtivo, por aumentar o rendimento de erva após o processamento.

TABELA 5 - QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE ERVA MATE COMERCIAL (ECOM), PERCENTUAL DE MATÉRIA SECA DOS COMPONENTES DA PLANTA, TEORES DE FÓSFORO FOLIAR (P FOLIAR) E DO SOLO, EXTRAÍVEIS POR MEHLICH-1, AOS TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE ERVA-MATE SUBMETIDAS A DOSES DE FÓSFORO (P), EM SEVERIANO DE ALMEIDA - RS.

Parâmetro	ECOM kg planta ⁻¹	P Foliar g kg ⁻¹	Matéria Seca (MS)			P extraível Mehlich-1		
			MS FO	MS GF	MS GG	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
			%			mg dm ⁻³		
BLOCO	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	p≤0,01	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}
CULTIVAR	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	p≤0,01	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}
DOSE P	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	p≤0,01	p=0,08	p=0,06
CULTIVAR X DOSE P	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}	QM ^{n.s.}

FONTE: O autor (2022).

NOTA: QM: quadrado médio; n.s.: não significativo - p-valor > 0,10. Nenhum dado apresentou normalidade violada, todas as análises foram realizadas com dados não-transformados. MS FO: massa seca de folhas; GF: massa seca de galhos finos; GG: massa seca de galhos grossos.

O efeito nulo da adubação da produção de ECOM difere dos relatos de SANTIN et al. (2008), SANTIN et al. (2017) e BARBOSA et al. (2018), que relataram melhor crescimento das mudas fertilizadas com P tanto em casa de vegetação (BARBOSA et al., 2018; SANTIN et al., 2008) como em campo (SANTIN et al., 2017). A baixa produtividade de ECOM, observada em todos os tratamentos avaliados, pode estar relacionada ao efeito da seca prolongada no estabelecimento e crescimento das plantas, conforme registros climáticos realizados entre o ano de plantio (2018) e a primeira poda (2021 - FIGURA 1) (CARDOSO et al., 2020; JACONDINO et al., 2019).

Os resultados indicam que as cultivares avaliadas podem ter assegurado a sua nutrição, mesmo em um solo com baixo teor de P extraível por Mehlich-1 (TABELA 1), pela alta capacidade da espécie em solubilizar e extrair a fração pouco ou não solúvel do P (REISSMANN et al., 1983), que foi aplicado e potencialmente retido no solo (REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1999) durante as décadas sob manejo para a produção de grãos. Os valores médios dos teores de P foliar, dentro da faixa de valores considerada adequada para pomares em produção (TABELA 6) (1,2 a 1,7 g kg⁻¹, PAULETTI; MOTTA, 2019; 1,2 a 1,6 g kg⁻¹, SANTIN et al., 2017), também apontam para a suficiência de P no solo. A erva-mate pode apresentar teores foliares bem baixos de P (0,5 g kg⁻¹), sem demonstrar sintomas de deficiência (ALVES et al., 2017; REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1999) até teores elevados (3,2 g kg⁻¹), sendo influenciados pela sazonalidade e época de coleta das folhas (outono/inverno – baixo; primavera/verão - alto).

TABELA 6 - PRODUÇÃO DE ERVA COMERCIAL (ECOM) POTENCIAL E TEOR DE P FOLIAR EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DAS DOSES DE P, AOS TRÊS ANOS APÓS A IMPLANTAÇÃO DO ERVAL NO CAMPO¹.

Parâmetro		ECOM Potencial kg planta ⁻¹		P Foliar g kg ⁻¹	
Dose P (P ₂ O ₅ - g planta ⁻¹ ano ⁻¹)	0	0,81	n.s.	1,34	n.s.
	10	0,74		1,27	
	20	1,07		1,31	
	30	0,52		1,26	
	40	0,80		1,30	
Cultivar	Yari	0,71	n.s.	1,30	n.s.
	Aupaba	0,86		1,29	

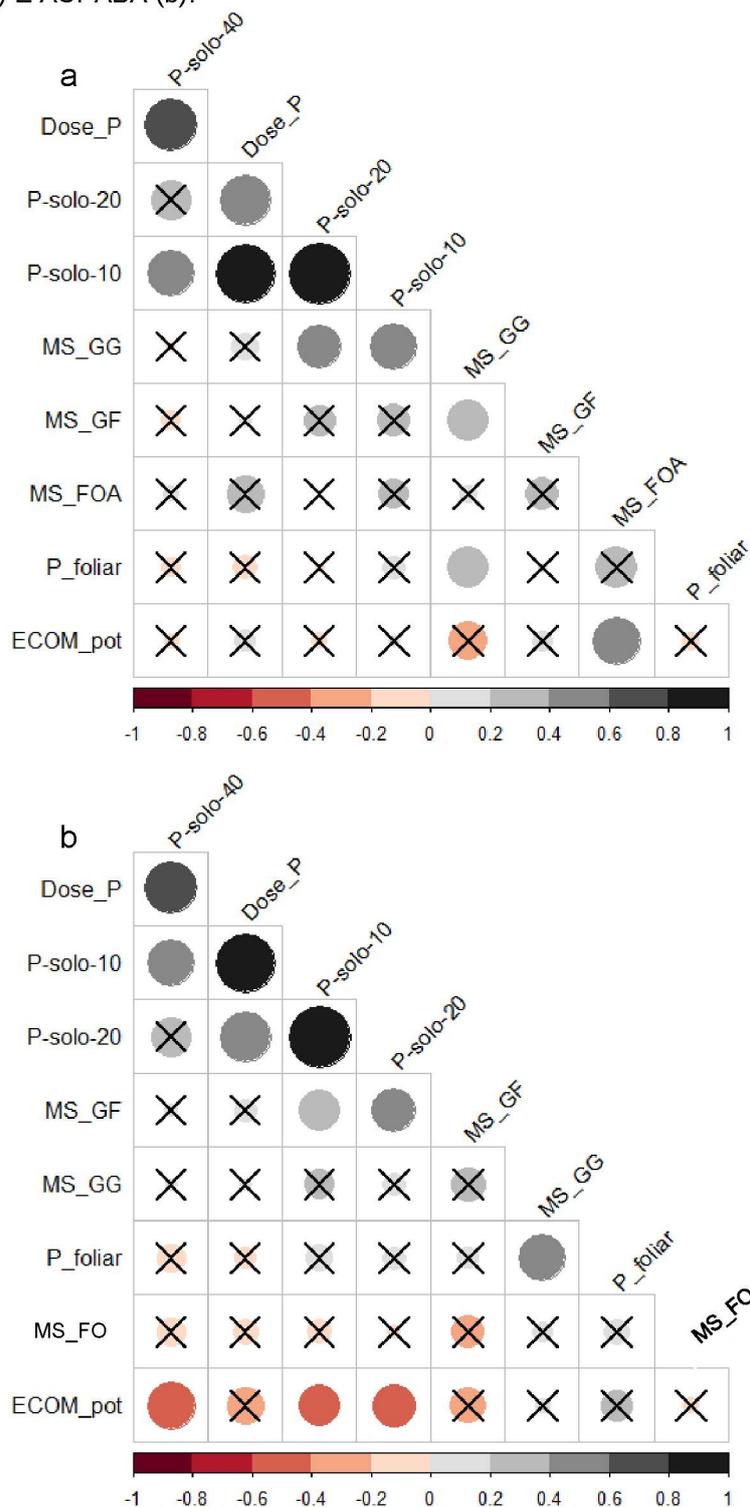
FONTE: O autor (2022).

NOTA: n.s. não significativo a 5%.

Os teores de P no solo, extraível por Mehlich-1, não sofreram efeito da cultivar e da interação entre cultivar e adubação, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm (TABELA 5). O aumento da dose de adubo fosfatado proporcionou, todavia, aumento linear do teor extraível de P na camada 0-10 cm (TABELA 5 e FIGURA 9), sendo o teor médio na dose máxima (40 g planta⁻¹ ano⁻¹) 10 vezes maior ao tratamento com ausência de adubação. Apesar do aumento do P extraível não ter sido verificado por regressão nas demais camadas avaliadas, houve correlação significativa entre os teores de P em 0-10 e 10 – 20 cm do solo (FIGURA 9), indicando mobilidade do nutriente em subsuperfície. O maior efeito da adubação fosfatada nas camadas

superficiais do solo é esperado nas condições tropicais, resultante da retenção do P nos óxidos de Fe e Al e nos sítios ácidos de argilas 1:1 (VALLADARES; PEREIRA; ANJOS, 2003). A lenta mobilidade do nutriente para as camadas subsuperficiais, por outro lado, ocorre à medida que esses sítios são saturados pelo P, em consequência das sucessivas aplicações ao longo das safras (CERETTA et al., 2010). De acordo com o correlograma, os teores de P extraível nas três camadas do solo avaliadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) também são correlacionadas significativamente com a produção de ECOM para a cultivar Aupaba (FIGURA 10 b), todavia, a relação negativa entre estes fatores indica que, nas condições edafoclimáticas do experimento, a aplicação das maiores doses de P pode resultar em decréscimo na produção desta cultivar.

FIGURA 10 - CORRELOGRAMA ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS NA ERVA-MATE CULTIVADA POR TRÊS ANOS (CORRELAÇÃO DE PEARSON), CULTIVARES YARI (a) E AUPABA (b).



FONTE: O autor (2022).

NOTA: Dose_P: dose de P_2O_5 utilizada no solo em $g\ planta^{-1}\ ano^{-1}$; P_foliar: teor de P foliar em $g\ kg^{-1}$ de massa seca; ECOM_pot: produção de erva-mate comercial potencial em $kg\ planta^{-1}$; MS: porcentagem de massa seca expresso em decimal na fração folhas (FO), galhos finos, (GF) e galhos grossos (GG), P-solo: teor de P no solo extraível por Mehlich-1, em $mg\ dm^{-3}$, na camada 10 (0-10 cm), 20 (10-20 cm) e 40 (20-40 cm). Células com "X" indicam ausência de significância estatística ($p>0,05$).

4.6 CONCLUSÕES

As doses de fósforo aplicadas foram capazes de aumentar expressivamente o teor de P extraível por Mehlich-1 na profundidade de 0-10 cm do solo, sem aumentar o teor foliar do nutriente na erva-mate.

A relação entre o teor disponível de P das camadas 10-20 cm e 0-10 cm do solo indica movimento do nutriente em subsuperfície.

As cultivares Yari e Aubaba são pouco exigentes em P nas fases produtivas iniciais, não havendo ganho de produtividade com a aplicação anual de P, em solo com baixo teor de P extraível, durante o estabelecimento da cultura a campo.

4.7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ALVES, M. V. et al. DESEMPENHO NUTRICIONAL DA ERVA-MATE COM DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO. **Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, Paraná, v. 5, n. 2, p. 93–107, 2017.

BARBOSA, J. Z. et al. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 90, n. 1, p. 557–571, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160701>

CARDOSO, L. S. et al. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. (Circular: divulgação técnica, 6).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/9780520328495>

CECONI, D. E. et al. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1 SE-Artigos, p. 25–32, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981932>

CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 45, n. 6, p. 593–602, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600009>

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. *In*: **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 351–384.

GAWRON-GZELLA, A.; CHANAJ-KACZMAREK, J.; CIELECKA-PIONTEK, J. Yerba Mate—A Long but Current History. **Nutrients**, [S. l.], v. 13, n. 11, p. 3706, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu13113706>

GRANT, C. A. et al. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 211–224, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/P00-093>

JACONDINO, W. D. et al. ANÁLISE SINÓTICA DO MÊS DE ABRIL DE 2018 NA REGIÃO SUL DO BRASIL: EPISÓDIO DE CALOR EXTREMO. **Revista Brasileira de Climatologia**, Piracicaba, v. 25, n. April 2018, p. 182–203, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.60992>

PANDOLFO, C. M. et al. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência**

Florestal, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981740>

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (org.). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. (IAPAR. Circular, 76).

REISSMANN, C. B. et al. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hill.) sobre cambissolos na região de Mandirituba. **FLORESTA**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 49–54, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v14i2.6340>

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 187–194, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89131999000200009>

SANTIN, D. et al. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 9, n. 1, p. 59–66, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rsa.v9i1.10135>

SANTIN, D. et al. Fontes de nitrogênio e técnicas de propagação de mudas atuam na produtividade de erva-mate. **Separatas Embrapa Florestas**, [S. l.], p. 1–6, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104117/1/2014-AAC-lvar-FontesNitrogenio.pdf>

SANTIN, D. et al. Manejo de colheita e adubação fosfatada na cultura de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 783, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509828629>

SILVA, F. C. da (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

TOPPEL, F. V. et al. Soil chemical attributes and their influence on elemental composition of yerba mate leaves. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 3, p. 425, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v48i3.56677>

USUDA, H.; SHIMOGAWARA, K. Phosphate Deficiency in Maize. IV. Changes in Amounts of Sucrose Phosphate Synthase during the Course of Phosphate Deprivation. **Plant and Cell Physiology**, [S. l.], v. 34, n. 5, p. 767–770, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078481>

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 111–118, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100014>

5 CONCLUSÕES GERAIS

O fornecimento de N, P, K influencia negativamente no estabelecimento inicial da cultivar Aupaba, enquanto somente o N prejudicou a Yari.

Para os cultivares testados, nas fases iniciais de desenvolvimento, o fornecimento de N e P não se traduz numa maior produção de ECOM pelas plantas.

Nas condições experimentais relatadas, pode-se considerar a erva-mate como pouco exigente em N e P na sua fase inicial de produção.

A facilidade de estabelecimento à campo e teores foliares de cafeína e teobromina são influenciados pela escolha do cultivar.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, M. V. et al. DESEMPENHO NUTRICIONAL DA ERVA-MATE COM DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO. **Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, Paraná, v. 5, n. 2, p. 93–107, 2017.
- BARBOSA, J. Z. et al. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 90, n. 1, p. 557–571, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160701>
- BASTOS, D. H. M. et al. Yerba mate: Pharmacological Properties , Research and Biotechnology. **Medicinal and aromatic plant science and biotechnology**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 37–46, 2007. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Yerba-mate%3A-Pharmacological-Properties%2C-Research-and-Helena-Bastos/540355aa89cdebcabf8c16c1d670b35362e7a8af>
- BATTIE-LACLAU, P. et al. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 364, p. 77–89, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.004>
- CAMARGO, M. C. R. de; TOLEDO, M. C. F. HPLC determination of caffeine in tea, chocolate products and carbonated beverages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Estados Unidos da América, v. 79, n. 13, p. 1861–1864, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199910\)79:13<1861::AID-JSFA448>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199910)79:13<1861::AID-JSFA448>3.0.CO;2-Y)
- CARDOSO, L. S. et al. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. (Circular: divulgação técnica, 6).
- CARDOZO JUNIOR, E. L.; MORAND, C. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health – A review. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 21, p. 440–454, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.010>
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/9780520328495>
- CECONI, D. E. et al. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1 SE-Artigos, p. 25–32, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981932>
- CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 45,

n. 6, p. 593–602, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600009>

CHERUIYOT, E. K. et al. HIGH FERTILIZER RATES INCREASE SUSCEPTIBILITY OF TEA TO WATER STRESS. **Journal of Plant Nutrition**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 115–129, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904160903392659>

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. *E-book*. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf

CPTEC/INPE. **INFORMAÇÕES SOBRE PRODUTOS DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO MENSAL E SAZONAL DAS CHUVAS NO BRASIL NA PÁGINA DO CPTEC/INPE**. [s. l.], 2014. Disponível em: http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf.

CPTEC/INPE. **EVOLUÇÃO MENSAL E SAZONAL DAS CHUVAS; 2019,2020 e 2021, REGIÃO 120**. [s. l.], 2022. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt#>.

DUARTE, M. M. et al. Adubação nitrogenada na miniestaquia de erva-mate. **Advances in Forestry Science**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 981–988, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34062/afs.v7i2.9716>

FIORIN, J. E.; VOGEL, P. T.; BORTOLOTTI, R. P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 92–97, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i2a5371>

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. *In: Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 351–384.

GAWRON-GZELLA, A.; CHANAJ-KACZMAREK, J.; CIELECKA-PIONTEK, J. Yerba Mate—A Long but Current History. **Nutrients**, [S. l.], v. 13, n. 11, p. 3706, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu13113706>

GRANT, C. A. et al. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 211–224, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/P00-093>

HANSEL, F. A. et al. Moagem e sapeco/secagem em forno de microondas na classificação sensorial de erva-mate no infravermelho próximo. **Embrapa Florestas- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Colombo, PR, 2008.

HERMS, D. A.; MATTSON, W. J. The Dilemma of Plants: To Grow or Defend. **The Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 67, n. 3, p. 283–335, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2830650>

JACONDINO, W. D. et al. ANÁLISE SINÓTICA DO MÊS DE ABRIL DE 2018 NA

REGIÃO SUL DO BRASIL: EPISÓDIO DE CALOR EXTREMO. **Revista Brasileira de Climatologia**, Piracicaba, v. 25, n. April 2018, p. 182–203, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.60992>

JIMENEZ, R. R.; LADHA, J. K. Automated Elemental Analysis: A Rapid and Reliable but Expensive Measurement of Total Carbon and Nitrogen in Plant and Soil Samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S. l.], v. 24, n. 15–16, p. 1897–1924, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103629309368926>

KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; ELLSWORTH, T. R. The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 3–27, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1742170513000318>

LEONARDO, M. et al. Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. **Bragantia**, [S. l.], v. 67, n. 4, p. 883–889, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400010>

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAI, M. G. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em latossolo vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, [S. l.], v. 34, p. 75–98, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989.

MANOLI, A. et al. NO homeostasis is a key regulator of early nitrate perception and root elongation in maize. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 185–200, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/ert358>

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T. da; MACCARI JUNIOR, A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Curitiba, PR, v. 31, n. 4, p. 619–627, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400006>

MORRIS, O. N. et al. Interaction of Caffeine and Related Compounds with *Bacillus thuringiensis* ssp.kurstaki in Bertha Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, [S. l.], v. 87, n. 3, p. 610–617, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jee/87.3.610>

PALUMBO, M. J.; PUTZ, F. E.; TALCOTT, S. T. Nitrogen fertilizer and gender effects on the secondary metabolism of yaupon, a caffeine-containing North American holly. **Oecologia**, [S. l.], v. 151, n. 1, p. 1–9, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0574-1>

PANDOLFO, C. M. et al. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981740>

PATHAK, J. et al. Role of Calcium and Potassium in Amelioration of Environmental

Stress in Plants. *In: Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress*. Estados Unidos da América: John Wiley and Sons Ltd, 2020. p. 535–562. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119552154.ch27>

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (org.). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. (IAPAR. Circular, 76).

PIMENTEL, N. et al. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 559–570, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509827009>

REISSMANN, C. B. et al. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hill.) sobre cambissolos na região de Mandirituba. **FLORESTA**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 49–54, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v14i2.6340>

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 187–194, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89131999000200009>

RICARDI, A. C. et al. O alumínio melhora o crescimento e a qualidade de mudas clonais de erva-mate (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. 1–29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8064>

SAMOGGIA, A.; LANDUZZI, P.; VICIÉN, C. E. Market Expansion of Caffeine-Containing Products: Italian and Argentinian Yerba Mate Consumer Behavior and Health Perception. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v. 18, n. 15, p. 8117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18158117>

SANTIN, D. et al. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 9, n. 1, p. 59–66, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rfa.v9i1.10135>

SANTIN, D. et al. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 363–375, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050989282>

SANTIN, D. et al. Fontes de nitrogênio e técnicas de propagação de mudas atuam na produtividade de erva-mate. **Separatas Embrapa Florestas**, [S. l.], p. 1–6, 2014 a. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104117/1/2014-AAC-Ivar-FontesNitrogenio.pdf>

SANTIN, D. et al. Effect of potassium fertilization on yield and nutrition of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 5, p. 1469–1477, 2014 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500012>

SANTIN, D. et al. SOBREVIVÊNCIA, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE ERVA-MATE PRODUZIDAS POR MINIESTACAS JUVENIS E POR SEMENTES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 571–579, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/19608/11603>

SANTIN, D. et al. Manejo de colheita e adubação fosfatada na cultura de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 783, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509828629>

SANTIN, D. et al. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 1199–1214, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509810843>

SCHERER, R. et al. Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica**, [S. l.], v. 126, n. 2, p. 203–210, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1016375012471>

SILVA, E. P. da et al. MICORRIZAS ARBUSCULARES E FOSFATO NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CEDRO-AUSTRALIANO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269–1281, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509830320>

SILVA, F. C. da (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965. Disponível em: <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>

SOUZA, T. R. de et al. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 846–854, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600016>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3. ed. Sunderland, MA, EUA: Sinauer Associates, 2002.

TOMASI, J. D. C. et al. Effects of different drying methods on the chemical, nutritional and colour of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **International Journal of Food Engineering**, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0312>

TOPPEL, F. V. et al. Soil chemical attributes and their influence on elemental composition of yerba mate leaves. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 3, p. 425, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/ufpr.v48i3.56677>

USUDA, H.; SHIMOGAWARA, K. Phosphate Deficiency in Maize. IV. Changes in Amounts of Sucrose Phosphate Synthase during the Course of Phosphate Deprivation. **Plant and Cell Physiology**, [S. l.], v. 34, n. 5, p. 767–770, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078481>

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos. Adsorção de fósforo em

solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 111–118, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100014>

VIEIRA, C. R. et al. Características do solo e das mudas de teca em função da adição de lodo do calcário. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v. 2, n. 2, p. 32–45, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2316980X15226>

WENDLING, I. et al. **BRS BLD Aupaba e BRS BLD Yari: cultivares clonais de erva-mate para produção de massa foliar de sabor suave**. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2017. Comunicado Técnico 411. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169725/1/CT-411-1496-final.pdf>.

WREGGE, M. S. et al. Natural distribution of yerba mate in Brazil in the current and future climatic scenarios. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 28, n. March 2021, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v28.e026795>