

LIVIA MARCELLY PRATA DE CASTRO

**CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MANDIOCA DE MESA EM
RESPOSTA AO MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOLO ARENOSO**

Botucatu

2026

LIVIA MARCELLY PRATA DE CASTRO

**CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MANDIOCA DE MESA EM
RESPOSTA AO MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOLO ARENOSO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu
2026

C355c	Castro, Livia Marcelly Prata de Crescimento, Produtividade e Qualidade da Mandioca de Mesa em Resposta ao Manejo de Adubação Potássica em Solo Arenoso / Livia Marcelly Prata de Castro. -- Botucatu, 2026 81 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu Orientador: Adalton Fernandes Mazetti 1. Manihot esculenta Crantz. 2. Adubação potássica. 3. Produtividade de raízes. 4. Nutrição mineral. I. Título.
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MANDIOCA DE MESA EM RESPOSTA AO MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOLO ARENOSO

AUTORA: LIVIA MARCELLY PRATA DE CASTRO

ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

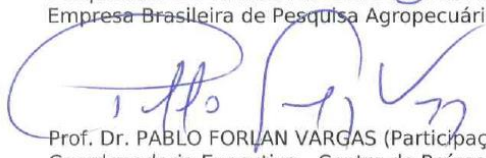
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA



Pesquisador Dr. MARCO ANTÔNIO SEDREZ RANGEL (Participação Presencial)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS (Participação Presencial)
Coordenadoria Executiva - Centro de Raízes e Amidos Tropicais / UNESP / Reitoria - RUNESP

Botucatu, 31 de março de 2026.

Dedico o mérito deste trabalho aos mestres da minha vida, meus pais, Renato Castro e Monique Prata, cujos ensinamentos não cabem em referências teóricas ou títulos acadêmicos, mas vivem em mim como fundamentos de tudo que sou.

Vocês são o chão que me permite voar.

Obrigada!

AGRADECIMENTOS

À Deus e a nossa senhora de Nazaré por esta graça alcançada, por ser minha maior intercessora ao seu filho Jesus para que este sonho se realizasse.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP pela possibilidade de realização deste curso.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais - CERAT pelo suporte e apoio institucional.

Ao meu orientador Adalton Mazetti Fernandes por todo apoio, paciência, incentivo e orientação acadêmica. Sendo de suma importância para realização deste trabalho.

Aos funcionários do CERAT, em especial ao Elder Mattos, que sempre esteve comigo no auxílio de campo desta pesquisa de forma incansável, sua colaboração e ensinamentos foram essenciais para este trabalho.

Aos meus amados pais, Renato e Monique, que, sob muito sol, me fizeram caminhar pela sombra. Por todo o apoio, amor e incentivo ao longo desta jornada; por sempre acreditarem nos meus sonhos e pelos incalculáveis esforços para me proporcionar tudo o que tenho e sou, sendo meu porto seguro e pilar fundamental nesta conquista.

Aos meus queridos irmãos Leticia e Renan que mesmo de longe me lembravam todos os dias como sou amada, me incentivavam e me davam forças para continuar.

Aos meus amados avôs Raymundo e Marielena por todo apoio, incentivo e amor incondicional.

Às minhas amigas Livia Sanches e Jade Rodrigues, por sempre acreditarem em mim e serem meu esteio emocional, como companheiras e incentivadoras ao longo desta jornada. Minha gratidão será eterna por terem tornado esse caminho mais leve.

E todos aqueles que de alguma forma contribuíram indiretamente para a realização desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) se caracteriza pela sua rusticidade e adaptação a solos de baixa fertilidade. O potássio (K) é o nutriente mais absorvido e exportado pela cultura, desempenhando um papel fundamental na produtividade de raízes tuberosas. Entretanto, em solos de textura arenosa, o K pode ser perdido mais facilmente por lixiviação, sendo que nesses solos a resposta da mandioca a aplicação de K é maior, o que pode comprometer o estabelecimento da cultura e a eficiência da adubação quando o manejo não é adequado. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de formas de aplicação do K no plantio combinadas com doses de K em cobertura sobre o crescimento, produtividade e qualidade das raízes tuberosas de duas cultivares de mandioca de mesa cultivadas em solo arenoso. O experimento foi conduzido em áreas individuais de campo com disponibilidade inicial de K média ($1,6\text{--}3,0\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$), usando as cultivares de mandioca de mesa IAC 576-70 e BRS 399. Uma área estava localizada na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), no município de São Manuel-SP e a outra em plantio comercial da Cooperativa Agroindustrial de Ubirajara (CAU), no município de Ubirajara-SP. A condução do experimento foi de junho de 2024 a julho 2025. Para cada cultivar e local, o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial $2\times 3\times 4$, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 2 cultivares, 3 manejos do K no plantio (1: controle, 2: 40 kg ha^{-1} de K_2O no sulco, 3: 40 kg ha^{-1} de K_2O em pós-plantio) combinados com 4 doses de K_2O aplicadas em cobertura (0, 25, 50 e 100 kg ha^{-1}). Concluiu-se que a cultivar IAC 576-70 apresentou maior produtividade comercial na área de São Manuel e a cultivar BRS 399 na área de Ubirajara. Mesmo em solo com médio teor inicial de K, a ausência da adubação potássica de plantio (em sulco ou em pós plantio) diminuiu a produtividade comercial da mandioca de mesa em ambos os locais de cultivo. A aplicação de K em pós plantio pode substituir a aplicação de K no sulco de plantio sem comprometer a produtividade comercial da mandioca de mesa cultivada em solo arenoso com média disponibilidade inicial de K. Em solo com média disponibilidade inicial de K, a adubação potássica de cobertura aumentou entre 28 e 70% a produtividade comercial até a dose de $32,7\text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , enquanto o aumento na produtividade total foi de 23–25% até doses entre $31,9$ e $36,5\text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O . A extração máxima de K pelas plantas de mandioca foi de $208\text{--}286\text{ kg ha}^{-1}$ de K com

doses entre 30,6 e 31,2 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura, enquanto a exportação máxima de K foi de 153–164 kg ha⁻¹ de K com doses entre 32 e 34 kg ha⁻¹ de K₂O.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz; adubação potássica; produtividade de raízes; nutrição mineral.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is characterized by its hardiness and adaptation to low-fertility soils. Potassium (K) is the nutrient most absorbed and removed by the crop, playing a fundamental role in the storage root yield. However, in sandy soils, K can be lost more easily through leaching, and in these soils the cassava response to K application is greater, which can compromise crop establishment and fertilization efficiency when management is not adequate. This study aimed to evaluate the effect of different K application methods at planting combined with K topdressing rates on the plant growth, storage root yield, and quality of two cassava cultivars grown in sandy soil. The experiment was conducted in individual field areas with an initial medium K availability ($1.6\text{--}3.0\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$), using the cassava cultivars IAC 576-70 and BRS 399. One area was located at the São Manuel Experimental Farm of the College of Agricultural Sciences (FCA), in the municipality of São Manuel-SP, and the other in a commercial plantation of the Ubirajara Agroindustrial Cooperative (CAU), in the municipality of Ubirajara-SP. The experiment was conducted from June 2024 to July 2025. For each cultivar and location, the experimental design adopted was a randomized complete block design (RCBD) in a 3×4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of three K application methods at planting (1: control, 2: $40\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$ in the planting furrow, 3: $40\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$ in the post-planting) combined with four K_2O rates applied as topdressing (0, 25, 50, and 100 kg ha^{-1}). It was concluded that the IAC 576-70 cultivar showed higher marketable root yield in the São Manuel area, and the BRS 399 cultivar in the Ubirajara area. Even in soil with a medium initial K concentration, the absence of K fertilization at planting (in the furrow or post-planting) decreased the marketable root yield of sweet cassava in both cultivation locations. Post-planting K application can replace in-furrow K application without compromising the marketable root yield of cassava grown in sandy soil with medium initial K availability. In soil with medium initial K availability, K topdressing fertilization increased marketable root yield by 28 to 70% up to a rate of $32.7\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$. In comparison, the increase in total root yield was 23–25% up to rates between 31.9 and $36.5\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$. The maximum K absorption by cassava plants was 208–286 kg ha^{-1} with rates between 30.6 and $31.2\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$ as topdressing, while the maximum K removal was 153–164 kg ha^{-1} with rates between 32 and $34\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz; potassium fertilization; storage root yield; mineral nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Temperaturas máxima e mínimas e precipitação pluvial durante a condução dos experimentos nas áreas de São Manuel e Ubirajara.....	29
Figura 2-Teor de K na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	38
Figura 3-Número total de raízes por planta (a), peso médio de raízes (b) e produtividade total (c) de raízes de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	42
Figura 4-Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea (a), raízes (b) e na planta inteira (c) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	47
Figura 5-Teor de K na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c), extração (d) e exportação de K pelas raízes (e) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	50
Figura 6-Teor de K e Ca na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	57
Figura 7-Altura de plantas (a), número de raízes comerciais por planta (c) e produtividade total de raízes (d) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	62
Figura 8-Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea (a), cepas (b), raízes tuberosas (c) e na planta inteira (d) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	67
Figura 9-Teor de K na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c), extração de K pelas plantas (d) e exportação de K pelas raízes (e) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Característica química do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.....	30
Tabela 2- Teor de macronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	37
Tabela 3 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para o teor de P na folha diagnose de cultivares de mandioca.....	37
Tabela 4 - Teor de micronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	39
Tabela 5 - População final de plantas, altura de plantas, número total e comercial de raízes por planta, massa média das raízes, produtividade total e comercial de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	40
Tabela 6 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para população final de plantas, altura de plantas e número de raízes comerciais por planta.....	41
Tabela 7 - Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	46
Tabela 8 - Teor de K na parte aérea, cepa e raízes tuberosas, extração e exportação de K pelas raízes de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	49
Tabela 9 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para os teores de K na cepa, extração e exportação de K pelas raízes tuberosas.....	51
Tabela 10- Tempo de cozimento e textura das raízes cozidas de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	53
Tabela 11 - Teor de macronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	56
Tabela 12 - Desdobramento da interação cultivar × manejo para os teores de K na folha diagnose de cultivares de mandioca.....	57

Tabela 13 - Teor de micronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.....	58
Tabela 14 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para o teor de Zn na folha diagnose de cultivares de mandioca.....	59
Tabela 15 - População final de plantas, altura de plantas, número total de raízes por planta, número de raízes comercial, massa média de raízes e produtividade total de duas cultivares de mandioca em função da adubação potássica.....	60
Tabela 16 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para a massa média de raízes comerciais.....	61
Tabela 17 - Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função da adubação potássica.....	66
Tabela 18 - Desdobramento da interação cultivar × manejo para os acúmulos de MS nas cepas e na planta inteira de cultivares de mandioca.....	67
Tabela 19 - Teor de K na parte aérea, cepas e raízes tuberosas, extração e exportação de K pelas raízes de duas cultivares de mandioca em função da adubação potássica.....	69
Tabela 20 - Desdobramento da interação cultivar × manejo para o teor de K na parte aérea e os acúmulos de K na planta inteira de cultivares de mandioca.....	69
Tabela 21- Tempo de cozimento e textura das raízes cozidas de duas cultivares de mandioca.....	72

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

C x M	Cultivar x Manejo
C x D	Cultivar x Dose
M x D	Manejo x Dose
C x M x D	Cultiva x manejo x dose

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Cultura da Mandioca.....	23
2.2	Exigência Nutricional da Mandioca.....	24
2.3	Adubação Potássica na Mandioca.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Localização e característica do experimento.....	28
3.2	Cultivares.....	28
3.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	29
3.4	Instalação e condução do experimento.....	30
3.5	AVALIAÇÕES	32
3.5.1	Diagnose foliar.....	32
3.5.2	Altura das plantas e população final de plantas.....	32
3.5.3	Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas planta inteira e índice de colheita.....	32
3.5.4	Número, peso médio, produtividade total e comercial de raízes tuberosas.....	33
3.5.5	Teor de K nas partes da planta, absorção e exportação de k.....	33
3.5.6	Análise de qualidade das raízes.....	33
3.5.6.1	Tempo de cozimento das raízes tuberosas e textura cozida.....	33
3.6	Análise Estatística.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	São Manuel.....	35
4.1.1	Diagnose foliar.....	35

4.1.2	População final e altura de plantas, número total e comercial de raízes por planta, massa média de raízes e produtividade de raízes.....	40
4.1.3	Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepa, raízes e na planta inteira.....	45
4.1.4	Teor de K na parte aérea, cepas e raízes, extração de K pela planta inteira exportação de K pelas raízes.....	48
4.1.5	Tempo de cozimento e textura de raízes.....	53
4.2	UBIRAJARA.....	55
4.2.1	Diagnose foliar.....	55
4.2.2	População final e altura de plantas, número total e comercial de raízes por planta, massa média de raízes e produtividade de raízes.....	59
4.2.3	Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepa, raízes e na planta inteira.....	65
4.2.4	Teor de K na parte aérea, cepas e raízes, extração de K pela planta inteira exportação de K pelas raízes.....	68
4.2.5	Tempo de cozimento e textura de raízes.....	72
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família das euforbiáceas, apresenta raízes tuberosas e é uma excelente fonte de alimento energético, principalmente nos países em desenvolvimento (Souza *et al.* 2000). O Brasil é o sexto maior produtor mundial de mandioca, com uma produção anual de 20,6 milhões de toneladas em uma área de 1,2 milhões de hectares (IBGE, 2025), com destaque para os estados brasileiros com maior produção concentrada no Pará, na região norte e Paraná, no sul do Brasil. Apesar de não se destacar pelo maior volume de produção, o estado de São Paulo possui grande importância na cadeia produtiva da mandioca, especialmente por sua expressiva participação na produção de fécula (CONAB, 2024).

Essa cultura se caracteriza pela rusticidade e capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de cultivo, sendo comum sua produção ser em solos de baixa fertilidade. Entretanto, para cultura expressar um alto potencial produtivo nas áreas de cultivo de mandioca é fundamental um manejo nutricional adequado para otimizar a produtividade de raízes tuberosas. O potássio destaca-se por ser o nutriente mais absorvido e exportado pela cultura. Sua participação está associada a processos metabólicos como ativação enzimáticas, respiração, fotossíntese, regulação osmótica e transporte de carboidratos (Taiz; Zeiger, 2013). Portanto, o suprimento adequado de K no sistema solo-planta é um fator essencial para o crescimento e desempenho produtivo da mandioca.

Se por um lado o K é importante para o metabolismo e desenvolvimento da planta, por outro lado seu fornecimento em excesso pode ser prejudicial. Por exemplo, em batata altas doses de K na forma de cloreto de K (KCl) diminuem os teores de matéria seca dos tubérculos. Além disso, como o fornecimento de K para as culturas normalmente é feito utilizando o fertilizante KCl, o qual possui alto índice salino, sua aplicação diretamente no sulco de plantio pode danificar as manivas e interferir negativamente no estabelecimento da mandioca no campo. Portanto, a diminuição da dose de K no plantio e/ou sua aplicação em maiores doses em cobertura pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência da adubação potássica nas áreas de cultivo de mandioca.

Na fase inicial do ciclo da mandioca o sistema radicular absorvente da planta encontra-se pouco desenvolvido e a cultura tem um crescimento inicial

lento. Além disso, a mandioca normalmente é cultivada em solos de textura leve e com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o que é uma condição favorável para a lixiviação de K se houver chuvas intensas. Assim, algumas recomendações têm indicado doses entre 40 e 60 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de plantio (Sousa; Lobato, 2004; Marchesi *et al.* 2018; Feltran *et al.* 2022), mas como nessa fase a cultura ainda não possui raízes, espera-se que a aplicação do K em pós-emergência da cultura melhore o aproveitamento do K proveniente do fertilizante.

Portanto, esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito de formas de aplicação do K no plantio combinadas com doses de K em cobertura sobre o crescimento, produtividade e qualidade das raízes tuberosas de duas cultivares de mandioca de mesa cultivadas em solo arenoso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da Mandioca

Entre as espécies cultivadas na região tropical, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertencente à família Euphorbiaceae sendo a única espécie do gênero *Manihot* com relevância econômica consolidada (Ceballo, 2002). Nativa da América do Sul, sua origem geográfica exata ainda é incerta, mas há relatos que a domesticação da mandioca se originou no Brasil (Lorenzi *et al.* 2002). A planta caracteriza-se como perene, de hábitos arbustivos e elevada exigência luminosa, com capacidade de formar raízes tuberosas que constituem importante fonte energética. Devido a essas características, a cultura desempenha um papel fundamental na alimentação humana, sobretudo em países em desenvolvimento, onde representa um dos principais alimentos energéticos (Leonel *et al.* 2015).

A cultura da mandioca, é cultivada em regiões tropicais e em países em desenvolvimento a raiz da mandioca é considerada a terceira fonte de carboidrato mais importante na alimentação humana e sua parte aérea é usada na alimentação animal (Cardoso Júnior *et al.* 2005; FAO, 2014). No Brasil, a produção dessa cultura foi de aproximadamente 19,1 milhões de toneladas em 2023, com uma área plantada de 1,2 milhões de hectares (CONAB, 2024), sendo o estado do Pará o maior produtor de mandioca respondendo por 21,0% no total nacional, Paraná com participação de 20,7%, e São Paulo com 7,5% de participação (CONAB, 2025).

As cultivares de mandioca são classificadas como de “mesa” ou “bravas”. A mandioca de mesa ou doce possui como característica o baixo teor de ácido cianídrico (HCN) presente nas raízes e alto teor de amido e matéria seca (Borges *et al.* 2002). Sendo estas características desejáveis para o seu consumo *in natura*. Já a mandioca brava ou amarga possui altos teores de (HCN) em suas raízes frescas e geralmente são utilizadas na indústria para produção de fécula ou farinha (Souza; Fialho 2003).

A mandioca é considerada uma espécie tolerante a seca, sendo faixa ideal e desejável de precipitação para o melhor desenvolvimento da cultura é entre 1.000 e 1.500 mm/ano, bem distribuídos. Contudo, o crescimento e o rendimento

são reduzidos por prolongados períodos de seca, recomenda-se que o plantio seja realizado no início da estação chuvosa, com o solo úmido as manivas podem ser plantadas mais superficialmente, o que favorece uma brotação mais rápida e vigorosa principalmente em regiões tropicais. Em contrapartida, nas regiões subtropicais, o plantio é restrito à época mais quente do ano, pois em condições de temperaturas mais baixas a atividade vegetativa da planta paralisa, fazendo com que entre em repouso fisiológico (Filho; Silveira, 2021).

2.2 Exigências nutricionais da mandioca

A mandioca é conhecida pela rusticidade e capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade, ela responde de maneira expressiva à adubação, apresentando incrementos significativos de produtividade. Assim, a disponibilidade adequada de nutrientes às plantas constitui um fator determinante para o aumento da produtividade e para melhoria da qualidade das raízes tuberosas (Nguten *et al.* 2002).

Em geral, nas fases iniciais do ciclo da mandioca a maioria dos nutrientes se acumulam em maiores proporções nas folhas e caules, porém nas fases mais tardias do ciclo os nutrientes são translocados para as raízes, exceto no caso de alguns nutrientes como Ca, Mg e Mn que são acumulados em maiores proporções nos caules do que nas raízes (Howeler e Cadavid, 1983). Em geral, a partir dos 4 meses após a emergência as taxas de acumulação de MS e nutrientes nas plantas de mandioca aumentam atingindo um pico entre os 4 e 6 meses após a brotação (Lorenzi *et al.*, 1981). No entanto, durante as fases mais tardias do ciclo as taxas de acúmulo de nutrientes nas plantas diminuem e as raízes de reserva se tornam os drenos preferenciais das plantas (Lorenzi *et al.* 1981; Silva *et al.* 2014).

Durante o período de crescimento das plantas os nutrientes absorvidos pela mandioca são distribuídos entre a parte aérea e as raízes tuberosas. Embora uma parte dos nutrientes retorne ao solo com a senescência da folhagem, uma quantidade significativa de nutrientes é exportada da área de cultivo com a colheita das raízes tuberosas (Howeler e Cadavid, 1983). Em média, a mandioca exporta com a colheita das raízes entre 103–114 kg ha⁻¹ de K, 42–58 kg ha⁻¹ de N, 11–13 kg ha⁻¹ de P, 9,3–15 kg ha⁻¹ de Ca, 9–11,7 kg ha⁻¹ de Mg e 3,3 kg ha⁻¹ de S

(Howeler, 1981; Fernandes *et al.* 2017). Assim, apesar da mandioca ser considerada uma planta rústica, ela absorve e exporta grandes quantidades de nutrientes do solo.

2.3 Adubação potássica na cultura da mandioca

A mandioca é conhecida por sua elevada capacidade de extração de nutrientes do solo. Atender as necessidades nutricionais da cultura em quantidades adequada, favorece a produtividade e a qualidade das raízes tuberosas (Nguyen, 2002). Entretanto, a literatura apresenta variações quanto a exigência nutricional da mandioca, o que pode ser atribuído às diferenças genéticas entre cultivares, condições edafoclimáticas distintas dos locais de cultivos (Pizzeta, 2001).

Entre os nutrientes, o K destaca-se como o elemento mais absorvido e exportado pela cultura (Howeler, 1984; Otsubo e Lorenzi, 2004). O K exerce funções essenciais no metabolismo vegetal, atuando diretamente na síntese, no transporte e no armazenamento de carboidratos, sendo um nutriente determinante para o acúmulo de amido nas raízes tuberosas, característica de grande importância econômica (Ternes, 2002).

O K exerce papel importante na regulação do balanço hídrico da planta, associados a abertura e fechamento das células-guarda dos estômatos, ao transporte de carboidratos e na expansão celular. Ele é essencial à translocação de carboidratos produzidos nas folhas, que são acumulados nas raízes, estimula a absorção de dióxido de carbono, e a concentração de amido (Bull, 1993; Wengling, 2005).

Para a mandioca, a disponibilidade de K favorece os processos fisiológicos essenciais da planta, contribuindo para o aumento da produtividade da cultura, na qualidade das raízes tuberosas, e para a síntese de amido, além de desempenhar papel fundamental no transporte de fotoassimilados das folhas para as raízes (Mehdi *et al.* 2007) quando as plantas são supridas adequadamente com K. No entanto, é preciso ter cautela em relação as doses de K aplicadas, já que a aplicação excessiva de K pode resultar em diminuição do teor de amido das raízes (Chua *et al.* 2020; Fernandes *et al.* 2017; Howeler, 2012).

A cultura da mandioca expressa melhor seu potencial produtivo em solos profundos, bem estruturados e com adequada disponibilidade de nutrientes. Em especial, solos friáveis e bem drenados, pois favorecem o crescimento e a expansão das raízes tuberosas, contribuindo para maior rendimento e qualidade do produto (Souza e Souza, 2000; Souza *et al.* 2009; Fialho, Vieira, 2011; Gazola, 2017). Porém, o K aplicado na forma de cloreto de potássio (KCl), que apresenta elevada solubilidade, pode sofrer perdas consideráveis por lixiviação, principalmente em solos arenosos e com baixa CTC.

A aplicação de altas doses de KCl no sulco de plantio pode ser prejudicial para a mandioca, devido ao aumento da salinidade próximo as manivas-semente durante o estabelecimento da cultura, afetando o desenvolvimento inicial das plantas (Morais e Menezes, 2003). O aumento nos níveis de fertilizantes próximo às manivas-semente pode prejudicar a brotação e o desenvolvimento inicial da cultura (Normanha *et al.* 1968), além de reduzir o desenvolvimento das raízes (Roder *et al.* 1989) e causar desequilíbrio catiônico no complexo sortivo do solo, especialmente nas relações K:Ca e K:Mg, o que pode interferir na dinâmica de absorção de nutrientes na região de maior absorção pelas raízes (Munhoz Hernandez; Silveira, 1998; Polidoro *et al.* 2013).

A mandioca é uma cultura de crescimento inicial lento e ciclo longo, de modo que em solos arenosos a aplicação de doses de K parceladas em cobertura é indicado para aumentar a produtividade dos cultivos (Rós, 2013). A retirada de parte de K do plantio e aplicação em cobertura tem sido benéfica inclusive para gerar economia de fertilizante potássico. Gazola *et al.* (2022) verificaram aumentos na produtividade comercial da mandioca de mesa até doses entre 95 e 133 kg ha⁻¹ de K₂O quando o K foi aplicado de forma parcelada, mas quando sua aplicação foi exclusiva no plantio a máxima produtividade só foi obtida com a dose máxima, havendo a necessidade de aplicar uma dose 35% maior.

Há recomendações para mandioca de mesa que indicam até 110 kg ha⁻¹ de K₂O para solos deficientes em K e 2,5 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada adicional de produtividade acima de 25 t ha⁻¹ (Marchesi *et al.* 2018) e outras que indicam doses de 170 kg ha⁻¹ de K₂O para produtividades acima de 30 t ha⁻¹ (Feltran *et al.* 2022). Para o cerrado a indicação é de 120 kg ha⁻¹ de K₂O para níveis de produtividade acima de 30 t ha⁻¹ (Sousa; Lobato, 2004). Contudo, a maioria dos boletins oficiais de recomendação indicam não aplicar mais que 40 kg ha⁻¹ (Marcgesi *et al.* 2018)

ou 60 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de plantio (Sousa; Lobato, 2004; Feltran *et al.* 2022). Portanto, a aplicação fracionada do K, diminuindo as quantidades aplicadas no sulco de plantio é algo que pode favorecer o aproveitamento do K do fertilizante pela cultura, especialmente nos cultivos em solos arenosos. Se o solo apresentar menos de 15% de argila, o aumento na frequência de fornecimento de K em cobertura pode ser favorável para a mandioca (Fialho e Vieira, 2011; Silva *et al.* 2023).

As instituições de pesquisa brasileiras têm desenvolvido cultivares de mandioca com alta produtividade, precocidade, elevada altura da primeira ramificação, boas qualidades culinárias e sabor. A produtividade de raízes destaca-se quando comparada ao desempenho das cultivares tradicionais, devido seu elevado potencial produtivo (Embrapa, 2022). Porém, se a taxa de crescimento e a produtividade de raízes dessas cultivares é maior, possivelmente a demanda nutricional por K também é maior do que a das cultivares de mandioca lançadas no passado. Portanto, torna-se necessário definir qual a dose ótima de K e as melhores formas de aplicação do fertilizante potássico nas cultivares modernas de mandioca de mesa, visando aumentar a eficiência da adubação potássica e a produtividade de raízes nas áreas de cultivo com solo arenoso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

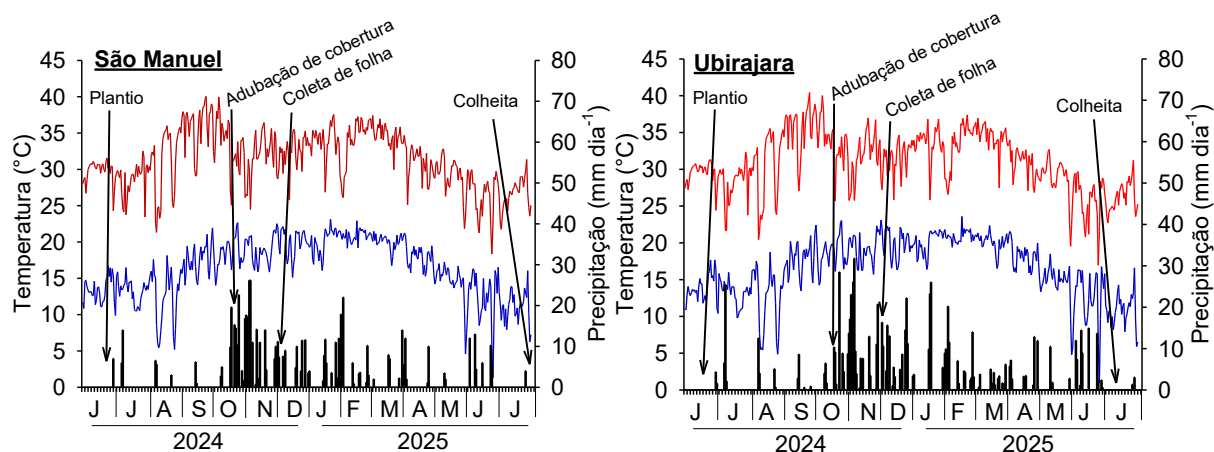
Foram conduzidos experimentos de campo com duas cultivares de mandioca de mesa, a cultivar IAC 576-70 e a cultivar BRS 399. Um experimento foi instalado na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), no município de São Manuel-SP (22° 77' S; 48° 57' W e 740 m de altitude), e outro em área comercial da Cooperativa Agroindustrial de Ubirajara (CAU), no município de Ubirajara-SP (22° 30' S; 49° 39' W e altitude de 500 m). O clima da região de São Manuel-SP é do tipo Cwa (conforme classificação de Koppen) e o solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (ROSSI, 2017). O clima da região de Ubirajara-SP é do tipo Cfa (conforme classificação de Koppen) e o solo é um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa. Os dados de temperatura máxima e mínima e precipitação nas áreas experimentais durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

3.2 Cultivares

No estado de São Paulo, a cultivar IAC 576-70 destaca-se como a principal cultivar de mandioca de mesa, ocupando aproximadamente 90% da área cultivada, em razão de seu elevado potencial produtivo e das excelentes característica culinária de suas raízes. Além do alto rendimento, apresenta arquitetura de planta favorável aos tratos culturais, bem como resistência à doenças como a bacteriose e ao superalongamento (Otsubo; Lorenzi, 2002).

As raízes tuberosas caracterizam-se por película suberosa marrom, superfície lisa e formato predominantemente cilíndrica. O feloderma e a polpa apresentam coloração creme in natura, tornando-se amarela após o cozimento. A parte aérea exibe brotações verde-arroxeadas, hastes jovens de coloração verde e hastes maduras cinza-esverdeadas. Os pecíolos são verdes-arroxeados e as folhas, largas, possuem de cinco a sete lóbulos obovados e de margem lisa. A ramificação é do tipo di- e tricotômica, com ângulo aproximadamente de 45° (Lorenzi *et al.* 1996b).

Figura 1- Temperaturas máxima (linha vermelha) e mínimas (linha azul) e precipitação pluvial (barras verticais) durante a condução dos experimentos nas áreas de São Manuel e Ubirajara.



A cultivar BRS 399, lançada em 2015 pela Embrapa, apresenta precocidade, possibilitando a colheita a partir dos sete meses. Essa cultivar possui arquitetura de planta mais favorável a colheita e produtividade de média a alta (entre 17 e 57 t ha⁻¹), com raízes de polpa amarelada, alto teor de carotenóides e película das raízes tuberosas de cor marrom. A cultivar também apresenta resistência às principais doenças que acometem a cultura, tais como bacteriose e superalongamento (Embrapa, 2014).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

Para cada local, o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 2x3x4, com quatro repetições, totalizando 24 tratamentos. Os tratamentos foram constituídos por 2 cultivares, 3 manejos do K no plantio (1: controle, 2: 40 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco, 3: 40 kg ha⁻¹ de K₂O em pós-plantio) e 4 doses de K₂O aplicadas em cobertura (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹). Cada parcela experimental tinha 4 linhas de mandioca e 5 m de comprimento. Para as avaliações foram consideradas as linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m em ambas as extremidades das parcelas.

A aplicação de K em pós-plantio foi realizada imediatamente após a operação de plantio, enquanto a adubação de cobertura foi realizada por volta dos 60 dias após a emergência das plantas (DAE). Foi utilizado o KCl (60% de K_2O) como fonte de K.

3.4 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas áreas experimentais, na profundidade de 0-20 cm para análise de suas características químicas e granulométricas (Raij *et al.* 2001; Embrapa, 1997). Em ambas as áreas o solo foi preparado convencionalmente com arações e gradagens conforme recomendação de Souza (2006).

Tabela 1 - Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.

Característica	São Manuel	Ubirajara
pH (CaCl ₂)	5,2	5,1
M.O (g dm ⁻³)	17,0	13,0
P resina (mg dm ⁻³)	9,0	4,0
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	1,0	5,0
K (mmol_c dm⁻³)	1,6	2,8
Ca (mmol _c dm ⁻³)	11,0	12,0
Mg (mmol _c dm ⁻³)	5,0	8,0
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	17,0	19,0
CTC (mmol _c dm ⁻³)	34,6	41,8
V%	51,0	55,0
B (mg dm ⁻³)	0,10	0,34
Cu (mg dm ⁻³)	1,4	0,18
Fe (mg dm ⁻³)	19,0	64,0
Mn (mg dm ⁻³)	6,6	4,0
Zn (mg dm ⁻³)	1,2	0,73
Areia (g kg ⁻¹)	872,0	865,0
Silte (g kg ⁻¹)	24,0	49,0
Argila (g kg ⁻¹)	104,0	86,0

Para o plantio foram utilizadas ramas das cultivares IAC 576-70 e BRS 399, retiradas do terço médio de plantas saudáveis com 12 meses de idade. O sistema de corte das ramas na plantadeira foi regulado para cortar as manivas-sementes com 18 cm de comprimento, as quais foram depositadas nos sulcos a profundidade aproximada de 10 cm, no espaçamento de 1,10 m entre linhas e 0,70 m entre plantas.

O plantio foi realizado na data 14/06/2024 em São Manuel e 17/06/2024 em Ubirajara. A adubação de plantio foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo as recomendações de Feltran *et al.* (2022). Na adubação de base foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 20 kg ha⁻¹ de N e 24 kg ha⁻¹ de S, mediante o mecanismo de adubação da plantadeira utilizando-se a mistura dos fertilizantes superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e sulfato de amônio (20% N e 22% de S). Nos tratamentos adubados com K no sulco de plantio (KCl, 60% K₂O), sua aplicação ocorreu manualmente no momento do plantio. Para isso, o plantio foi realizado mecanicamente com os discos de fechamento dos sulcos levantados. Em seguida, aplicou-se o K e fechou-se os sulcos manualmente com auxílio de enxadas. Nos tratamentos fertilizados com K em pós-plantio, o plantio foi realizado normalmente de forma mecanizada e em seguida aplicou-se o fertilizante sobre as linhas de plantio.

Nas adubações de cobertura aplicaram-se as doses de K de cada tratamento, usando a fonte KCl. Junto com a adubação potássica de cobertura aplicaram-se em todos os tratamentos 15 kg ha⁻¹ de N e 18 kg ha⁻¹ de S (sulfato de amônio), 0,50 kg ha⁻¹ de Cu (sulfato de cobre, 25% de Cu), 1 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico, 17% de B) e 2 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de Zn, 20% de Zn). Os fertilizantes foram aplicados ao lado das fileiras de plantas na data de 22/10/2024 em ambas as áreas de cultivo.

Durante a condução dos experimentos os tratos culturais, envolvendo controle de plantas daninhas, pragas e doenças, entre outros, foram realizados de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas para a cultura da mandioca na região. A colheita da mandioca foi realizada aproximadamente aos 12 meses após o plantio em 08/07/2025 em Ubirajara e 30/07/2025 em São Manuel.

3.5 AVALIAÇÕES

3.5.1 Diagnose foliar

Após 5 meses do plantio, no dia 02/12/2024, foram realizadas amostragens de folhas em ambas as áreas, retirando-se o limbo das folhas mais jovens totalmente expandidas de 10 plantas por parcela experimental de acordo com a metodologia proposta por Feltran *et al.* (2022). O material coletado foi lavado em água corrente e seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas. Em seguida, o material seco foi moído para a determinação dos teores de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997).

3.5.2 Altura das plantas e população final de plantas

A altura de plantas foi determinada em 2 plantas da área útil de cada parcela antes da colheita, medindo-se a distância entre o solo e o ponto mais alto da planta. Para a população final de plantas foi feita a quantificação na véspera da colheita, considerando duas linhas de 4 m de comprimento na área útil de cada parcela, sendo os resultados convertidos em plantas ha¹.

3.5.3 Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira e índice de colheita

No momento da colheita as plantas da área útil das parcelas (2 linhas centrais de 4 m de comprimento) foram coletadas e separadas em parte aérea, cepas e raízes tuberosas. Todas as partes das plantas foram pesadas separadamente para obtenção da massa fresca. Por conseguinte, subamostras desse material foram retiradas, pesadas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante. Após a secagem, as subamostras foram pesadas para a obtenção da porcentagem de MS. Os dados de matéria fresca, porcentagem de MS e população final de plantas foram usados no cálculo do acúmulo de MS por área em cada parte da planta e na planta inteira.

O índice de colheita foi calculado dividindo-se o acúmulo de MS nas raízes tuberosas pelo acúmulo de MS na planta inteira.

3.5.4 Número, peso médio, produtividade total e comercial de raízes tuberosas

As raízes tuberosas coletadas na área útil das parcelas no momento da colheita final foram classificadas em comerciais e não comerciais e pesadas. Foram consideradas como comercializáveis as raízes com diâmetro maior ou igual a 4 cm e sem deformações graves (CEAGESP, 2026). O peso médio das raízes foi calculado pela relação entre o peso total e o número total de raízes de cada parcela.

As produtividades total e comercial de raízes foram calculadas utilizando-se os dados de população final de plantas e o peso fresco total e comercial de raízes por planta, obtidos a partir do cálculo da média das plantas avaliadas na parcela.

3.5.5 Teor de K nas partes da planta, absorção e exportação de K

Após a secagem das amostras utilizadas para a determinação da MS (item 3.5.3), elas foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm e submetidas à análise dos teores de K (Malavolta *et al.* 1997). As quantidades de K acumuladas na parte aérea, cepas e raízes foi estimada multiplicando-se o teor de K pela quantidade de MS acumulada. A quantidade de K absorvida pela cultura foi determinada pela soma das quantidades de K obtidas em cada parte da planta, enquanto a quantidade K exportada foi representada pela quantidade de K acumulada nas raízes tuberosas.

3.5.6 Análises de qualidade das raízes

3.5.6.1 Tempo de cozimento das raízes tuberosas e textura cozida

O tempo de cozimento (TC) das raízes foi determinado utilizando cilindros com aproximadamente 6 cm de comprimento retirado da parte mediana de três raízes comerciais de cada parcela, as quais foram descascadas e imersas em 1.000 ml de água em ebulição. O ponto ideal de cozimento foi obtido com a utilização de um garfo de aço inoxidável, considerando o limite máximo para

cozimento de 30 minutos (Lorenzi, 1994). As mesmas amostras utilizadas para determinar o tempo de cozimento, depois de cozidas foram submetidas ao teste de firmeza com uso de texturômetro (TA.XT Plus Texture Analyser) com ponta de prova SMS P/2N e velocidade de penetração de $2,5 \text{ mm s}^{-1}$. A leitura foi expressa em força Newton (N).

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA separadamente por local, utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011). As formas de manejo da adubação de plantio foram comparadas pelo teste de LSD ($p < 0,05$). As doses de K aplicadas em cobertura foram avaliadas por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para a escolha do modelo aquelas com maior coeficiente de determinação e significativos ($p < 0,05$). Testou-se os modelos linear, quadrático, linear-platô e quadrático-platô, os quais foram ajustados usando os softwares R 4.3.3 (R Core Team, 2021 e RStudio (RStudio Team, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 São Manuel

4.1.1 Diagnose foliar

Os teores de N, Ca, Mg e S na folha diagnóstica não foram influenciados significativamente por nenhum dos fatores estudados (Tabela 2). Os teores foliares de N ficaram dentro da faixa considerada adequada para cultura da mandioca (45 a 60 g kg⁻¹; Feltran *et al.* 2022), mas os teores foliares de Ca ficaram acima da faixa adequada para a cultura, que é de 5 a 15 g kg⁻¹ (Feltran *et al.* 2022). Os teores foliares de Mg e S ficaram abaixo da faixa considerada adequada para cultura, que é de 2 a 5 g kg⁻¹ para o Mg e 3 a 4 g kg⁻¹ para o S (Feltran *et al.* 2022). Apesar disso, não se verificou sintomas visuais de deficiência de Mg ou S nas plantas de mandioca.

O teor foliar de P foi influenciado pelos fatores cultivar, manejo e pela interação cultivar x manejo (C x M) (Tabela 2). Na cultivar BRS 399 o manejo da adubação potássica não interferiu no teor foliar de P, mas na cultivar IAC 576-70 o tratamento que recebeu a aplicação de K no sulco de plantio apresentou teores foliares de P maiores do que os outros tratamentos (Tabela 3). No entanto, a cultivar IAC 576-70 apresentou teores foliares de P maiores do que a cultivar BRS 399 apenas nos tratamentos sem K ou com aplicação de K no sulco de plantio. Na cultivar BRS 399 os teores foliares de P ficaram dentro da faixa considerada adequada para a cultura da mandioca (2 a 5 g kg⁻¹; Feltran *et al.* 2022), mas na cultivar IAC 576-70 os teores foliares de P ficaram dentro da faixa adequada no tratamento que recebeu K em pós plantio e acima dessa faixa nos demais tratamentos. Contudo, não se verificou sintomas visuais de toxidez de P nas plantas de mandioca destes tratamentos.

O teor foliar de K foi influenciado significativamente pelos fatores cultivar, manejo e dose de forma isolada (Tabela 2). Na cultivar BRS 399 o teor foliar de K foi maior do que na IAC 576-70, sendo que no tratamento que recebeu aplicação de K em pós-plantio o teor foliar de K foi maior do que nos tratamentos sem aplicação de K no plantio (0-K). Esses resultados indicam que a aplicação de K em pós-plantio contribuiu para uma melhor nutrição potássica da cultura da mandioca. Em relação as doses de K, observa-se que adubação potássica aumentou de forma quadrática os teores de K nas folhas da mandioca até a dose estimada de 58 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 2). Destaca-se que mesmo na menor dose de K em cobertura não se verificou deficiência de K, uma vez que os teores estavam acima da faixa considerada como adequada para a cultura, que é de 10 a 20 g kg^{-1} (Feltran *et al.* 2022). Vale destacar que, neste estudo, os teores iniciais de K no solo eram considerados altos de acordo com o Boletim 100 de 1997 ($<0,7$: baixo; $0,7-1,5$: médio; $>1,5$: alto) e médios de acordo com a versão de 2022 ($<1,6$: baixo; $1,6-3,0$: médio; $>3,0$: alto) (Lorenzi *et al.* 1997; Feltran *et al.* 2022). Contudo, se a faixa de teores no solo fosse baixa para a cultura da mandioca, esperava-se que houvesse deficiência de K nas plantas, o que não ocorreu, mesmo sem nenhuma aplicação de K em cobertura (Figura 2). Portanto, pode ser que o limite de $1,6 \text{ mmolc dm}^{-3}$ no solo, estabelecida como baixa no boletim 100 de 2022 (Feltran *et al.* 2022) não seja uma condição deficiente para a cultura da mandioca. Embora não faça parte da estrutura das plantas o K é o cátion mais abundantes nos tecidos vegetais (Meurer, 2006), e exerce um papel fundamental na ativação de enzimas que regulam os processos fisiológicos (Malavolta *et al.* 1997).

Tabela 2- Teor de macronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Cultivar (C)						
IAC 576-70	46,9a	5,1	37,9b	19,8a	1,9a	2,4a
BRS 399	45,8a	4,4	42,6a	19,2a	2,0a	2,4a
Manejo (M)						
0-K	46,2a	4,5	37,3b	18,8a	1,9a	2,5a
40-K sulco	45,6a	4,8	40,3ab	19,3a	1,9a	2,4a
40-K pós plantio	47,2a	5,1	43,2a	20,3a	1,8a	2,3a
Dose (D)						
0	45,9	4,7	36,5	19,1	1,9	2,4
25	45,9	4,8	41,1	19,6	1,9	2,4
50	47,6	4,8	43,1	19,4	1,9	2,4
100	45,9	4,8	40,1	19,8	1,8	2,4
Fonte de variação	Probabilidade de F					
Cultivar (C)	NS	< 0,001	0,047	NS	NS	NS
Manejo (M)	NS	0,003	0,017	NS	NS	NS
Dose (D)	NS	NS	0,050	NS	NS	NS
C×M	NS	0,002	NS	NS	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS

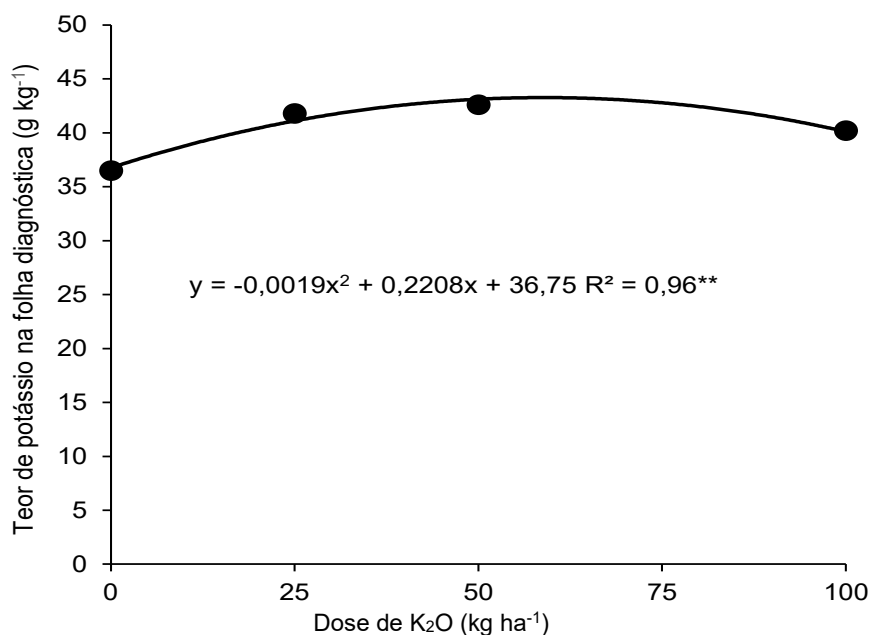
Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Tabela 3- Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para o teor de P na folha diagnose de cultivares de mandioca.

Manejo K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
	P (g kg ⁻¹)	
0-K	5,1bA	4,5aB
40-K sulco	5,8aA	4,4aB
40-K pós plantio	4,6bA	4,4aA

Médias seguida de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Figura 2- Teor de K na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. ** $p < 0,01$.



Com relação aos micronutrientes, observou-se que não houve influência dos fatores estudados para os teores foliares de B, Fe e Zn (Tabela 4). Os teores foliares de B encontraram-se dentro da faixa considerada adequada para cultura, que é de 20 a 50 mg kg⁻¹ (Feltran *et al.* 2022). Segundo Lani *et al.* (2007), as concentrações de B na primeira folha mais jovem totalmente expandida, são consideradas como adequadas para a cultura da mandioca, estão entre 30 a 60 mg kg⁻¹. Neste estudo, a adubação potássica não interferiu no teor de B das folhas, indicando que não houve diluição dos teores foliares de B em resposta a adubação potássica. A ausência de resposta da adubação potássica sobre os teores foliares de Fe indica que a absorção de Fe não foi afetada pelo fornecimento de K, o que corrobora com o estudo de Howeler *et al.* (2002). Além disso, os teores foliares de Fe no presente estudo encontraram-se dentro da faixa considerada adequada para a mandioca que é de 60 a 200 mg kg⁻¹ (Feltran *et al.* 2022).

Tabela 4- Teor de micronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Cultivar (C)					
IAC 576-70	32,5a	13,5b	201,9a	73,1b	73,4a
BRS 399	33,1a	14,6a	201,9a	98,4a	75,1a
Manejo (M)					
0-K	32,9a	14,4a	204,0a	86,1a	76,0a
40-K sulco	31,4a	14,1a	202,3a	83,0a	75,8a
40-K pós plantio	34,2a	13,6a	199,3a	88,2a	71,8a
Dose (D)					
0	32,2	14,0	206,0	87,5	75,1
25	32,1	14,4	210,0	88,6	75,0
50	33,4	14,1	198,7	85,1	74,3
100	33,6	13,9	192,7	81,8	73,6
Fonte de variação	Probabilidade de F				
Cultivar (C)	NS	0,019	NS	<0,001	NS
Manejo (M)	NS	NS	NS	NS	NS
Dose (D)	NS	NS	NS	NS	NS
C×M	NS	NS	NS	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Quanto ao teor foliar de Zn, no presente estudo verificou-se valores dentro da faixa considerada adequada para cultura da mandioca, ou seja, entre 35 e 100 mg kg⁻¹ (Feltran *et al.* 2022). O que indica ausência de deficiência nutricional desse micronutriente nas condições avaliadas. Na planta, o Zn desempenha um papel essencial nas funções fisiológicas relevantes no metabolismo vegetal, pois participa da síntese do triptofano, precursor do ácido indolacético (AIA). Esse fitormônio está diretamente relacionado à ativação de enzimas que irão promover o alongamento e expansão celular, contribuindo para o crescimento das plantas (Orlando Filho *et al.* 2001; Taiz; Zeiger, 2013).

Os teores foliares de Cu e Mn apresentaram efeito significativo apenas do fator cultivar (Tabela 4), tendo sido verificados teores foliares mais elevados destes nutrientes na cultivar BRS 399 em comparação com a cultivar IAC 576-70. Destaca-se que tanto os teores foliares de Cu como de Mn ficaram dentro da faixa adequada para cultura da mandioca, que é de 5 a 25 mg kg⁻¹ de Cu e 25 a 100 mg kg⁻¹ de Mn (Feltran *et al.* 2022). Essa diferença entre as cultivares quanto aos teores foliares desses micronutrientes pode estar associada a características genéticas relacionadas a capacidade de absorção desses micronutrientes.

4.1.2 População final e altura de plantas, número total e comercial de raízes por planta, massa média de raízes e produtividade de raízes

A população final de plantas foi influenciada pelos fatores cultivar, manejo e pela interação cultivar x manejo (Tabela 5). O manejo da adubação potássica de plantio não interferiu na população final de plantas da cultivar BRS 399, mas na cultivar IAC 576-70 os tratamentos com aplicação de K no sulco e em pós-plantio resultaram em uma maior população de plantas do que o manejo sem K no plantio (Tabela 6).

Tabela 5 – População final de plantas (POP), altura de plantas (AP), número Total De Raízes por planta (NTR), número comercial de raízes por Planta (NCR) massa média total de raízes (MMTR), massa média de raízes Comerciais (MMCR), produtividade total (PT) e produtividade comercial (PC) de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	POP	AP	NTR	NCR	MMTR	MMCR	PT	PC
	pl ha ⁻¹	m	— raiz pl ⁻¹ —		— g —		— t ha ⁻¹ —	
Cultivar (C)								
IAC 576-70	9259,3	1,9	9,7a	4,6	386,1a	596,2	35,2a	24,9a
BRS 399	8449,2	1,9	9,9a	4,6	381,6a	619,8	30,8b	21,2b
Manejo (M)								
0-K	8402,9	1,8	9,5a	4,3	367,9a	578,8	29,1b	20,2b
40-K sulco	9062,6	1,9	9,9a	4,7	386,8a	608,0	35,9a	25,4a
40-K pós plantio	9097,3	1,9	10,1a	4,1	396,9a	637,3	33,8a	23,6a
Dose (D)								
0	8564,9	1,90	9,5	4,3	348,4	548,7	28,1	19,6
25	9027,9	1,97	10,2	4,4	371,6	597,8	33,6	23,4
50	8981,6	1,91	10,4	4,4	396,6	634,7	36,3	25,2
100	8842,6	1,93	9,2	4,3	418,8	651,0	33,9	24,1
Fonte de variação	Probabilidade de F							
Cultivar (C)	<0,001	0,032	NS	0,003	NS	NS	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,020	0,017	NS	0,012	NS	0,050	<0,001	<0,001
Dose (D)	NS	NS	0,003	NS	0,009	0,002	<0,001	<0,002
C×M	0,017	0,009	NS	0,005	NS	0,001	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

Tabela 6- Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para população final de plantas, altura de plantas, número de raízes comerciais por planta e massa média de raízes comerciais.

Manejo do K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
	População final de plantas (pl ha ⁻¹)	
0-K	8402,9bA	8402,9aA
40-K sulco	9513,9aA	8680,7aB
40-K pós plantio	9861,1aA	8680,7aB
	Altura de plantas (m)	
0-K	1,9aA	1,9bA
40-K sulco	1,9aB	2,1aA
40-K pós plantio	1,9aA	1,9bA
	Número de raízes comerciais por planta	
0-K	4,8aA	3,9bB
40-K sulco	4,6aA	4,8aA
40-K pós plantio	4,5aA	3,8bB
	Massa média de raízes comerciais (g raiz ⁻¹)	
0-K	582,9aA	574,8bA
40-K sulco	635,7aA	580,3bA
40-K pós plantio	570,2aB	704,4aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

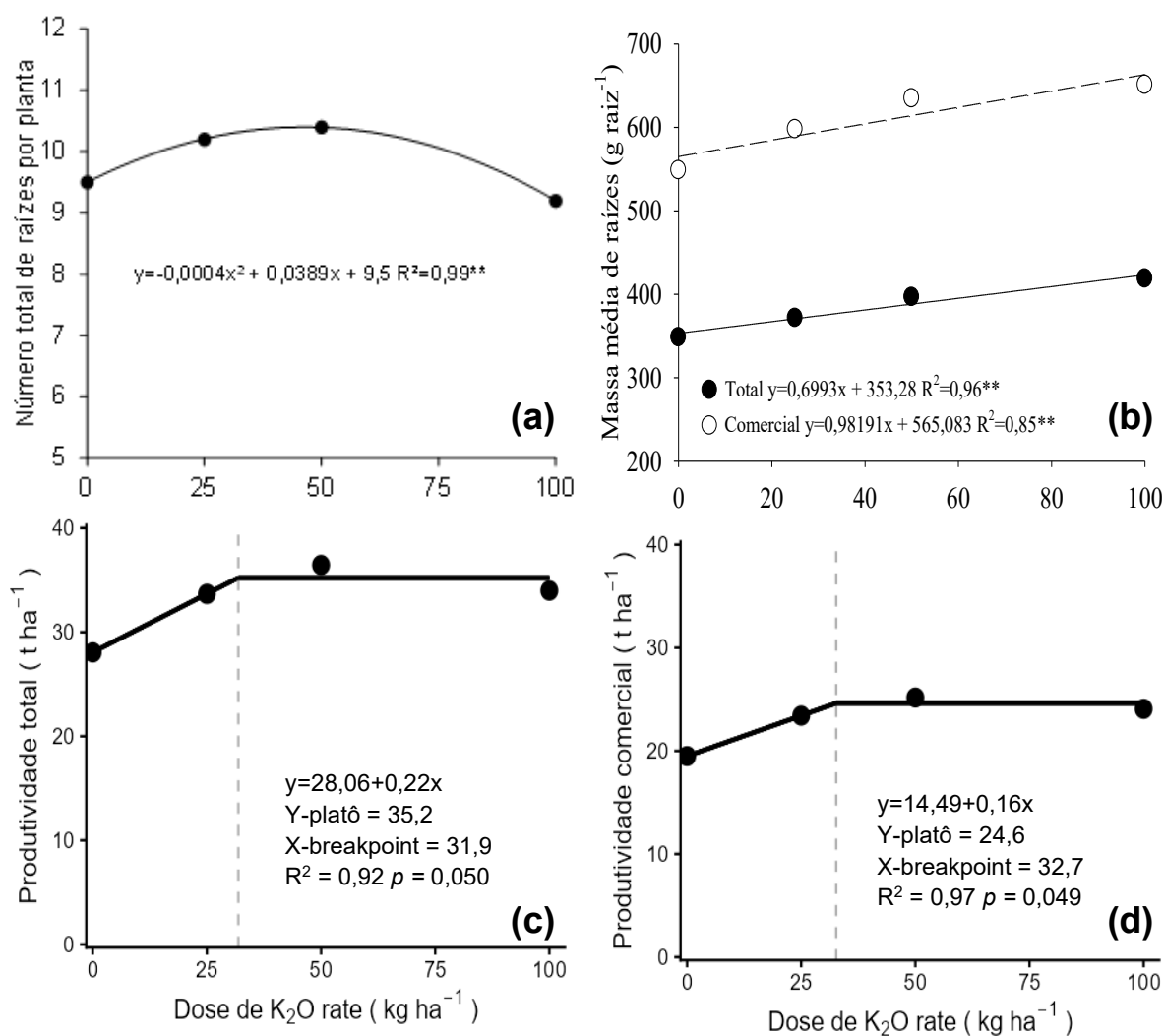
Além disso, nos tratamentos fertilizados com K no sulco de plantio ou em pós plantio a população final de plantas da cultivar IAC 576-70 foi maior do que na cultivar BRS 399 (Tabela 6).

A altura de plantas foi afetada significativamente pelos fatores cultivar, manejo e pela interação cultivar x manejo (Tabela 5). Para a cultivar IAC 576-70 o manejo da adubação de K não interferiu na altura das plantas, enquanto na cultivar BRS 399 o tratamento com aplicação de K no sulco de plantio resultou em plantas mais altas do que os manejos sem K ou com fornecimento de K em pós-plantio (Tabela 6). Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com Rós (2013) que em trabalhos com a variedade da mandioca IAC 576-70 obteve aumentos significativos na altura de plantas com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ K₂O, atingindo plantas com alturas entre 2,0 e 2,35 m. O aumento na altura da planta pode ser atribuído ao fato de o K ter um papel importante nos processos de crescimento vegetal. Esse nutriente favorece a divisão e a expansão celular, além de influenciar a atividade enzimática necessária ao desenvolvimento das plantas (Santos *et al.* 2025). De acordo com Otsubo *et al.* (2008), plantas de mandioca mais altas tendem a apresentar maior biomassa aérea, pois possuem maior superfície foliar, e conseqüentemente, maior capacidade fotossintética. Esse

aumento pode resultar em maior acúmulo de fotoassimilados e maior produção de raízes.

O número total de raízes por planta foi influenciado apenas pelo fator dose, enquanto o número comercial de raízes foi influenciado pelas cultivares, manejo e pela interação cultivar x manejo (Tabela 5). A adubação potássica de cobertura aumentou de forma quadrática o número total de raízes por planta até a dose máxima estimada 48,6 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3a). Gonçalves (2018) em estudo sobre fontes e doses de K sobre a produtividade e qualidade da mandioca de mesa, observou um aumento do número de raízes por planta até a dose estimada de 52 kg ha⁻¹, na qual obteve-se 8,6 raízes planta⁻¹, ou seja, resultado semelhante ao verificado nesta pesquisa.

Figura 3- Número total de raízes por planta (a), massa média total e comercial de raízes (b), produtividade total (c) e comercial (d) de raízes de cultivare de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. ** $p < 0,01$.



Para a cultivar IAC 576-70, Figueiredo *et al.* (2014), também relataram produção média entre 9 e 10 raízes tuberosas por planta. De forma semelhante (Gazola, 2017) ao avaliar doses e formas de parcelamento da adubação potássica em solos arenosos no estado de São Paulo, observou um incremento no número de raízes de mandioca em resposta à adubação potássica. Do ponto de vista fisiológico, o suprimento de K no início do ciclo mandioca, pode interferir no processo de diferenciação de raízes, favorecendo a transição de raízes absorventes (absorção de água e nutrientes) em raízes reservas (acúmulo de amido), pelo fato do K atuar na síntese e transporte de carboidratos para as raízes tuberosas, onde ocorre o acúmulo de amido (Darwish, 2004).

O manejo da adubação potássica de plantio não afetou o número de raízes comerciais por planta da cultivar IAC 576-70, mas na cultivar BRS 399 o número de raízes comerciais por planta foi maior quando o K foi aplicado no sulco de plantio (Tabela 6). Quando não se aplicou K no plantio ou o K foi aplicado em pós plantio a cultivar IAC 576-70 apresentou mais raízes comerciais por planta do que a cultivar BRS 399. Corrêa (2016) em estudos com batata-doce, observou que o parcelamento da adubação potássica com divisão da dose no plantio e em cobertura, proporcionou média de 3,5 e 4,7 raízes comerciais por planta, com aplicação de doses variando entre 36,5 a 58,5 kg ha⁻¹ de K₂O.

A massa média total das raízes foi influenciada somente pelo fator dose, tendo sido observado aumento linear desta variável com o incremento das doses de K₂O (Tabela 5 e Figura 3b). Dessa forma, o K promoveu aumentos na massa das raízes até a maior dose de K aplicada em cobertura (100 kg ha⁻¹ de K₂O). Gazola (2017) em estudo com adubação potássica na cultura da mandioca relatou aumento na massa média das raízes até a dose de 89 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação adequada de K pode contribuir para maior acúmulo de biomassa nas raízes, que atuam como principais estruturas de reserva de amido (Gruner, 1963). Além disso, o K está correlacionado com a síntese de carboidratos, participando tanto da formação quanto da translocação de açúcares produzidos nas folhas em direção às raízes tuberosas, onde ocorre o acúmulo de amido (Prajapati e Modi *et al.* 2012).

A massa média de raízes comerciais foi afetada pelo fator manejo, dose e pela interação cultivar × manejo (Tabela 5). Na cultivar IAC 576-70 as formas de manejo da adubação potássica de plantio não afetou a massa média das raízes comerciais, mas na cultivar BRS 399 a massa média das raízes no manejo que recebeu K em pós plantio foi maior do que nos outros manejos (Tabela 6). Assim, apenas no manejo com aplicação de K em pós plantio a massa média das raízes comerciais da cultivar BRS 399 foi maior do que na cultivar IAC 576-70. Por outro lado, a adubação potássica de cobertura aumentou a massa média de raízes comerciais de forma linear (Figura 3b).

A produtividade total foi influenciada pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 5). A cultivar IAC 576-70 obteve valores superiores de produtividade quando comparada à cultivar BRS 399. Para o fator manejo, observou-se que os tratamentos que receberam K no sulco de plantio e em pós plantio apresentaram maiores produtividades do que o tratamento sem aplicação de K no plantio. Estes resultados demonstram que o fornecimento de K na fase inicial de estabelecimento da cultura, seja via sulco de plantio ou em pós plantio é fundamental para aumentar a produtividade total de raízes da mandioca. Com relação às doses K_2O , verificou-se que os dados de produtividade total se ajustaram a um modelo linear-platô, havendo aumento na produtividade até a dose de K em cobertura de 31,9 $kg\ ha^{-1}\ K_2O$ (Figura 3c). Nas doses maiores de K a produtividade total manteve-se inalterada com o incremento no suprimento de K. O incremento da produtividade de raízes em função das doses de K, deve-se a sua relevância na ativação de enzimas que participam de processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese e a translocação e armazenamento dos fotoassimilados (Figueiredo *et al.* 2008). Resultados semelhantes foram relatados por Gazola (2017), que observou incrementos na produtividade total de raízes até doses estimadas entre 102 e 111 $kg\ ha\ de\ K_2O$ no segundo ano de cultivo. De forma concordante, Gonçalves *et al.* (2018) em estudos sobre fontes e doses de K na produtividade e qualidade da mandioca de mesa, observaram rendimento de raízes de 35,58 $t\ ha^{-1}$ com a dose estimada de 70 $kg\ de\ K_2O\ ha^{-1}$.

A produtividade comercial foi afetada significativamente pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 5). A cultivar IAC 576-70 apresentou produtividade comercial de raízes tuberosas maior, já a BRS 399 obteve valores menores. Em relação aos manejos, verifica-se que os tratamentos com aplicação de K em sulco e em pós-plantio resultou em valores maiores de produtividade comercial, em comparação com o controle. Quanto ao fator dose, observou-se um ajuste linear-platô para os dados (Figura 3d). Houve aumento da produtividade das raízes comerciais até a dose máxima estimada de 32,7 kg de K₂O ha⁻¹, sem haver alteração significativa na produtividade com o uso de doses maiores de K (Figura 3d). Resultados semelhantes foram encontrados por Gazola (2017) que ao realizar aplicação de K de forma parcelada obteve um aumento de produtividade até a dose estimada de 98 kg ha⁻¹. Rós (2013) realizou estudos com a cultivar IAC 576-70 e doses de K em um solo com alto teor de K e obteve produtividade média comercial de 42,3 t ha⁻¹ e não observou influência da adubação potássica sobre a produtividade. Neste estudo, os teores de K no solo eram considerados médios (Tabela 1; Feltran *et al.* 2022) para a cultura da mandioca e a respostas das cultivares a adubação potássica de cobertura se limitou a doses entre 31,9 e 32,7 kg ha⁻¹ de K₂O (Figuras 3c e 3d).

4.1.3 Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepa, raízes e na planta inteira.

Os acúmulos de MS na parte aérea, raízes e na planta inteira tiveram influência significativa dos fatores cultivar, manejo e dose, mas para o acúmulo de MS nas cepas houve efeito significativo apenas do fator manejo de K (Tabela 7). A cultivar BRS 399 acumulou mais MS na parte aérea do que a cultivar IAC 576-70, mas seus acúmulos de MS nas raízes e na planta inteira foram menores do que na cultivar IAC 576-70.

Tabela 7- Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

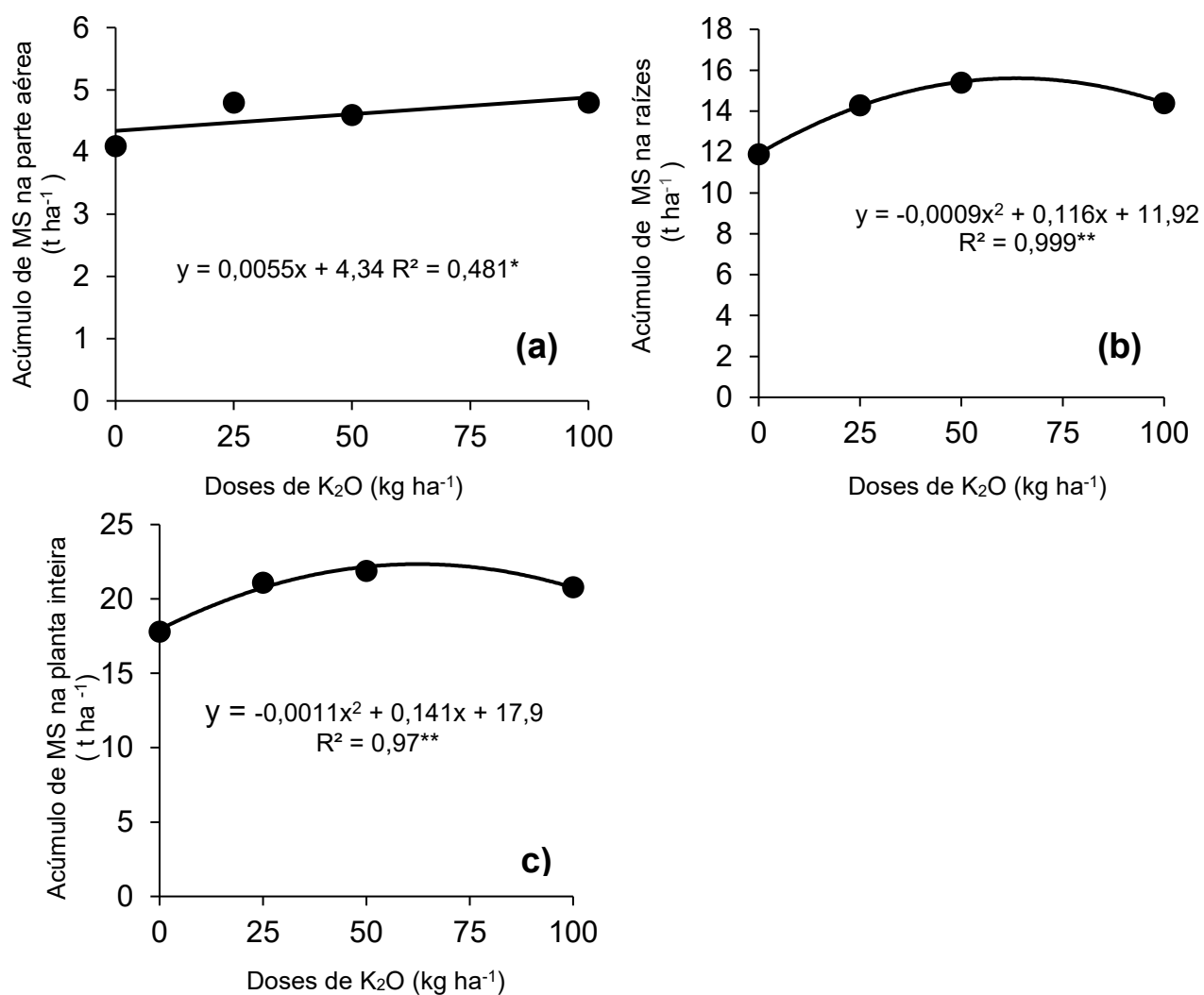
Tratamentos	Acúmulo de matéria seca (t ha ⁻¹)			
	Parte aérea	cepa	Raízes	Planta inteira
Cultivar (C)				
IAC 576-70	4,1b	1,8a	15,3a	21,3a
BRS 399	4,9a	2,0a	12,7b	19,5b
Manejo (M)				
0-K	4,0b	1,6b	12,5b	18,2b
40-K sulco	4,4b	2,0a	14,4a	20,8a
40-K pós plantio	5,1a	2,2a	15,0a	22,2a
Dose (D)				
0	4,0	1,8	11,9	19,3
25	4,7	2,1	14,3	19,9
50	4,6	1,9	15,4	20,5
100	4,7	1,8	14,4	21,8
Fonte de variação	Probabilidade de F			
Cultivar (C)	<0,001	NS	<0,001	0,022
Manejo (M)	<0,001	0,009	0,003	<0,001
Dose (D)	0,037	NS	<0,001	<0,001
C×M	NS	NS	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05)

Entre os manejos, nota-se que o acúmulo de MS na parte aérea foi maior no tratamento com aplicação de K em pós-plantio do que nas demais formas de manejo (Tabela 7). No entanto, nas demais partes da planta e na planta inteira, verificou-se que os tratamentos que receberam K no sulco de plantio ou em pós plantio acumularam mais MS do que os tratamentos sem aplicação de K. Isso mostra a importância de se fornecer uma parte do K para a planta de mandioca no momento do plantio, seja aplicando no sulco ou em pós plantio da cultura.

Em relação aos efeitos das doses de adubação potássica, observou-se que o acúmulo de MS na parte aérea da planta aumentou de forma linear com as doses de K (Figura 4a).

Figura 4- Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea (a), raízes tuberosas (b) e na planta inteira (c) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. ** $p < 0,01$.



Nas raízes e na planta inteira a adubação potássica de cobertura aumentou as quantidades de MS acumuladas até as doses estimadas de 64,4 e 64,1 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 4b e 4c). Brito *et al.* (2006) indicam que, em solos arenosos, o aumento das doses de potássio promoveu incremento na MS de raízes na cultura de batata-doce. De forma semelhante, Gazola (2017) relata que a adubação potássica promoveu um aumento no acúmulo de MS nas raízes tuberosas no seu primeiro ano de cultivo, alcançando valores máximos com a dose 105 kg ha⁻¹ de K₂O. No estudo feito por Nayar *et al.* (1985), o fornecimento de dose de K até 150kg ha⁻¹ de K₂O resultou em incremento no crescimento vegetativo e no acúmulo de MS total das plantas de mandioca. Nascimento (2025) observou acúmulo máximo de MS na planta inteira de mandioca com a aplicação da dose de 122 kg ha⁻¹ de K₂O.

As maiores respostas da planta as doses de adubação potássica podem ser atribuídas à importância do K em processos fisiológicos como a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados. Ramanujam e Indira (1984), relataram que a deficiência de K reduz o acúmulo de MS na planta inteira, evidenciando a importância desse nutriente para o crescimento vegetativo das plantas de mandioca. O efeito positivo da adubação potássica pode ser atribuído as funções do K, pois o K atua em diferentes atividades celulares, como ativação enzimática e movimento estomático, e, portanto, na fotossíntese e geração de ATP, o que provavelmente contribuiu para o efeito positivo sobre a produtividade dos tubérculos (Hasanuazzaman *et al.* 2018; Siegel *et al.* 1972; Chua *et al.* 2020). Esses mecanismos favorecem o crescimento vegetativo e, consequentemente, o acúmulo da MS na parte aérea da mandioca com o aumento nas doses de K aplicadas.

4.1.4 Teor de K na parte aérea, cepas e raízes, extração de K pela planta inteira exportação de K pelas raízes

O teor de K na parte aérea e nas raízes foi influenciado pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 8). A cultivar IAC 576-70 apresentou maior teor de K na parte aérea do que a cultivar BRS 399. Porém, nas raízes o teor de K foi maior na cultivar BRS 399 do que na cultivar IAC 576-70. Entre os manejos, o

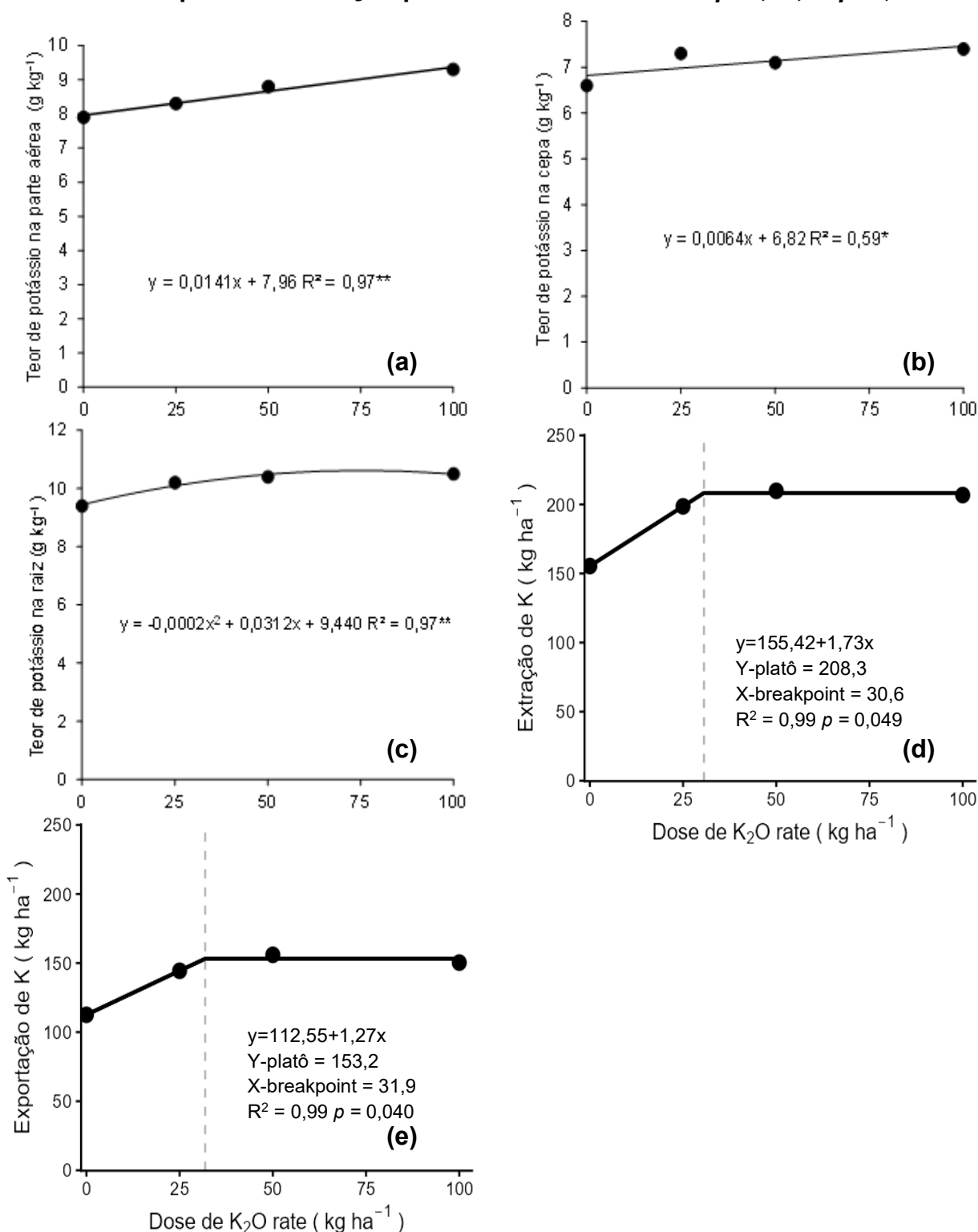
tratamento com aplicação de K em pós plantio proporcionou teores de K na parte aérea maiores do que nos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. Por outro lado, nas raízes os maiores teores de K ocorreram no tratamento que recebeu K em pós plantio e os menores teores de K foram verificados no tratamento sem K no plantio, enquanto o tratamento que recebeu K no sulco de plantio apresentou teores intermediários de K nas raízes. Para o fator dose, observou-se que conforme ocorreu o aumento da adubação potássica o teor de K na parte aérea ajustou-se ao modelo linear até a maior dose estimada de 100 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 5a).

Tabela 8-Teor de K na parte aérea, cepa e raízes tuberosas, extração e exportação de K pelas raízes de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	Parte aérea	cepa	Raiz	Extração de K	Exportação de K
	g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹	
Cultivar (C)					
IAC 576-70	9,4a	6,2	9,1b	191,6	139,9
BRS 399	7,6b	7,9	11,1a	193,7	141,7
Manejo (M)					
0-K	8,2b	6,2	9,4c	160,5	117,8
40-K sulco	8,2b	7,4	10,1b	208,5	150,7
40-K pós plantio	9,3a	7,6	10,7a	208,9	153,9
Dose (D)					
0	7,9	6,6	9,3	155,5	112,6
25	8,3	7,3	10,2	198,6	144,4
50	8,8	7,0	10,4	209,8	155,9
100	9,2	7,4	10,5	206,7	150,4
Fonte de variação	Probabilidade de F				
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	NS	NS
Manejo (M)	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,009	0,054	0,002	<0,001	<0,001
C×M	NS	0,007	NS	0,003	0,044
C×D	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

Figura 5- Teor de K na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c), extração (d) e exportação de K pelas raízes (e) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.



Nas raízes o teor de K aumentou de forma quadrática até a dose estimada de 78 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 5c). Estudos anteriores mostram uma variação no teor de K em raízes de mandioca. Oelsgle *et al.* (1975) e posteriormente por Solorzano e Bornemisza (1976), observaram teores de K nas raízes tuberosas de 6,4 e 13,3 g kg⁻¹, valores inferiores aos verificados nesta pesquisa. Howeler *et al.* (2014) em 15 anos de estudo, concluiu que, em média, 56,2% de K total da planta encontram-se armazenado nas raízes tuberosas. Chua *et al.* (2020) também destacam a relevância fisiológica das raízes como a principal fonte de reserva de K na cultura da mandioca. Segundo Lorenzi *et al.* (1981), os teores de K na mandioca se distribuem entre os órgãos da planta, sendo mais elevados na folha (7,1), hastes (4,9) e menores nas raízes tuberosas (4,2).

O teor de K nas cepas foi influenciado pelos fatores cultivar, manejo, doses e pela interação cultivar x manejo (Tabela 8). Observa-se que na cultivar BRS 399, o manejo com aplicação de K no sulco de plantio proporcionou maior teor de K nas cepas do que as demais formas de manejo (Tabela 9). Já na cultivar IAC 576-70, o manejo com aplicação de K em pós-plantio resultou em maior teor de K nas cepas do que os demais manejos. Em relação as doses, nota-se que houve aumento linear no teor de K das cepas com o incremento da adubação potássica até (Figura 5b). Gazola, (2017) no seu 1º ano de cultivo, observou aumentos no teor K das cepas de mandioca de mesa até a dose estimada 110 kg ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 9- Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para os teores de K na cepa, extração e exportação de K pelas raízes tuberosas.

Teor de K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
Teor de K na cepa (g kg ⁻¹)		
0-K	5,8bB	6,7cA
40-K sulco	6,3abB	8,9aA
40-K pós plantio	6,8aB	8,1bA
Extração de K (kg ha ⁻¹)		
0-K	156,9cA	164,3cA
40-K sulco	193,3bB	223,7aA
40-K pós plantio	217,2aA	200,8bA
Exportação de K (kg ha ⁻¹)		
0-K	120,5cA	115,1bA
40-K sulco	140,8bB	160,6aA
40-K pós plantio	158,5aA	149,4aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05)

A extração e a exportação de K foram influenciadas pelos fatores manejo, dose e pela interação manejo x cultivar (Tabela 8). Na cultivar IAC 576-70, a extração de K pelas plantas foi maior no manejo com aplicação de K em pós plantio, seguida pelos tratamentos fertilizado com K no sulco de plantio e sem aplicação de K no plantio (Tabela 9). Na cultivar BRS 399, a maior extração de K ocorreu no tratamento com aplicação sulco de plantio, seguido pelos tratamentos que recebeu K em pós plantio e sem o fornecimento de K no momento do plantio. Apenas no tratamento fertilizado com K no sulco de plantio a cultivar BRS 399 extraiu mais K do que a cultivar IAC 576-70. Quanto ao efeito das doses, nota-se que a extração de K aumentou se ajustando ao modelo linear-platô com a dose máxima estimada em $30,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ (Figura 5d). Oliveira (1996), relata que a extração do K pela cultura cresce conforme se eleva a disponibilidade do nutriente no solo, os dados deste trabalho concordam com os resultados Howeler (1985a) e Cadavid (1988) que verificaram que a cultura de mandioca extraiu 92 e 76 kg ha^{-1} . Porém, neste estudo a extração de K atingiu $208,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K (Figura 5d).

A exportação de K pelas raízes da cultivar IAC 576-70 foi maior quando o K foi aplicado em pós plantio e menor quando não se aplicou K no momento do plantio. Porém, a aplicação de K no sulco de plantio resultou em valores de exportação intermediários entre as demais formas de manejo do K (Tabela 9). Na cultivar BRS 399 ambos os tratamentos fertilizados com K no momento do plantio (no sulco ou em pós plantio) exportaram mais K do que o manejo sem aplicação de K. No entanto, a aplicação de K no sulco de plantio proporcionou maior exportação de K pela cultivar BRS 399 do que pela cultivar IAC 576-70. Em relação a dose, verifica-se que houve um aumento na exportação de K pelas raízes da mandioca de forma linear-platô até a dose estimada de $31,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ (Figura 5e). Os valores de exportação de K descritos na literatura indicam variação conforme o material genético e as condições de cultivo. Lorenzi (1981) verificou exportação média de $32,5 \text{ kg ha}^{-1}$ em duas cultivares (IAC Mantiqueira e Branca), enquanto Cadavid (1988) relatou uma exportação de 47 kg ha^{-1} de K, ou seja, valores abaixo do encontrado nesta pesquisa, cuja exportação foi de no máximo $153,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 5e).

4.1.5 Tempo de cozimento e textura de raízes

O tempo de cozimento foi influenciado significativamente apenas pelo fator cultivar (Tabela 10). As raízes da cultivar BRS 399 demoraram mais tempo para cozinhar do que as raízes da cultivar IAC 576-70. Oliveira *et al.* (2005) determinaram o tempo de cozimento para a cultivar IAC 576-70 em 28 minutos, tempo esse, maior do que o estimado na presente pesquisa. O tempo de cozimento é um importante indicador da qualidade culinária, pois cultivares que atingem o ponto ideal de cozimento em um menor tempo tendem a apresentar um melhor padrão de massa cozida (IAC, 1983; Lorenzi, 1994). No entanto, essas características podem apresentar variações mesmo entre raízes de uma mesma cultivar, em decorrência de fatores como tipo de solo, da variedade cultivada e do estágio de desenvolvimento da planta (Borges *et al.* 1992; Fukuda e Borges, 1990, 1988; Borges e Fukuda, 1989).

Tabela 10- Tempo de cozimento e textura das raízes cozidas de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	Tempo de cozimento	Textura
	min	N
Cultivar (C)		
IAC 576-70	24,4b	1,4a
BRS 399	27,1a	1,4a
Manejo (M)		
0-K	25,3a	1,3a
40-K sulco	25,9a	1,4a
40-K pós plantio	26,3a	1,5a
Dose (D)		
0	26,6	1,4
25	25,6	1,4
50	25,6	1,3
100	25,4	1,4
Fonte de variação	Probabilidade de F	
Cultivar (C)	<0,001	NS
Manejo (M)	NS	NS
Dose (D)	NS	NS
C×M	NS	NS
C×D	NS	NS
M×D	NS	NS
C×M×D	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

A textura das raízes cozidas não foi influenciada pelos tratamentos estudados e variou de 1,3 a 1,5 N (Tabela 10). Padonou et al. (2005), em análise de 20 variedades colhidas aos 13-15 meses, indicaram firmeza na faixa de 0,87 a 2,13 N, ou seja, valores semelhantes ao observado neste estudo.

4.2 UBIRAJARA

4.2.1 Diagnose foliar

O teor de N na folha diagnose foi influenciado somente pelo fator manejo (Tabela 11). Observa-se que a adubação potássica em pós-plantio proporcionou maior teor foliar de N do que a aplicação de K no sulco de plantio ou quando não se aplicou K. Os teores de N nas folhas da mandioca estão dentro da faixa considerada como adequada (45 a 60 g kg^{-1}) para a cultura da mandioca (Feltran *et al.* 2022), o que indica que a adubação nutriu adequadamente as plantas. O K e o N, por serem os nutrientes exigidos em maiores quantidades pela cultura da mandioca desempenharam um papel importante nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, estando associados à síntese de compostos orgânicos, ao metabolismo fotossintético e ao acúmulo de biomassa, o que pode refletir em maior produtividade de raízes e amido (Mota, 2019).

Os teores foliares de P e S foram afetados apenas pelo fator cultivar (Tabela 11), tendo sido verificado maiores teores foliares na cultivar IAC 576-70 do que na cultivar BRS 399. O P desempenha um papel crucial na produção de mandioca, influenciando diretamente o desenvolvimento das raízes e o teor de amido, apesar de não ser extraído em grandes quantidades, sua presença em níveis adequados no solo é fundamental para otimizar a produção da cultura (Mattos, 2006). Os teores foliares de P e S encontrados no presente estudo estão acima da faixa determinada como adequada para a cultura da mandioca, que é de 2 a 5 g kg^{-1} de P e 3 a 4 g kg^{-1} de S (Feltran *et al.* 2022).

O teor de K na folha diagnose foi influenciado pelos fatores cultivar, manejo, dose e pela interação cultivar x manejo (Tabela 11). Para a cultivar IAC 576-70 houve aumento dos teores foliares de K com a aplicação do K em pós-plantio e no sulco de plantio em comparação ao tratamento sem K (Tabela 12). Já na cultivar BRS 399 nota-se que os maiores teores foliares de K ocorreram quando a adubação potássica foi aplicada no sulco de plantio, seguida dos tratamentos que receberam K em pós plantio e que não receberam K no momento do plantio (Tabela 12).

O aumento no teor foliar de K em resposta a adubação potássica de cobertura ajustou-se a uma equação linear-platô, sendo obtido o máximo teor foliar de K com a dose estimada de 25,2 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6). Segundo Ribeiro et al. (1999), os teores adequados de K nas folhas de mandioca estão dentro das faixas entre 13 a 20 g kg⁻¹ de K, mas Feltran *et al.* (2022) considera como adequada a faixa de 10 a 20 g kg⁻¹ de K. Neste estudo, os teores foliares de K mantiveram-se dentro da faixa considerada como adequada por Feltran *et al.* (2022), mesmo quando não se aplicou K em cobertura, reflexo dos teores médios de K no solo (Tabela 1). Quando a disponibilidade do K no solo é alta, associadas a condições ambientais favoráveis, as plantas podem absorver uma maior quantidade deste elemento, resultando em “consumo de luxo” de K (Fullin *et al.* 2007). Entretanto, concentrações excessivas de K podem comprometer o equilíbrio nutricional e provocar danos no desempenho da cultura (Silva e Trevizam, 2015).

Tabela 11- Teor de macronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Cultivar (C)						
IAC 576-70	43,8a	7,2a	17,2	19,2a	3,7a	5,1a
BRS 399	43,9a	6,2b	18,5	19,6a	3,8a	4,5b
Manejo (M)						
0-K	42,5b	6,5a	16,4	19,5a	3,7a	4,7a
40-K sulco	43,4b	6,7a	18,4	19,5a	3,8a	4,8a
40-K pós plantio	45,6a	6,9a	18,8	19,2a	3,9a	4,9a
Dose (D)						
0	44,1	6,9	16,9	19,3	3,8	4,8
25	43,9	6,8	18,1	19,4	3,8	4,8
50	43,1	6,4	18,5	19,2	3,8	4,7
100	44,3	6,6	17,9	19,7	3,7	5,1
Fonte de variação	Probabilidade de F					
Cultivar (C)	NS	0,008	<0,001	NS	NS	0,002
Manejo (M)	0,010	NS	< 0,001	NS	NS	NS
Dose (D)	NS	NS	0,004	NS	NS	NS
C×M	NS	NS	0,052	NS	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS

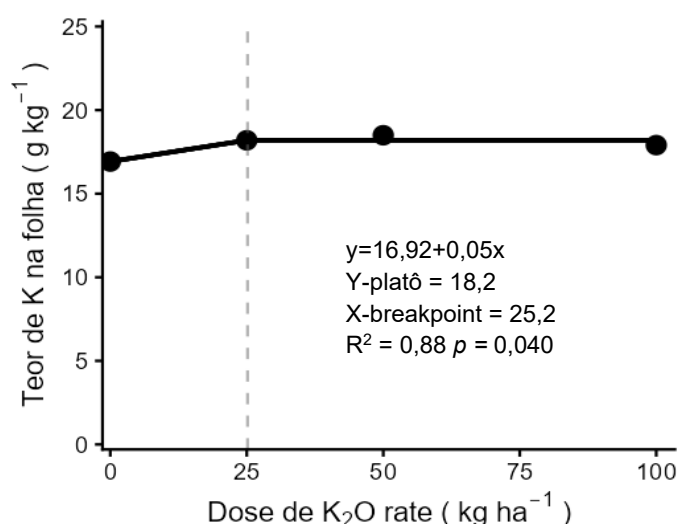
Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

Tabela 12- Desdobramento da interação cultivar × manejo para os teores de K na folha diagnose de cultivares de mandioca.

Manejo do K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
Teor de K na folha diagnóstica (g kg ⁻¹)		
0-K	15,6 bB	17,3 cA
40-K sulco	17,8 aB	19,8 aA
40-K pós plantio	18,3 aA	18,5 bA

Médias seguida de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

Figura 6- Teor de K e Ca na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. * p<0,05; ** p<0,01.



Os teores foliares de Ca e Mg não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 11). Os teores foliares de Ca permaneceram acima da faixa considerada como adequada para a cultura que é de 5 a 15 g kg⁻¹ de Ca (Feltran *et al.* 2022), mas por outro lado os teores foliares de Mg enquadraram-se dentro da faixa indicada para a cultura que é de 2 a 5 g kg⁻¹ de Mg (Feltran *et al.* 2022). O papel mais importante conhecido do magnésio é sua participação estrutural na molécula de clorofila, sendo que a metade do Mg presente nas folhas encontram-se nos cloroplastos (Malavolta, 1976). Em relação aos micronutrientes, não houve influência dos fatores estudados sobre os teores foliares de B e Fe, os quais foram em média 34,4 e 202,8 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 13). No estudo de Gazola (2017) no seu 1º ano de cultivo não houve influência da adubação potássica sobre os teores foliares de B, resultado semelhante ao encontrado

neste estudo. Contudo, os teores foliares de B na folha diagnose da mandioca no presente estudo ficaram dentro do intervalo considerado como adequado, que é de 15 a 50 mg kg⁻¹ de B (Feltran *et al.* 2022), enquanto os teores foliares de Fe ficaram levemente superior a faixa indicada como adequada que vai de 60 a 200 mg kg⁻¹ de Fe (Feltran *et al.* 2022).

Tabela 13- Teor de micronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Cultivar (C)					
IAC 576-70	31,7a	13,6b	199,3a	71,9b	73,6a
BRS 399	33,1a	14,9a	206,3a	99,2a	76,2a
Manejo (M)					
0-K	31,1a	14,4a	203,9a	83,5a	77,4a
40-K sulco	32,9a	14,2a	200,8a	86,1a	70,9b
40-K pós plantio	33,2a	14,1a	203,7a	87,2a	76,4a
Dose (D)					
0	32,3	14,5	206,0	86,9	75,9
25	32,1	14,3	206,1	87,7	74,5
50	32,9	14,1	202,6	85,2	75,6
100	32,4	14,0	196,6	82,6	73,6
Fonte de variação	Probabilidade de F				
Cultivar (C)	NS	0,015	NS	<0,001	NS
Manejo (M)	NS	NS	NS	NS	0,025
Dose (D)	NS	NS	NS	NS	NS
C×M	NS	NS	NS	NS	0,002
C×D	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

Os teores foliares de Cu e Mn foram influenciados significativamente somente pelo fator cultivar (Tabela 13). A cultivar BRS 399 apresentou maior teor foliar de Cu e Mn do que a cultivar IAC 576-70.

O Mn integra os processos fotossintéticos relacionados ao transporte de elétrons e contribui para a desintoxicação de radicais livres de oxigênio (Kirkby; Romheld, 2007). A interação com outros cátions, como potássio, também interfere em sua absorção, podendo estimular a absorção quando o Mn está em níveis reduzidos de disponibilidade (Fageria, 2000). Os teores foliares de Cu e Mn ficaram dentro da faixa considerada adequadas para a cultura da mandioca, ou seja, entre 5 a 25 mg kg⁻¹ de Cu e 25 a 100 mg kg⁻¹ de Mn, respectivamente (Feltran *et al.* 2022).

O teor foliar de Zn foi influenciado pelo fator manejo e pela interação cultivar x manejo (Tabela 13). Para a cultivar IAC 576-70 a aplicação de K no sulco de plantio aumentou o teor foliar de Zn em relação as demais formas de manejo (Tabela 14). Entretanto, na cultivar BRS 399 o maior teor foliar de Zn ocorreu no tratamento em que não se aplicou K no momento do plantio. Dessa forma, apenas no tratamento que recebeu aplicação de K no sulco de plantio o teor foliar de Zn da cultivar BRS 399 foi maior do que na cultivar IAC 576-70. Contudo, em todos os tratamentos o teor foliar de Zn se enquadrou dentro da faixa considerada adequada para cultura da mandioca que é de 35 a 100 mg kg⁻¹ de Zn (Feltran *et al.* 2022). O Zn desempenha um papel crucial no desenvolvimento das plantas, pois participa da síntese de triptofano, um composto que influencia a divisão celular, o crescimento, o uso eficiente da água e a absorção de nutrientes importantes, como N e K (Ferreira, 2014). Além disso, a absorção de Zn está relacionada à ocorrência de grupos funcionais como carboxílicos, fenólicos e hidroxílicos, comumente encontrados nas raízes da mandioca (Ezeonu *et al.* 2002).

Tabela 14- Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para o teor de Zn na folha diagnose de cultivares de mandioca.

Manejo de K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
	Teor de Zn na folha diagnóstica (mg kg ⁻¹)	
0-K	79,4bA	75,3aA
40-K sulco	69,9aB	82,9bA
40-K pós plantio	71,5bA	70,4bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05)

4.2.2 População final e altura de plantas, número total e comercial de raízes por planta, massa média de raízes e produtividade de raízes

A população final de plantas foi influenciada significativamente apenas pelo fator cultivar (Tabela 15), tendo sido observada uma maior população de plantas para a cultivar IAC 576-70 do que para a cultivar BRS 399. Essa diferença pode ser atribuída a características genéticas como vigor de brotação, velocidade de emergência e tolerância ao estresse inicial, fatores que variam entre cultivares de

mandioca e afetam diretamente a população final (Fukuda e Iglesias, 2002; Howeler, 2014).

A altura de plantas foi influenciada pelos fatores cultivar, manejo e pela interação M x D (Tabela 15). A altura da cultivar BRS 399 foi menor do que a da cultivar IAC 576-70. No entanto, apenas no manejo que recebeu K em pós-plantio, a adubação potássica de cobertura incrementou a altura das plantas até a dose estimada de 75 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 7a). Nas demais formas de manejo a adubação potássica de cobertura não alterou a altura das plantas de mandioca. Assim, apenas nas maiores doses de K aplicadas em cobertura à altura de plantas no tratamento que recebeu K em pós plantio foi maior do que nos demais manejos de K.

Tabela 15 - População final de plantas (POP), altura de plantas (AP), número total de raízes por planta (NTR), número comercial de raízes por planta (NCR), massa média total de raízes (MMTR), massa média de raízes comerciais (MMCR), produtividade total (PT) e produtividade comercial (PC) de cultivares de mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica.

Tratamentos	POP	AP	NTR	NCR	MMTR	MMCR	PT	PC
	pl ha ⁻¹	m	— raiz pl ⁻¹ —		— g —		— t ha ⁻¹ —	
Cultivar (C)								
IAC 576-70	10419,1a	2,98a	8,4b	3,5b	409,3a	689,2	34,3a	23,8b
BRS 399	9394,0b	2,42b	9,1a	4,7a	409,1a	619,8	34,7a	27,1a
Manejo (M)								
0-K	9921,8a	2,6	8,5b	3,8b	387,1b	635,3	31,8b	22,9b
40-K sulco	9630,7a	2,7	8,3b	4,1b	452,9a	712,4	34,8a	26,3a
40-K pós plantio	10151,5a	2,8	9,5a	4,5a	396,8b	615,8	36,9a	27,1a
Dose (D)								
0	9520,3	2,7	8,2	3,4	393,9	698,6	29,5	21,1
25	9772,8	2,7	8,9	4,3	423,1	667,7	35,6	26,7
50	10289,8	2,8	9,2	4,5	415,7	627,7	37,9	27,9
100	10037,9a	2,7	8,8	4,3	404,3	624,0	35,3	26,1
Fonte de variação	Probabilidade de F							
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,019	<0,001	NS	0,004	NS	<0,001
Manejo (M)	NS	<0,001	0,002	<0,001	0,006	0,003	<0,001	0,002
Dose (D)	NS	NS	NS	<0,001	NS	0,050	<0,001	<0,001
C×M	NS	NS	NS	NS	NS	0,020	NS	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	0,033	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

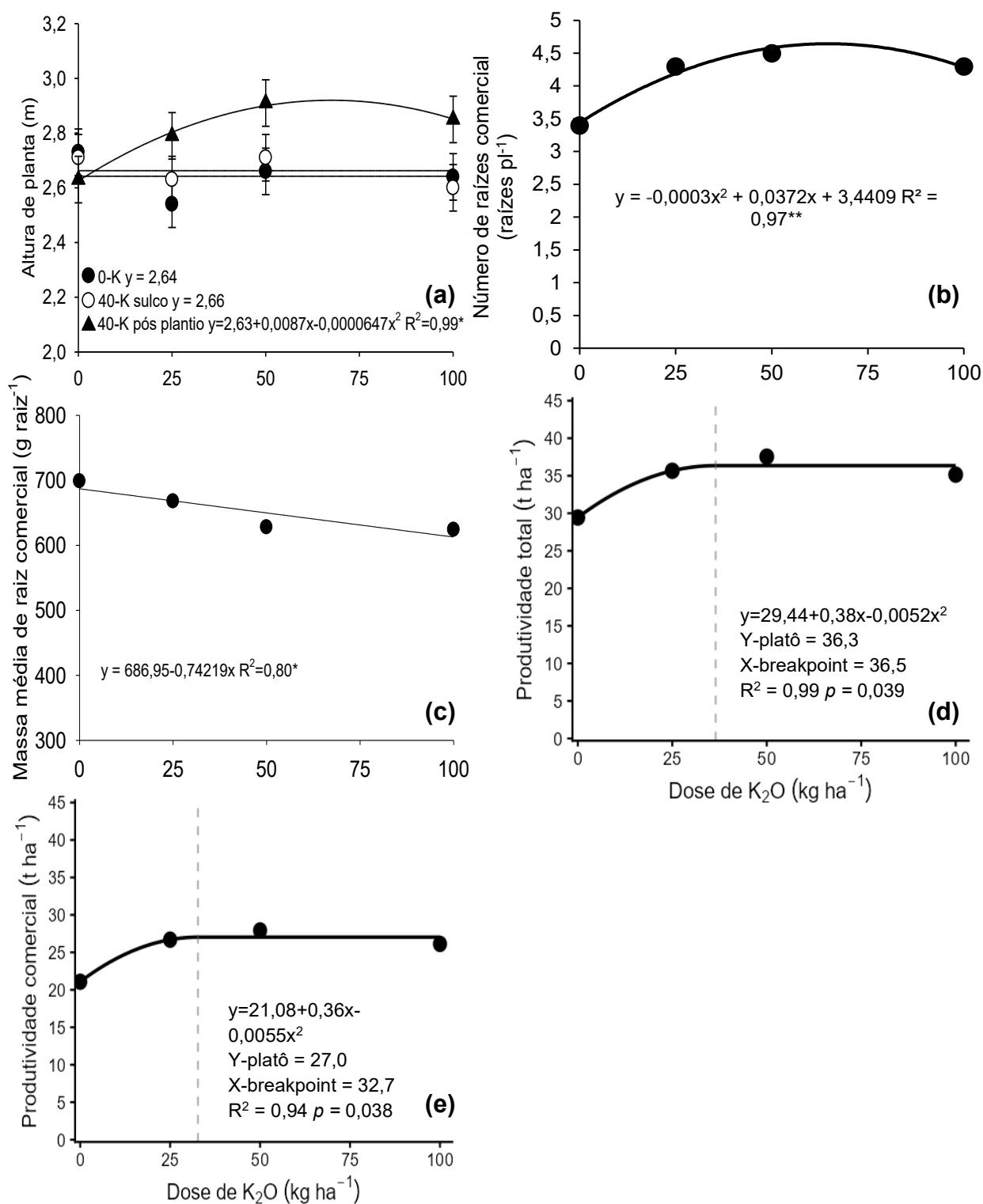
Tabela 16 - Desdobramento da interação cultivar × manejo de K para a massa média de raízes comerciais.

Manejo do K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
	Massa média de raízes comerciais (g raiz ⁻¹)	
0-K	713,0aA	557,5bB
40-K sulco	742,1aA	682,6aA
40-K pós plantio	612,5bA	619,1abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

O aumento na altura de plantas pode ser atribuído ao fato de o K ter um papel importante nos processos de crescimento das plantas. O crescimento das plantas envolve a produção de novas células e a expansão celular. O K facilita esses processos, influenciando positivamente a atividade enzimática necessária para o crescimento celular (Santos, 2025). Resultados semelhantes foram relatados Ros (2013) trabalhando com mandioca de mesa IAC 576-70. Esses autores verificaram que as doses de K₂O aumentaram a altura de plantas de mandioca até 2,0 m. Em experimento conduzido com diferentes níveis de adubação potássica em cana de açúcar, Flores *et al.* (2012) observaram incremento linear na altura das plantas à medida que aumentaram as doses de K aplicadas.

Figura 7 - Altura de plantas (a), número de raízes comerciais por planta (b), massa média de raízes comerciais (c), produtividade total de raízes (d) e produtividade comercial de raízes (e) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$).



O número total de raízes por planta foi influenciado pelos fatores cultivar e manejo, enquanto o número de raízes comerciais sofreu influências apenas dos fatores principais (Tabela 15). A cultivar BRS 399 apresentou número total e comercial de raízes por planta maior comparado a cultivar IAC 576-70. Além disso, independentemente da cultivar, o manejo com aplicação de K em pós-plantio resultou em maior número total e comercial de raízes por planta do que os tratamentos que receberam K no sulco de plantio ou não receberam K no plantio. Estudos demonstram que o fornecimento de K pode elevar o número de raízes tuberosas por planta. Uwah *et al.* (2013) observaram média entre 8,2 e 8,6 raízes por planta com a dose de $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, enquanto Figueiredo (2014) verificou de 9 a 10 raízes por planta para a cultivar IAC 576-70 sob diferentes sistemas de manejos de solo. Assim, como Pushpalatha *et al.* (2017), com média de 9,0 de raiz por planta ao aplicarem doses de 100 kg ha^{-1} de K_2O . O número de raízes é utilizado como parâmetro para avaliação do padrão de qualidade, além de fornecer boas estimativas de produtividade da cultura. Nesse sentido, o suprimento de K mostrou-se associado ao aumento do padrão de qualidade das raízes.

O número de raízes comerciais aumentou com a adubação potássica até a dose estimada de $62,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 7b). Resultados semelhantes foram relatados por El-Baky *et al.* (2010), em estudos com batata-doce nos quais verificou-se em média 2,78 a 5,43 raízes comerciais por planta com aplicação de doses de 69 e 138 kg ha^{-1} de K_2O . De modo geral, doses adequadas de K favorecem o enchimento de raízes tuberosas, ao estimular a síntese e a translocação de carboidratos, além de potencializar a absorção de N e o incremento na produção de raízes comerciais (FILGUEIRA, 2008). A nutrição adequada, especialmente no início do desenvolvimento da mandioca, é fundamental para determinar o número de raízes tuberosas, que é definido nos primeiros 120 DAP, conforme apontam Lorenzi (2003) e Sousa (2014).

A massa média total de raízes foi influenciada significativamente apenas pelo fator manejo (Tabela 15). O tratamento em que a adubação potássica foi aplicada no sulco de plantio apresentou raízes com maior massa média total do que os demais manejos da adubação potássica de plantio. Já a massa média de raízes comerciais foi afetada pelos fatores cultivar, manejo, dose e pela interação cultivar $\times$ manejo (Tabela 15). Na cultivar IAC 576-70 o manejo com aplicação de K em pós plantio diminuiu a massa média de raízes comerciais em comparação

aos outros tratamentos, enquanto na cultivar BRS 399 a aplicação de K no sulco de plantio aumentou a massa média comercial das raízes em comparação ao tratamento sem K na adubação de base (Tabela 16). Assim, quando não houve aplicação de K no plantio a cultivar IAC 576-70 apresentou raízes com maior massa média comercial do que a cultivar BRS 399, mas quando o K foi aplicado no sulco ou em pós plantio a massa média das raízes comerciais não diferiu entre ambas cultivares. O K desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de raízes tuberosas, promovendo a síntese e o transporte de carboidratos para as raízes, o que favorece o acúmulo de amido e aumenta o peso das raízes (Prajapati; Modi, 2012). Com relação a adubação potássica de cobertura, verificou-se que o aumento nas doses de K diminuiu linearmente a massa média das raízes comerciais, possivelmente devido ao fato do suprimento de K ter aumentado o número de raízes comerciais por planta, o que gerou um certo equilíbrio por parte das plantas (Figuras 7b e 7c).

A produtividade total de raízes foi influenciada pelos fatores manejo e dose (Tabela 15). Observa-se que os tratamentos que receberam adubação potássica em pós-plantio e no sulco de plantio não diferiram significativamente quanto a produtividade total, mas produziam mais do que o tratamento que não recebeu K no momento do plantio. Esses resultados indicam que a aplicação de K no início do desenvolvimento das plantas de mandioca é fundamental para aumentar a produtividade dessa cultura. Para o fator dose, nota-se que houve um ajuste quadrático-platô para a produtividade total da mandioca, havendo aumento até a dose estimada de $36,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 7c). Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves *et al.* (2018) que obtiveram incremento na produtividade de raízes de mandioca com o acréscimo de K ao solo até a dose estimada de $70 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$. Nascimento (2025) avaliando fontes alternativas de K potássio para produção sustentável de mandioca, também observaram aumento de produtividade com a adubação potássica até a dose estimada de 106 kg ha^{-1} de K_2O , valor superior ao encontrado no presente estudo.

A produtividade comercial foi influenciada significativamente pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 15). A cultivar BRS 399 apresentou produtividade comercial maior em comparação a cultivar IAC 576-70. Em relação ao manejo, independente da cultivar, a aplicação de K em sulco de plantio e em pós-plantio não diferiram entre si; contudo, apresentaram valores maiores de produtividade, já o tratamento sem aplicação de K demonstrou valores menores. Para o fator dose, observou-se um ajuste quadrático-platô para os dados, havendo aumento na produtividade comercial até a dose ótima estimada $27,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 7d). Dias *et al.* (1997) relatam que, solos que apresentam disponibilidade de K^+ trocável superiores a $1,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$, é indicada a aplicação de $20 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$. No entanto, considerando que o potássio é facilmente lixiviado em solos arenosos quando comparado a solos com maiores teores de argila (Werle, 2008), a utilização de doses mais elevadas, associadas ao parcelamento da adubação potássica aplicadas em cobertura, pode favorecer o aumento da produtividade da mandioca, devido ser uma cultura de ciclo longo e apresentar crescimento lento.

4.2.3 Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes e na planta inteira

O acúmulo de MS na parte aérea e nas raízes foi influenciado pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 17). A cultivar BRS 399 apresentou maior acúmulo de MS na parte aérea do que a cultivar IAC 576-70, mas nas raízes tuberosas o acúmulo de MS na cultivar IAC 576-70 foi maior. A adubação potássica em pós-plantio resultou em maior acúmulo de MS na parte aérea em comparação as demais formas de manejo do K. Porém, nas raízes tuberosas ambos os manejos que receberam K na fase inicial da cultura (no sulco ou em pós plantio) apresentaram maior acúmulo de MS do que o tratamento sem fornecimento de K na fase inicial da cultura.

Tabela 17- Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função da adubação potássica.

Tratamentos	Acúmulo de matéria seca (t ha ⁻¹)			
	Parte aérea	Cepas	Raízes	Planta inteira
Cultivar (C)				
IAC 576-70	9,3b	4,1	16,1a	29,4
BRS 399	10,9a	2,6	13,9b	27,3
Manejo (M)				
0-K	9,6b	3,3	13,7b	26,5
40-K sulco	9,8b	3,5	15,1a	28,5
40-K pós plantio	10,9a	3,2	16,0a	30,1
Dose (D)				
0	9,1	2,9	12,7	24,8
25	10,8	3,4	15,4	29,6
50	10,6	3,7	16,9	31,2
100	9,9	3,1	14,9	27,9
Fonte de variação	Probabilidade de F			
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Manejo (M)	0,007	NS	0,002	<0,001
Dose (D)	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
C×M	NS	<0,001	NS	0,002
C×D	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

A adubação potássica de cobertura aumentou de forma quadrática do acúmulo de MS na parte aérea e nas raízes tuberosas até a dose estimada de 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Figuras 8a e 8c). Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento (2025) que obteve acúmulo de MS na parte aérea até a dose estimada de 77,2 kg ha⁻¹ de K₂O. Em mandioca, o aumento da área foliar está diretamente relacionado à maior produtividade de raízes de reserva, evidenciando a importância desse componente na determinação da taxa de crescimento da planta e na formação das raízes tuberosas (Cock *et al.* 1979; Alves, 2006). Em estudo feito por Gazola (2017), foi obtido aumento no acúmulo de MS nas raízes tuberosas até a dose estimada de 96 kg ha⁻¹ de K₂O.

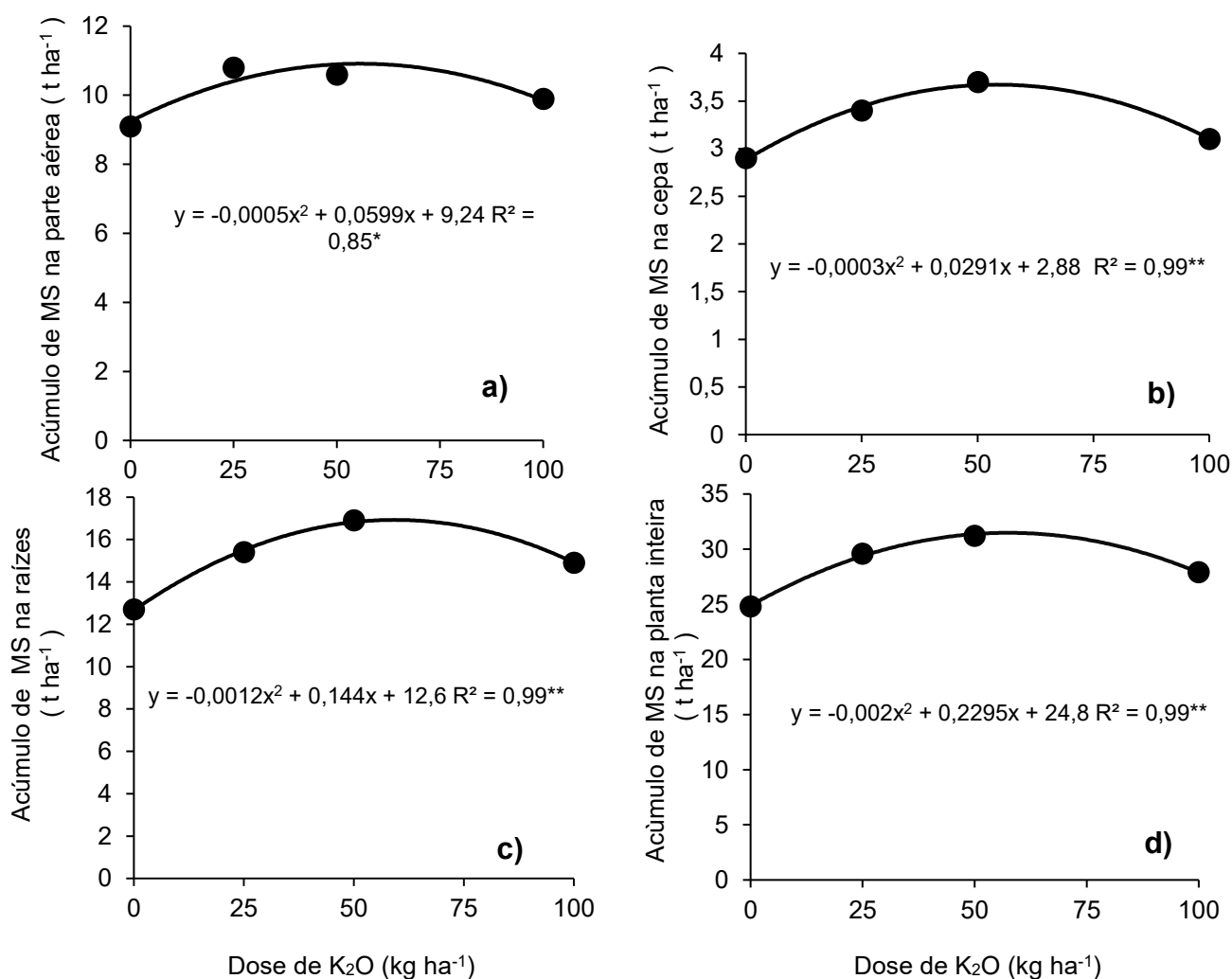
O acúmulo de MS nas cepas e na planta inteira foi influenciado pelos fatores principais e pela interação cultivar x manejo (Tabela 17). Na cultivar IAC 576-70 o manejo com aplicação de K no sulco de plantio proporcionou acúmulo de MS nas cepas maior do que nas demais formas de manejo, mas na cultivar BRS 399 as formas de manejo do K na fase inicial da cultura não alteraram o acúmulo de MS nas cepas (Tabela 18).

Tabela 18- Desdobramento da interação cultivar × manejo para os acúmulos de MS nas cepas e na planta inteira de cultivares de mandioca.

Manejo de K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
Acúmulo de MS nas cepas (t ha ⁻¹)		
0-K	3,9bA	2,6aB
40-K sulco	4,6aA	2,3aB
40-K pós plantio	3,6bA	2,7aB
Acúmulo de MS na planta inteira (t ha ⁻¹)		
0-K	27,9bA	25,2bB
40-K sulco	30,8aA	30,7aA
40-K pós plantio	29,4abA	30,7aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Figura 8- Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea (a), cepas (b), raízes tuberosas (c) e na planta inteira (d) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.



Independentemente da forma de manejo a cultivar IAC 576-70 acumulou mais MS nas cepas do que a cultivar BRS 399 (Tabela 18). Os tratamentos que receberam K na fase inicial da cultura proporcionaram maior acúmulo de MS na planta inteira da cultivar BRS 399 do que o tratamento sem K no início do ciclo, enquanto na cultivar IAC 576-70 apenas o tratamento com aplicação de K no sulco de plantio apresentou acúmulo de MS na planta inteira superior ao tratamento sem K na fase inicial da cultura. Destaca-se que apenas no manejo sem aplicação de K na fase inicial da cultura a cultivar IAC 576-70 acumulou maior quantidade de MS na planta inteira do que a cultivar BRS 399.

Quanto ao fator dose, observa-se que houve um aumento de forma quadrática no acúmulo de MS nas cepas até a dose estimada de 48,5 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto na planta inteira o acúmulo de MS aumentou até a dose estimada de 57,4 kg ha⁻¹ de K₂O (Figuras 8b e 8d). Gazola (2017), verificaram maior acúmulo de MS nas cepas da mandioca até a dose estimada de 180 kg ha⁻¹ de K₂O, resultados superiores ao encontrado no presente estudo. Entretanto, Boerboom (1978) e Veltkamp (1985) citam que a distribuição de MS entre as diferentes partes da mandioca tende a manter-se estável ao longo do ciclo da cultura. Esse comportamento pode explicar a menor sensibilidade dessa variável ao manejo de K em ambas as cultivares estudadas.

Resultados obtidos por Nayar *et al.* (1985) indicam haver aumento no acúmulo de MS total da planta inteira com aplicação de K até a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Nascimento (2025) observou maior acúmulo de MS na planta inteira até a dose 107 kg ha⁻¹ de K₂O. Ambos os valores obtidos pelos autores supracitados são superiores aos encontrados no presente estudo. Contudo, o K desempenha papel central no crescimento e na alocação de fotoassimilados, influenciando diretamente a acumulação de biomassa em toda a planta, como já destacado por Boerboom (1978) e Veltkamp (1985).

4.2.4 Teor de K na parte aérea, cepas e raízes, extração de K pelas plantas e exportação de K pelas raízes

O teor de K na parte aérea foi influenciado significativamente pelos fatores cultivar, manejo, dose e pela interação cultivar x manejo (Tabela 19). A cultivar BRS 399 apresentou uma redução de teor de K na parte aérea a medida em que

o K foi aplicado K no sulco de plantio ou em pós plantio (Tabela 20). Já na cultivar IAC 576-70 a aplicação de K no sulco de plantio e em pós-plantio aumentou os teores de K na parte aérea em relação ao manejo sem K no plantio. Para o fator dose, observa-se que a adubação potássica de cobertura aumentou de forma linear do teor de K na parte aérea das plantas (Figura 9a).

Tabela 19- Teor de K na parte aérea, cepas e raízes tuberosas, extração e exportação de K pelas raízes de duas cultivares de mandioca em função da adubação potássica.

Tratamentos	Teor de K nas partes da planta			Extração de K	Exportação de K
	Parte aérea	cepa	Raízes		
	g kg ⁻¹				
Cultivar (C)					
IAC 576-70	10,4	6,7b	9,1b	253,4	147,3a
BRS 399	7,7	8,3a	10,6a	272,2	148,1a
Manejo (M)					
0-K	8,5	7,4	9,3b	239,3	126,6b
40-K sulco	9,3	7,7	10,2a	261,78	153,2a
40-K pós plantio	9,4	7,5	10a	286,4	162,6a
Dose (D)					
0	8,4	7,1	8,9	208,9	112,7
25	8,9	7,6	9,8	270,7	150,4
50	9,4	7,5	10,2	297,6	172,0
100	9,6	7,9	10,5	275,2	156,7
Fonte de variação	Probabilidade de F				
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	0,026	NS
Manejo (M)	0,014	NS	0,003	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,005	0,040	<0,001	<0,001	<0,001
C×M	<0,001	NS	NS	0,002	NS
C×D	NS	NS	NS	NS	NS
M×D	NS	NS	NS	NS	NS
C×M×D	NS	NS	NS	NS	NS

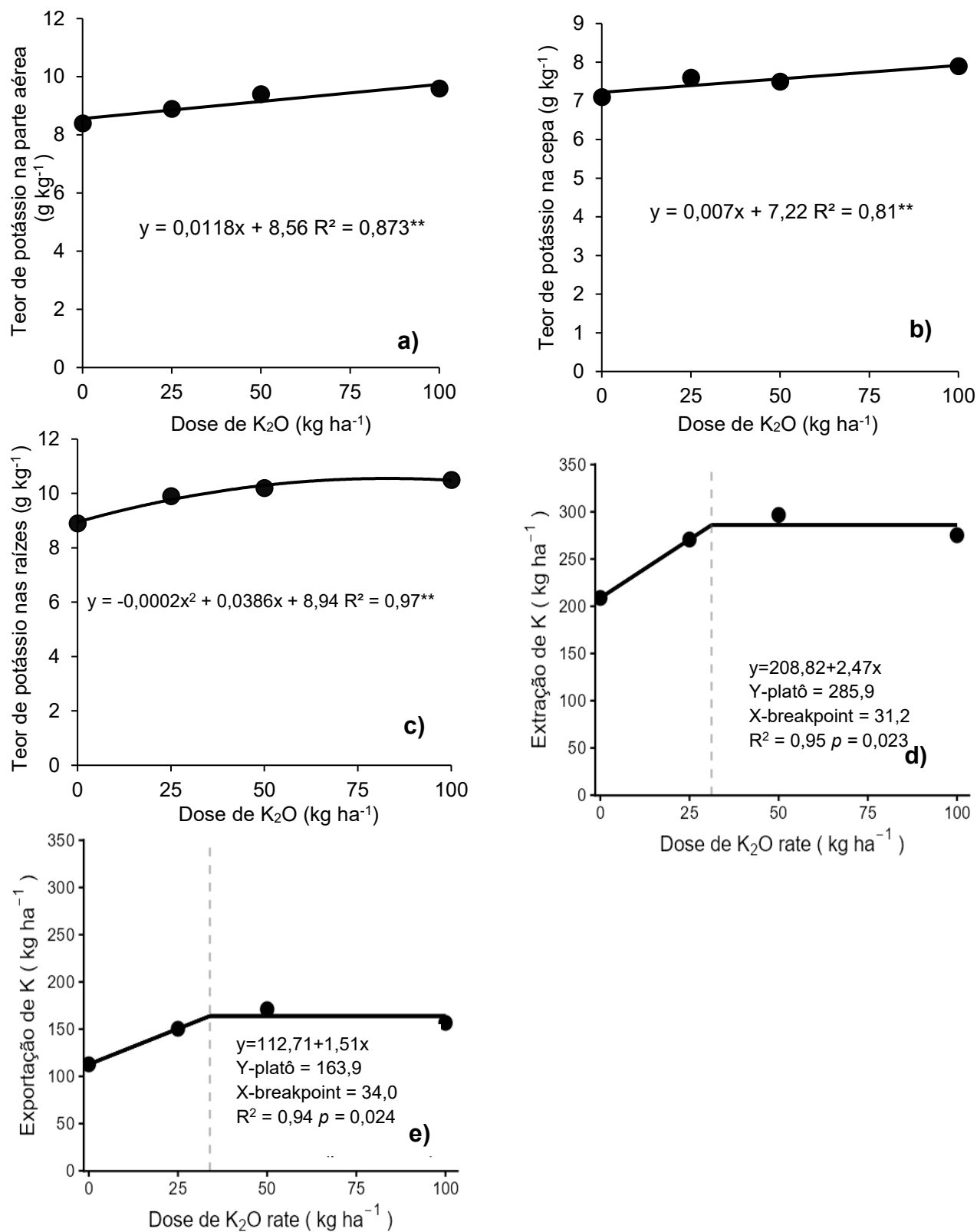
Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Tabela 20 - Desdobramento da interação cultivar × manejo para o teor de K na parte aérea e os acúmulos de K na planta inteira de cultivares de mandioca.

Manejo de K	Cultivares	
	IAC 576-70	BRS 399
	Teor de K na parte aérea (g kg ⁻¹)	
0-K	9,5bA	9,1aA
40-K sulco	10,9aA	7,9bB
40-K pós plantio	10,9aA	6,1cB
	Extração de K na planta inteira (kg ha ⁻¹)	
0-K	239,3bA	239,3bA
40-K sulco	292,1aA	231,4bB
40-K pós plantio	283,2aA	289,6aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Figura 9 - Teor de K na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c), extração de K pelas plantas (d) e exportação de K pelas raízes (e) de cultivares de mandioca em resposta a adubação potássica de cobertura. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.



O teor de K nas cepas foi influenciado apenas pelos fatores cultivar e dose (Tabela 19). Na cultivar BRS 399 o teor de K nas cepas foi maior do que na cultivar IAC 576-70. No entanto, as doses de K aplicadas em cobertura aumentaram de forma linear do teor de K nas cepas das plantas de mandioca (Figura 9b).

O teor de K nas raízes tuberosas foi influenciado significativamente pelos fatores cultivar, manejo e dose (Tabela 19). A cultivar BRS 399 apresentou maior teor de K nas raízes do que a cultivar IAC 576-70. Os manejos com aplicação de K no sulco de plantio e em pós-plantio tiveram teores similares de K nas raízes, mas ambos os manejos apresentaram teores de K maiores do que no tratamento sem K no plantio. Com relação as doses, verifica-se que a adubação potássica de cobertura aumentou de forma quadrática o teor de K nas raízes tuberosas até a dose estimada de 96,5 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9c).

A extração de K na planta inteira foi influenciada significativamente pelos fatores principais e pela interação cultivar x manejo (Tabela 19). Na cultivar IAC 576-70 a aplicação de K no sulco de plantio e em pós-plantio aumentou a extração de K pelas plantas em comparação ao tratamento sem aplicação de K. Em contraste, para a cultivar BRS 399, apenas o manejo com aplicação de K em pós-plantio aumentou a extração de K pelas plantas em comparação aos demais manejos estudados. Nota-se que apenas quando o K foi aplicado no sulco de plantio a cultivar IAC 576-70 extraiu mais K do solo do que a cultivar BRS 399. Quanto à adubação potássica de cobertura, nota-se que ocorreu um aumento na extração de K pelas plantas de mandioca até a dose estimada de 31,2 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9d). De acordo com Umeh *et al.* (2014) a aplicação de K aumenta o teor de K nos tecidos vegetais fazendo com que haja uma maior extração deste nutriente. Cadavid *et al.* (1988) relataram que a cultura de mandioca extrai 76 kg ha⁻¹ de K, resultados semelhantes ao encontrado no presente estudo.

A exportação de K pelas raízes foi influenciada pelos fatores manejo e dose (Tabela 19). Independente da cultivar, os manejos que receberam aplicação de K no sulco de plantio e em pós-plantio apresentaram valores de exportação de K similares; porém, maiores do que os observados no manejo sem aplicação de K. Por outro lado, a adubação potássica de cobertura aumentou a exportação de K pelas raízes até a dose estimada de 34,0 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9e). Resultados semelhantes foram observados por Howeler (2014), que, a partir da análise de 15 estudos, concluiu que, em média, 56,2% do K total da planta residia nas raízes

tuberosas. O alto teor de K nas raízes tuberosas da mandioca significa que grandes quantidades de K são exportadas do campo com o produto colhido. Howeler (1991b), indica que, para a produção de 35,7 t ha⁻¹ de raízes tuberosas a cultura pode chegar a exportar 112 kg ha⁻¹ de K.

4.2.5 Tempo de cozimento e textura de raízes

O tempo de cozimento foi influenciado pelos fatores cultivar e manejo (Tabela 21). A cultivar BRS 399 apresentou tempo de cozimento maior do que a cultivar IAC 576-70, o que indica que as raízes da cultivar IAC 576-70 cozinham mais fácil. O manejo da adubação potássica com aplicação no sulco de plantio aumentou o tempo de cozimento em relação aos demais manejo, o que não é interessante do ponto de vista culinário.

Tabela 21 - Tempo de cozimento e textura das raízes cozidas de duas cultivares de mandioca.

Tratamentos	Tempo de cozimento	Textura cozida
	min	N
Cultivar (C)		
IAC 576-70	24,3b	1,5a
BRS 399	26,6a	1,5a
Manejo (M)		
0-K	24,4b	1,5a
40-K sulco	26,7a	1,5a
40-K pós plantio	25,3b	1,5a
Dose (D)		
0	25,4	1,4
25	25,6	1,5
50	25,7	1,4
100	25,2	1,5
Fonte de variação	Probabilidade de F	
Cultivar (C)	<0,001	NS
Manejo (M)	<0,001	NS
Dose (D)	NS	NS
C×M	NS	NS
C×D	NS	NS
M×D	NS	NS
C×M×D	NS	NS

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste LSD (p<0,05).

A literatura indica que o tempo de cozimento pode variar conforme a época de colheita, a região de cultivo e o genótipo avaliado (Vitor *et al.* 2015; Oliveira *et al.* 2010; Vieira *et al.* 2009; Lorenzi, 1994; Padri *et al.* 2018). Resultados semelhantes foram observados por Talma *et al.* (2013) em estudos com mandiocas de mesa, nos quais foram obtidos tempos de cozimento entre 17 a 30 minutos. Estudos com diferentes cultivares de mandioca tem relatado variações no tempo de cozimento das raízes tuberosas entre 25,8 e 52 minutos (Rimoldi *et al.* 2006; Lorenzi *et al.* 1994; Mezette *et al.* 2009). Assim, os resultados obtidos na presente análise encontram-se dentro do intervalo descrito por Wheatley e Gomes (1987), que definem como padrão de qualidade culinária da mandioca de mesa o tempo de cozimento variando entre 15 e 30 minutos.

Apesar das cultivares e do manejo da adubação de plantio terem afetado o tempo de cozimento das raízes não se verificou influência de nenhum dos fatores estudados sobre a textura das raízes cozidas (Tabela 21). Esses resultados indicam que apesar de ter havido diferenças no tempo de cozimento, as raízes cozidas apresentaram um padrão similar de textura, ou seja, não houve tratamento em que as raízes ficassem mais duras, o que não é uma característica interessante do ponto de vista culinário.

4 CONCLUSÃO

A cultivar IAC 576-70 apresentou maior produtividade comercial na área de São Manuel e a cultivar BRS 399 apresentou melhor desempenho na área de Ubirajara.

Mesmo em solo com médio teor inicial de K, a ausência da adubação potássica de plantio (em sulco ou em pós plantio) diminuiu a produtividade comercial da mandioca de mesa em ambos os locais de cultivo. A aplicação de K em pós plantio pode substituir a aplicação de K no sulco de plantio sem comprometer a produtividade comercial da mandioca de mesa cultivada em solo arenoso com média disponibilidade inicial de K. Em solo com média disponibilidade inicial de K, a adubação potássica de cobertura aumentou entre 28 e 70% a produtividade comercial até a dose de 32,7 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto o aumento na produtividade total foi de 23–25% até doses entre 31,9 e 36,5 kg ha⁻¹ de K₂O.

A extração máxima de K pelas plantas de mandioca foi de 208–286 kg ha⁻¹ de K com doses entre 30,6 e 31,2 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura, enquanto a exportação máxima de K foi de 153–164 kg ha⁻¹ de K com doses entre 32 e 34 kg ha⁻¹ de K₂O.

Em ambas as áreas de cultivo a adubação potássica de cobertura influenciou a qualidade das raízes tuberosas, sendo a cultivar IAC 576-70 apresentou um menor tempo de cozimento em comparação a BRS 399. Mesmo com diferenças no tempo de cozimento, as raízes apresentaram textura semelhante após o cozimento.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: SOUZA, L. S. FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2006. p.138-169.

Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 1ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022, v.1, p. 321-324.

BRITO CH; OLIVEIRA AP; ALVES AU; DORNELES CSM; SANTOS JF; NÓBREGA JPR. Produtividade da batata-doce em função de doses de K₂O em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p.320-323, 2006.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (eds). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: **PATAFÓS**, 1993. p. 63-145.

CARDOSO JÚNIOR, N.S.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO F.M. Efeito do nitrogênio em características agrônômicas da mandioca. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.651-659, 2005.

CADAVID, L.F.; Respuesta de la yucca (*Manihot esculenta* Cratz) a la aplicacion de NPK en suelos con diferentes características. 1988. Monograph, **Universidade Nacional de Colombia**, Palmira, 1988.

CEBALLOS, H. ET AL. Mejoramiento Genetico de la Yuca. In: CEBALLOS, H. (Eds.). La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de produccion, procesamiento, utilization y comercializacion. Call: **CIAT**, 2002. p. 295-325.

CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Programa Hortiescolha: Mandioca**. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/mandioca/>.

Chua, M.F.; Youbee, L.; Oudthachit, S.; Khanthavong, P.; Veneklaas, E.J.; Malik, A.I. Potassium fertilisation is required to sustain cassava yield and soil fertility. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1103, 2020.

COSTA, R.M. Produtividade da mandioca em resposta ao espaçamento e adubação de cobertura potássica no Brejo Paraibano. Monografia (**Universidade Federal da Paraíba-Centro de Ciências Agrárias**). Areia-PB. 2018. 33p.

CORRÊA, C. V. Produção e qualidade de batata-doce em função das doses e parcelamento da adubação potássica. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de **Agronomia, Horticultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, Botucatu, 2016.

COCK, J. H.; FRANKLIN, D.; SANDOVAL, G.; JURI, P. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, v. 19, p. 271-279, 1979.

COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. **Soil Science**, v. 101, n. 4, p. 230 – 239, 1966.

DIAS, C. A. C. et al. Mandioca. In: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Manual técnico das culturas**: tomo I cereais, fibrosas, leguminosas, oleaginosas, raízes e tubérculos, plantas tropicais, sacarinas. 2. ed. Campinas: CATI/SAA, 1997. p. 369-398.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. BRS 399: nova cultivar de mandioca de mesa, de polpa amarela, para o Paraná e o Mato Grosso do Sul. 2014. Folder. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118903/1/B399.pdf>. Acesso em: 20/08/2024.

Ezeonu, F. C.; Musa, A.; Udedi, S. C.; Edeogu, O. C. Iron and Zinc status in soils, water and staple food cultivars in Itakpe, Kogi State of Nigeria. **The Environmentalist** 2002, 22, 237.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Crops. Roma, 20014. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Feltran, J.C.; Peressin, V.A.; Lorenzi, J.O.; Aguiar, E.B. Mandioca de mesa (*Manihot esculenta*). In: Cantarella, H.; Quaggio, J.Á.; Mattos Jr., D.; Boaretto, R.M.; van Raij, B. (eds).

FERNANDES, A. M. et al. Yield and nutritional requirements of cassava in response to potassium fertilizer in the second cycle. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 20, p. 2785-2796, 2017.

FERREIRA, N. R. Eficiência agrônômica de fertilizantes Organominerais sólidos e fluidos em relação à Disponibilidade de fósforo. 2014. 2012. 78f. Dissertação (Mestrado) – **Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2014.

FIALHO, J.F.; VIEIRA, E.A. **Mandioca no cerrado: orientações técnicas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 208p.

FIGUEIREDO, M. A.; PASQUAL, M.; ARAUJO, A.G.; JUNQUEIRA, K.P.; SANTOS, F.C.; RODRIGUES, V.A. Fontes de potássio no crescimento in vitro de plantas de orquídea *Cattleya loddigesii*. *Ciência Rural*, v.38, n.1, p.255-257, 2008.

FILHO, W. P.; SILVEIRA, S. R. Cultura da mandioca. **Departamento técnico Emater MG**, 2012.

FREITAS, M. S. M.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. C.; VASCONCELOS, M. S. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33 (40): 1329-1341. 2011.

FAOSTAT, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> . Acesso em Abr 2023.

Fullin, E.A., Muner, L.H., Dadalto, G.G., Prezotti, L.C. (2007) Adubos e deficiência das adubações. In: Prezotti, L.C., Gomes, J. A., Dadalto, G.G., Oliveira, J.A. de. **Manual de Recomendação de calagem e aduabação para o estado do Espírito Santo- 5ª aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, p. 43-69.

FUKUDA, W.M. G et al. Variabilidade genética e melhoramento da mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz): manejo, conservação e caracterização. Cruz das Almas: **EMBRAPA**, 1996.

GAZOLA, B. Produtividade e cozimento da mandioca cultivar iac 576-70 em resposta à adubação potássica em solo arenoso. Dissertação (mestrado)- **Universidade estadual Paulista faculdade de ciências agrônômicas**, Botucatu, 2017.

GAZOLA, B.; FERNANDES, A.M.; HELLMEISTER, G.; ABRAMI, L.S.; SILVA, R.M.; SORATTO, R.P. Potassium management effects on yield and quality of cassava varieties in tropical sandy soils. **Crop & Pasture Science**, v. 73, p. 285-299, 2022.

GONZAGA, R. L. et al. Doses de adubação potássica na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na região de Cassilândia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA**, 11, 2005. Campo Grande, MS. Anais... Sociedade Brasileira de Mandioca, 2005. 1 CD-Rom.

Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M.; Nahar, K.; Hossain, M.S.; Mahmud, J.A.; Hossen, M.S. Potassium: **A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses**. *Agronomy* 2018, 8, 31

HOWELER, R. H. Práticas culturais relacionadas ao solo na cultura de mandioca. In: **SEMINÁRIO DE PRÁTICAS CULTURAIS DA MANDIOCA**, 1., 1980, Salvador, BA. Anais... Brasília: Embrapa-DDT, 1984. p. 95-112.

HOWELER, R.H.; Mineral nutrition and fertilization of cassava. In Cassava; Research, production and Utilization. **Anais... UNDP-CIAT Cassava Program**, Cali, Colombia, pp. 249-320, 1985a.

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. **Field Crops Research**, v. 7, p.123-139, 1983.

HOWELER, R.H. Effect of cassava production on soil fertility and the long-term fertilizer requirements to maintain high yields. In: **The Cassava Handbook: A Reference Manual Based on the Asian Regional Cassava Training Course, Held in Thailand**;

Howeler, R.H. (eds). **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**: Bangkok, Thailand, p. 411–428. 2012.

HOWELER, R.H.; Sustainable soil and crop management of cassava in Asia: a reference manual. **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**: Cali, Colômbia, 2014; p. 280.

IBGE. Produção Agrícola Municipal 2020. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2021.

KIRKBY, E. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. v.3, p. 3-5. 2012.

LEONEL, M.; FELTRAN, J. C.; AGUIAR, E. B.; FERNANDES, A. M.; PERESSIN, V. A.; BICUDO, A. J. Mandioca (Manihot esculenta Crantz). In:

LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. (coord.). Culturas amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa. Botucatu: **CERAT/UNESP**, 2015. p. 183- 326.

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Exigências de macronutrientes de dois cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 37, p. 443-462, 1981.

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Exigências de macronutrientes de dois cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 37, p. 443-462, 1981.

LORENZI, J. O.; VALLE, T. L.; MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A.; KANTHACK, R.A. D. Variedades de mandioca para o Estado de São Paulo. **Instituto Agrônomo, Boletim técnico**, Campinas, n. 162, 1996b. 23 p.

LORENZI, J.O. Variação na qualidade culinária de raízes de mandioca. **Bragantia**, Campinas, p. 237-245, 1994.

LORENZI, J. O.; OTSUBO, A. A., MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. S. Aspectos fitotécnicos da mandioca em Mato Grosso do Sul. In: Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul. **Anais...** Dourados/Campo Grande: **EMBRAPA Agropecuária Oeste/UNIDERP**. p. 77-108. 2002.

MAEDA, M.; DIP, T.M. Curvas de porcentagem mássica de água versus peso específico em vegetais in natura – Otimização de processos industriais pela seleção via teste da matéria-prima. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20 n.3, p. 309-313, 2000.

Marchesi, D.R.; Pola, A.C.; Nunes, E.C. Manejo e tratos culturais. In: Nunes, E.C.; Peruch, L.A.M. (eds). **Recomendações técnicas para a produção de**

mandioca de indústria e mesa em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, p. 29-45. 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Potafós**, 319p, 1997.

MEHDI, S. M.; SARFRAZ, M.; HAFEEZ, M. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.10, p. 2935-2939, 2007.

MORAES, G. A. F.; MENEZES, N. L., Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2. 2003.

MOTA, L. H. S. de O., Aplicação de nitrogênio e potássio no segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea. Dissertação- mestrado. **Universidade estadual Paulista faculdade de ciências agrônômicas**, Botucatu, 2019.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I.. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, 998.

NASCIMENTO, L. G. Fontes alternativas de potássio para a produção sustentável de mandioca. 2025. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - **Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista**, Botucatu, 2025.

NGUYEN, H.; SCHOENAU, J. J.; NGUYEN, D.; REES, K. V.; BOEHM, M. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. **Journal of plant Nutrition**, v. 25, n. 3, p. 425-442. 2002.

NORMANHA, E.S.; PEREIRA, A.S.; FREIRE, E.S. Modo e época de aplicação de adubos minerais em cultura de mandioca. **Bragantia**, v.27, n.12, p.143- 154, 1968.

NUNES, E.C.; MARCHESI, D.R.; BACK, A.J. **Manejo da fertilidade da mandioca: bases técnicas e manual do programa AdubaMANÍ-SC.** Florianópolis: Epagri, 2020. 40p.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2004. 116p. (Sistemas de Produção 6).

PIZETTA, N.V.et al. Adubação de cobertura na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv Branca de Santa Catarina, com diferentes formas de aplicações. **Revista Ecosistema**, v.26, n. 2, p. 123-124, 2001.

POLIDORO, C. J.; TEXEIRA, C. P. ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOLOS ARENOSOS. Resumo expandido. Pesquisador, **Embrapa Solos**. Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ.

RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2001.

RAIJ, B. V. et al. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420 P. 2011.

RODER, W.; MASON, S. C.; CLEGG, M. D.; KNIEP, K. R. Crop root distribution as influenced by grain sorghumsoybean rotation and fertilization. **Soil Science Society of American Journal**, v. 53, n. 5, p. 1464-1470, 1989.

RÓS, A. B. Cassava yield in function of potassium doses. **Revista Raízes e AmidosTropicais**, v. 9, n. 1, p. 25-32, 2013.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto florestal. 2017, v.1. p. 118.2017.

SANTOS, V. de L. BASILIO, A. L. LEAL, T. da C. SOUZA, L. F. D. AGUIAR, G. dos S. MOREIRA, B. G. M. OLIVEIRA, K. dos R. DE OLIVEIRA, R. V. RAMOS, J. P de F. Evaluation of the aerial part of cassava as a function of potassium fertilization. **REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA**, Curitiba, v.23, n.7, p. 09. 2025.

Siegel, G.J.; Goodwin, B. Sodium-Potassium-activated adenosine triphosphatase: Potassium regulation of enzyme phosphorylation sodium-stimulated, potassium-inhibited uridine triphosphate hydrolysis. **J. Biol. Chem.** 1972, 247, 3630–3637.

SILVA, da B. J. SILVA, da B, R, T. Desenvolvimento de raízes tuberosas e produtividade de mandioca em resposta a doses de adubação potássica, em cobertura, na região noroeste do Paraná. **Journal of Agronomic Sciences**, v.12, n. especial, p.171 185, 2023.

SILVA, H. R. F et al. Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 15-23, 2014.

Silva, R.M.d.; Fernandes, A.M.; Leonel, M.; Pelvine, R.A.; Figueiredo, R.T.d.; Rangel, M.A.S.; Ringenberg, R.; Oliveira, L.A.d.; Santos, V.d.S.; Vieira, E.A. Measurement of Dry Matter and Starch in Modern Cassava Genotypes during Long Harvest Cycles. **Horticulturae**, 2023, 9, 733.

SILVA, M. D. S., Trevizam, A. R. (2015) Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. *Informações agronômicas*, 49, 16p.

Sousa, DMG.; Lobato, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 416 p. 2004.

SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. **Cultivo da Mandioca para a Região do Cerrado**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas. 2003.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S. Clima e solo. In: MATTOS, P.L.P.; GOMES, J.C. (coord.). **O cultivo da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.11-13. 2000. (Circular Técnica nº 37).

SOUZA, L.S.; SILVA, J.; SOUZA, L.D. **Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, p. 6, 2009. (Comunicado Técnico, 133).

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**, ed.3. Porto Alegre: Editora Artmed, p. 114 123, 2013.

TAKAHASHI, M. Calibração da adubação da cultura da mandioca em solos arenosos do Paraná. In: Congresso Brasileiro De Mandioca, 10, Manaus. **Anais...** Manaus, AM: Sociedade Brasileira de Mandioca, p.19. 1999.

TERNES, M. Fisiologia da planta. In: CEREDA, M.P.(Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. v. 2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p.448-504.

TEXEITA, P. C.; POLIDORO, C. J. **Adubação potássica em solos arenosos**. Pesquisador, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, 2013.

WENGLING, A. **Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WERLE, R. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, volume 9, n.1, p. 25-32, 2013. 32

WHITE, P. J. et al. Potassium use efficiency of plants. **Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops**. 2020.