

LAYANA GOMES DO NASCIMENTO

**FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL
DE MANDIOCA**

Botucatu

2025

LAYANA GOMES DO NASCIMENTO

**FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL
DE MANDIOCA**

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

2025

N244f

Nascimento, Layana Gomes do

Fontes alternativas de potássio para produção sustentável de
mandioca / Layana Gomes do Nascimento. -- Botucatu, 2025
84 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Manihot esculenta Crantz. 2. Nutrição Mineral. 3. Produtividade
de raízes. 4. Fontes de Potássio. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE MANDIOCA

AUTORA: LAYANA GOMES DO NASCIMENTO

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)
Producao Vegetal / FCA UNESP Botucatu


Prof. Dr. SAMUEL FERRARI (Participação Virtual)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES (Participação Presencial)
Ciencia Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 27 de fevereiro de 2025

*Aos pilares da minha vida:
Meus pais, Catarina e Oswaldo,
e minha amada irmã, Luana
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as graças e bênçãos alcançadas. Por me dar forças para chegar à realização desse sonho e por colocar pessoas incríveis na minha jornada. 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, pela excelente orientação, paciência, ensinamentos compartilhados, e pelo incentivo, sendo ele peça fundamental na realização desse trabalho.

Ao meu orientador da graduação Ismael Matos Viegas por tantos ensinamentos compartilhados, por sempre me incentivar e principalmente por acreditar em mim.

Aos funcionários do CERAT, em especial meu amigo Elder C. Matos, por não ter medido esforços para me auxiliar nesta pesquisa, sua colaboração foi determinante para este trabalho.

Aos meus amados pais, Catarina e Osvaldo pelo apoio incondicional, por acreditarem em mim a cada passo e pelos seus incalculáveis esforços para me proporcionar tudo que sou e tenho hoje. Obrigada por tanto, vocês foram um dos principais motivos para eu não desistir!

A minha amada irmã e melhor amiga, Luana que sempre me apoiou e me incentivou nos momentos de maior dificuldade, sendo meu porto seguro e pilar fundamental nesta conquista.

Aos meus amados Avós, Maria e Almiro, meu eterno agradecimento por todo amor e carinho.

Aos meus amigos, Odair, Douglas e em especial Tamires, que foi incentivadora, amiga e companheira durante essa jornada.

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 tem como característica a rusticidade, conseguindo se desenvolver em solos de baixa fertilidade. Contudo, é uma cultura que absorve grandes quantidades de nutrientes do solo, com destaque para o potássio (K). Recentemente tem surgido no mercado brasileiro algumas fontes alternativas de K, oriundas de rocha moída, que apresentam menor solubilidade e liberação gradual dos nutrientes. A mandioca por ter ciclo longo de desenvolvimento e normalmente ser cultivada em solos arenosos, sujeitos a maiores perdas de K por lixiviação, pode se beneficiar do uso dessas fontes de K de liberação lenta. Dessa forma, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar o efeito de doses e fontes alternativas de K sobre o desempenho produtivo, o crescimento da planta, a produtividade de raízes e amido em duas cultivares de mandioca de indústria. Foram conduzidos quatro experimentos, dois na Fazenda Experimental São Manuel-SP, um a cultivar IAC 90 e outro com a cultivar BRS CS01, e dois na Fazenda Santa Mônica-PR, com as mesmas cultivares. A condução dos experimentos foi de junho de 2023 a junho de 2024. Para cada local, o delineamento experimental foi de blocos casualizados no esquema fatorial $1+4\times 3$, com quatro repetições, totalizando 13 tratamentos. Os tratamentos consistiram por um controle (sem aplicação de K), 4 fontes de K (KCl, Ekosil, Potasil e Potasil plus) e três doses de K_2O (45, 90 e 180 kg ha^{-1}). Nos tratamentos referentes as fontes alternativas de K (Ekosil, Potasil e Potasil plus) as doses de K_2O foram aplicadas integralmente em cobertura sobre as linhas, após o plantio, e para a fonte solúvel de K (KCl) foi aplicado 15 kg ha^{-1} de K_2O no plantio e o restante aos 90 dias após o plantio. A colheita da mandioca foi realizada aos 12 meses. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando os fatores cultivar, fontes e doses de K. Verificou-se que nos dois locais a cultivar BRS CS01 apresentou raízes mais pesadas do que a cultivar IAC 90, mas ela foi mais produtiva apenas em São Manuel-SP. As fontes alternativas de K conseguiram suprir K para a mandioca de forma similar ao KCl, independentemente da cultivar ou do local de cultivo. Seja qual for as cultivares ou as fontes de K, a produtividade máxima de raízes e amido ocorreu com doses ótimas de 106-108 e 99-126 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz; nutrição mineral; produtividade de raízes; fontes de potássio.

ABSTRACT

Cassava is characterized by its hardiness and can grow in low-fertility soils. However, it is a crop that absorbs large amounts of nutrients from the soil, especially potassium (K). Recently, some alternative sources of K have appeared on the Brazilian market, originating from ground rock, which have lower solubility and gradual release of nutrients. Because cassava has a long development cycle and is normally grown in sandy soils, subject to greater K losses through leaching, it can benefit from the use of these slow-release K sources. Therefore, this research was conducted with the objective of evaluating the effect of alternative rates and sources of K on productive performance, plant growth, root and starch yield in two bitter cassava cultivars. Four experiments were conducted, two at the São Manuel Experimental Farm-SP, one with the cultivar IAC 90 and another with the cultivar BRS CS01, and other two experiments at the Santa Mônica Farm-PR, with the same cultivars. The experiments were conducted between June 2023 to June 2024. For each site, the experimental design was randomized blocks in a 1+4×3 factorial scheme, with four replications, totaling 13 treatments. The treatments consisted of a control (no K application), 4 K sources (KCl, Ekosil, Potasil, and Potasil plus) and three K₂O doses (45, 90 and 180 kg ha⁻¹). In the treatments referring to alternative K sources (Ekosil, Potasil and Potasil plus) the K₂O rates were applied in full coverage on the rows, after planting, and for the soluble K source (KCl) 15 kg ha⁻¹ of K₂O was applied at planting and the remainder at 90 days after planting. The cassava was harvested at 12 months. The results obtained were submitted to joint analysis of variance, considering the factors cultivar, sources and doses of K. It was found that in both locations the cultivar BRS CS01 had heavier roots than the cultivar IAC 90, but it was more productive only in São Manuel-SP. The alternative sources of K were able to supply K to cassava in a similar way to KCl, regardless of the cultivar or cultivation location. Regardless of the cultivars or sources of K, the maximum productivity of roots and starch occurred with optimal doses of 106-108 and 99-126 kg ha⁻¹ of K₂O, respectively.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz; mineral nutrition; root yield productivity; sources of potassium.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1-Precipitação pluvial (barras), temperaturas máximas (linhas grossas) e mínimas (linhas finas) na área experimental durante o período de condução dos experimentos em São Manoel-SP (a) e Paranavaí-PR (b). Os momentos do plantio, adubação de cobertura, coleta de folha diagnóstica e colheita estão indicados na figura.....31
- Figura 2-Teor foliar de P (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e S (e) na folha diagnose da mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).39
- Figura 3-Teor foliar de Cu (a), Fe (b), Mn (c, d) e Zn (e) na folha diagnose da mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).42
- Figura 4-Peso médio (a) e produtividade de raízes (b) de mandioca em resposta a doses de K.....47
- Figura 5-Acúmulo de MS na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c) e na planta inteira (c) da mandioca em resposta a fontes e doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).50
- Figura 6-Teor de MS (a) e amido nas raízes (b) e produtividade de amido (c) de mandioca em resposta a doses de K.54
- Figura 7-Teor foliar de N (a,b), K (c), Ca (d) e S (e) na folha diagnose de mandioca em resposta a doses de K.57
- Figura 8-Teor foliar de B (a), Cu (b,c), Fe (d,e), Mn (f) e Zn (g,h) na folha diagnose de mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).62
- Figura 9-Altura de plantas de mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).65

Figura 10-Acúmulo de MS na parte aérea (a), raízes tuberosas (b) e na planta inteira de mandioca em resposta a doses de K. 68

Figura 11-Teor de MS (a) e amido nas raízes (b) e produtividade de amido (c) da mandioca em resposta a doses de K. 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca	33
Tabela 2-Teores de macronutrientes (g kg ⁻¹) na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	38
Tabela 3-Teores de micronutrientes (mg kg ⁻¹) na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	41
Tabela 4-Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o teor de Fe, Cu e Mn na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	43
Tabela 5-Altura da planta, número de raízes por planta, peso médio de raízes e produtividade de raízes de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	46
Tabela 6-Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	49
Tabela 7-Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o acúmulo de MS na parte aérea e cepas de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	51
Tabela 8-Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	53
Tabela 9-Teores de macronutrientes na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	56
Tabela 10-Teores de micronutrientes na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	60

Tabela 11-Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o teor de Cu, Fe e Mn na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	61
Tabela 12-Altura de plantas, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.....	64
Tabela 13-Acúmulo de MS da parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	67
Tabela 14-Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C x F	Cultivar x Fonte
C x D	Cultivar x Dose
F x D	Fonte x Dose
C x F x D	Cultivar x Fonte x Dose

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A cultura da mandioca.....	23
2.2	Exigências nutricionais na cultura da mandioca	24
2.3	Fontes de potássio	26
2.4	Adubação potássica na cultura da mandioca	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Localização e características da área experimental	30
3.2	Cultivares	30
3.3	Delineamento experimental e tratamentos	31
3.4	Fontes de K	32
3.5	Instalação e condução do experimento	32
3.6	Avaliações	34
3.6.1	Diagnose foliar	34
3.6.2	Altura das plantas	34
3.6.3	Número, peso médio e produtividade de raízes tuberosas	35
3.6.4	Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira	35
3.6.5	Teor de MS e amido nas raízes	35
3.7	Análise estatística.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Paranavaí.....	37
4.1.1	Diagnose foliar	37
4.1.2	Altura de planta, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes	45
4.1.3	Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira	48
4.1.4	Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido	52
4.2	São Manuel.....	55
4.2.1	Diagnose foliar	55
4.2.2	Altura de planta, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes	63

4.2.3 Acúmulo de matéria seca da parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira.....	66
4.2.4 Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido.....	68
5 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família das euforbiáceas. É uma cultura de elevada importância econômica e social, pois suas raízes tuberosas constituem-se como uma das principais fontes de carboidratos para a alimentação humana e animal (Silva *et al.*, 2018). O Brasil é o quinto maior produtor mundial da cultura, com uma produção anual de 18,7 milhões de toneladas (IBGE, 2024), sendo que a produção brasileira está concentrada em dois estados: Pará, na região norte e Paraná, no sul do Brasil. O estado de São Paulo, embora não seja um dos maiores produtores em volume total, desempenha um papel fundamental na cadeia produtiva, destacando-se como um importante polo de produção de fécula (CONAB, 2024).

As variedades de mandioca são classificadas de mesa ou de indústria, com base no teor de ácido cianídrico presente nas raízes. No Brasil, a maior parte da mandioca produzida é destinada à indústria para a produção de farinha e fécula (amido) (Cardoso *et al.*, 2006). Na região Centro-Sul do país, o cultivo de mandioca de indústria vem apresentando expressivo aumento para atender à demanda das indústrias por matéria-prima. A cultivar IAC 90 tem sido uma das principais cultivares plantadas no estado de São Paulo, enquanto a cultivar BRS CS01 tem tido sua área de cultivo aumentada na região sul do Mato Grosso do Sul.

A nutrição mineral é um fator determinante para o desenvolvimento da cultura da mandioca, visto que ela absorve elevadas quantidades de nutrientes do solo, com destaque para o potássio (K), nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura (Sousa, 2014). Sob condições de fornecimento limitado de K o crescimento das plantas é reduzido, a produtividade é menor e os teores de amido nas raízes também diminuem. Dessa forma, o fornecimento adequado de K para a mandioca é uma forma de aumentar a produtividade e a qualidade das raízes tuberosas.

Os fertilizantes potássicos estão entre os principais insumos agrícolas utilizados na agricultura brasileira e sua demanda tem crescido de forma constante nos últimos anos (Resende *et al.*, 2006). No entanto, a maior parte desses fertilizantes usados no Brasil são importados, especialmente de países produtores como Canadá, Rússia e Bielorrússia, tornando o setor agrícola brasileiro, vulnerável a oscilações no mercado internacional. Por exemplo, durante o início da guerra entre Rússia e Ucrânia o preço do cloreto de potássio (KCl) aumentou expressivamente e houve falta do produto no mercado brasileiro. Diante desse cenário, torna-se essencial o

desenvolvimento de ferramentas alternativas e nacionais para substituir, mesmo que em parte, as fontes tradicionais de fertilizantes potássicos.

São raros os estudos que avaliaram a resposta da mandioca a adubação com diferentes fontes de fertilizantes potássicos. A maioria das pesquisas se limitam a examinar o efeito de fontes solúveis, como KCl e sulfato de K (K_2SO_4), como nos trabalhos de Rós (2013), Souza *et al.* (2024) e Mota (2019). Todavia, recentemente tem surgido no mercado brasileiro algumas fontes alternativas de K, oriundas de rocha moída, que apresentam menor solubilidade e liberação gradual dos nutrientes, além de serem livres de cloro (Cl). A mandioca de indústria, devido seu ciclo longo e normalmente ser cultivada em solos arenosos, sujeitos a maiores perdas de K por lixiviação, pode se beneficiar do uso dessas fontes de K de liberação lenta.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses e fontes alternativas de K sobre o desempenho produtivo, o crescimento da planta, a produtividade de raízes e amido em duas cultivares de mandioca de indústria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida como aipim, macaxeira ou cassava, é uma fonte de alimento essencial e básico para mais de 500 milhões de pessoas, possuindo importante papel na segurança alimentar e na subsistência de pequenos agricultores (Moreto; Neubert, 2014; Silva *et al.*, 2017). Em 2023, o Brasil produziu aproximadamente 19,13 milhões de toneladas de mandioca, em uma área total de 1,24 milhões de hectares, sendo que os principais estados produtores são o Pará e o Paraná (CONAB, 2024).

A cadeia produtiva da mandioca é complexa e diversificada, suas folhas ricas em nutrientes, são utilizadas na alimentação humana e animal (Silva *et al.*, 2018). O caule, serve para a propagação vegetativa. A raiz, principal produto da cultura, pode ser comercializada in natura ou industrializada em diversos produtos, como fécula de mandioca, farinha de mandioca, tapioca e derivados, atendendo a um amplo mercado consumidor (Oliveira, 2010; Barbosa; Ferreira; Rosal, 2023).

A mandioca apresenta certa rusticidade, permitindo que seu cultivo ocorra em regiões com baixos índices pluviométricos, solos pobres em nutrientes, além de possuir adaptabilidade a diferentes condições climáticas, sendo capaz de suportar altas temperaturas e períodos de seca (Carvalho *et al.*, 1988). Porém, apesar de sua boa adaptabilidade a solos de baixa fertilidade, a nutrição adequada da cultura é fundamental, pois o fornecimento adequado de nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e K, aumenta significativamente o teor de amido nas raízes e melhora o rendimento da cultura (Medeiros; Resende; Figueiredo, 2014).

A planta de mandioca é dicotiledônea, alógama, heterozigota e monóica, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência (Fukuda *et al.*, 1996). Faz parte da família Euphorbiaceae, conhecida pela presença de látex e glicosídeos cianogênicos (Tironi *et al.*, 2019). A mandioca é uma cultura de ciclo perene, que se desenvolve alternando entre estádios de elevada atividade metabólica (desenvolvimento de raízes, folhas, copa e translocação de carboidratos) e de dormência (Alves, 2006).

O desenvolvimento da planta é descrito pela escala fenológica de Alves (2006), caracterizada em dia após o plantio (DAP) com os estágios: emergência, formação de

folhas e crescimento da raiz, desenvolvimento de ramos e folhas, translocação expressiva de carboidratos para as raízes e dormência. Devido ao acúmulo de amido nas raízes e ramos durante a fase de dormência, a planta reinicia seu ciclo de crescimento, emitindo novas ramificações e folhas, impulsionada pela energia armazenada previamente nas raízes (Maieves, 2010).

As cultivares de mandioca disponíveis no mercado estão agrupadas como mansas ou bravas, tendo como característica para sua diferenciação o teor de ácido cianídrico (HCN) presente nas raízes. Raízes cruas com teores de HCN menores que 100 mg kg⁻¹ são consideradas como mandiocas mansas (aipim, macaxeira ou mandioca de mesa), enquanto raízes com teores mais elevados de HCN são denominadas de mandiocas bravas, as quais necessitam de processamento antes do consumo (Ciamp *et al.*, 2019).

As mandiocas bravas ou de indústria são utilizadas principalmente nas indústrias de processamento para a produção de fécula (amido) e farinha. Dentre as cultivares de mandioca plantadas no estado de São Paulo, a cultivar IAC 90 destaca-se pela alta produtividade. Além disso, é uma cultivar que possui raízes com casca clara e polpa branca, com alto teor de matéria seca (MS), o que proporciona alta qualidade e rendimento industrial na produção de farinha e de fécula (APTA, 2022). Outra cultivar recentemente lançada e que tem sido bem aceita pelos produtores de mandioca é a cultivar BRS CS01 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A cultivar BRS CS01 possui raízes de cor marrom claro e polpa branca, com alto teor de MS nas raízes e precocidade de colheita (EMBRAPA, 2016), além de ser adaptada ao plantio direto. Ambas cultivares tem sido muito bem aceita pelos produtores de mandioca de indústria.

2.2 Exigências nutricionais na cultura da mandioca

A mandioca é uma cultura que se destaca pela produtividade em solos menos férteis, superando a maioria das outras culturas quando cultivada em solos de baixa fertilidade, mas o fornecimento adequado de nutrientes aumenta a produtividade e a qualidade das raízes (Nguyen *et al.*, 2002). Dessa forma, é necessário atender a demanda da cultura por meio da aplicação adequada de fertilizantes em doses economicamente apropriadas para alcançar melhores índices de produtividade (Sousa, 2014).

A mandioca é uma planta que produz elevada quantidade de matéria seca (MS) e fresca de raízes, extraindo altas quantias de nutrientes do solo em comparação a outras culturas (Sousa *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2014). O crescimento e a acumulação de MS nas plantas de mandioca é lento na fase inicial do ciclo (Lorenzi *et al.*, 1981; Howeler; Cadavid, 1983; Silva *et al.*, 2014), assim como a absorção de nutrientes do solo. Nas fases iniciais do ciclo da mandioca a maioria dos nutrientes se acumulam em maiores proporções nas folhas e caules, mas nas fases mais tardias do ciclo eles 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; 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).

O K está entre o nutriente mais extraído pela cultura da mandioca, sendo que para uma produtividade de 25 t ha⁻¹ de raízes + parte aérea a cultura absorve do solo aproximadamente 146 kg ha⁻¹ de K, 123 kg ha⁻¹ de N, 46 kg ha⁻¹ de Ca, 27 kg ha⁻¹ de P e 20 kg ha⁻¹ de Mg, assim, a ordem decrescente de absorção de macronutrientes é a seguinte: K > N > Ca > P > Mg (Gomes; Silva, 2006). Entre os micronutrientes, a ordem de maior absorção é Fe > Zn > Mn > Cu, com valores da ordem de 408, 236, 192 e 144 g ha⁻¹, respectivamente (Silva *et al.*, 2014). Contudo, a dinâmica de absorção e distribuição dos nutrientes nas plantas de mandioca estão intimamente relacionadas com a taxa de crescimento da cultura em relação as condições edafoclimáticas e diversidade genética (Hillocks *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2014). Dessa forma, variações existentes sobre a demanda nutricional da mandioca são devidas, principalmente, as condições diversas de clima e solo, tratos culturais e cultivares empregadas (Lorenzi *et al.*, 1981).

No decorrer do desenvolvimento 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; Cadavid, 1983). O K é o nutriente mais absorvido e exportado pelas plantas de mandioca (Howeler; Cadavid, 1983; Ternes, 2002; Imas; John, 2013),

porque trata-se de um nutriente que está associado com o transporte de fotoassimilados nas plantas (Kanto *et al.*, 2012), síntese e armazenamento de amido nas raízes tuberosas (Uwah *et al.*, 2013; Fernandes *et al.*, 2017; Gazola *et al.*, 2022).

2.3 Fontes de potássio

A agricultura brasileira apresenta uma demanda elevada por fertilizantes potássicos, visto que a produção interna não consegue suprir as necessidades do país, transformando-o em um grande importador desse fertilizante (Kinpara, 2003; Soratto *et al.*, 2021a, b). Na média dos últimos dez anos, o Brasil tem sido dependente da importação de mais de 90% do potássio necessário para atender a demanda interna desse tipo de fertilizante, sendo que a importação de fertilizantes potássicos em 2021 atingiu 13 milhões de toneladas, provenientes especialmente do Canadá, Rússia e Bielorrússia (Ogino; Vieira Filho, 2022). A forte dependência da importação torna a produção agrícola brasileira vulnerável às variações de preços dos adubos no comércio internacional, os quais aumentaram substancialmente nos últimos anos devido à alta do dólar e do petróleo, o aumento na demanda do mercado global e os conflitos no leste Europeu (Ogino; Vieira Filho, 2022).

Estima-se que cerca de 95% do potássio produzido globalmente seja destinado a produção de fertilizantes, sendo os sais as formas mais comuns de aplicação (Resende *et al.*, 2006). Os principais fertilizantes inorgânicos usados na agricultura são cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4.MgSO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3), dentre esses os dois primeiros são os mais utilizados, devido ao maior teor de K_2O , maior solubilidade e menor preço no comércio (Oliveira, 2003; Gonçalves, 2018). O KCl é a principal fonte de K_2O utilizada no mercado brasileiro (Soratto *et al.*, 2021a, b; Tranches *et al.*, 2022), mas apesar de ser rica em K ela possui teor elevado de cloro (47% de Cl e 60% de K_2O), o qual pode causar toxidez em algumas espécies de plantas se aplicado em elevadas doses (Marchand, 2010). Outra fonte muito utilizada na agricultura e que não contém Cl é o sulfato de potássio (50% de K_2O e 18% de S), o qual, além de fornecer o K também fornece enxofre (S), que por sua vez, é essencial para a produção de enzimas e vitaminas, desempenhando papel crucial no desenvolvimento vegetal (Lopes, 1998; Kinpara, 2003).

Fontes como o K_2SO_4 , $MgSO_4$ e o KNO_3 são menos utilizadas na agricultura do que o KCl e o K_2SO_4 . Contudo, em função do aumento crescente no uso de fertilizantes potássicos e devido a dependência brasileira de K importado, estudos sobre fontes alternativas de fertilizantes potássicos tem ganhado notoriedade (Gonçalves, 2018; Soratto *et al.*, 2021a, b). Estudos recentes sugerem que a adição de materiais de rocha, ou pós de rocha contendo K (por exemplo, caliofilita, leucita, sienito nefelínico), podem aumentar a reserva de K para as plantas a longo prazo (Matos Junior; Boaretto; Quaggio, 2022). A aplicação de rocha moída tem apresentado resultados promissores na agricultura, devido sua liberação gradual e seu baixo custo, podendo ser empregado tanto na agricultura convencional quanto na orgânica (Azeredo, 2021), como fonte alternativa ou complementar à adubação com fontes tradicionais (Viana; Caitano; Pontes, 2021; Tranches *et al.*, 2022).

O fonólito é uma rocha que contém teores de potássio total entre 6 e 15% devido a sua composição, basicamente composta por microclina ($K(AlSi_3O_8)$), ortoclásio ($KAlSi_3O_8$), andesina $[(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8]$ e nefelina $[(Na,K)AlSiO_4]$ (Teixeira *et al.*, 2012). O fonólito, além de conter K também contém outros elementos como silício (Si), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe) (TEIXEIRA *et al.*, 2012, 2015; MARTINS *et al.*, 2015), os quais também são requeridos pelas plantas (Soratto *et al.*, 2021a, b).

Alguns estudos têm procurado avaliar a viabilidade do uso do fonólito como fonte alternativa de K em substituição ao fertilizante KCl . Resultados recentes têm evidenciado a possibilidade de uso do fonólito como fonte de K para culturas como café (Mancuso *et al.*, 2014), arroz, feijão, milho, soja, milheto, trigo (Crusciol; Soratto, 2013; Soratto *et al.*, 2021a, b) e cana-de-açúcar (Tranches *et al.*, 2022), sendo que dependendo da dose do produto aplicada pode haver um efeito residual para as culturas subsequentes, devido a liberação gradual do K (Nogueira *et al.*, 2021; Soratto *et al.*, 2021a). Contudo, estudos de campo que avaliaram o efeito da aplicação de rochas fonolíticas na cultura da mandioca são escassos e há um indicativo de que as cultivares possam responder de forma diferente a adubação potássica com essas fontes alternativas (Souza *et al.*, 2013). A mandioca, por ser uma cultura de ciclo longo, pode se beneficiar da liberação gradual do K das rochas fonolíticas, diferentemente de culturas graníferas, que em geral têm ciclo mais curto.

2.4 Adubação potássica na cultura da mandioca

O baixo suprimento de K no solo afeta a produtividade de raízes e a qualidade das ramas da mandioca, proporcionando plantas menores, menos vigorosas, com entrenós do caule e pecíolos curtos e folhas pequenas (Gonçalves, 2018; Lebot, 2009). Na mandioca, o K é um elemento fundamental para a síntese e translocação de carboidratos na planta, sendo importante para a acumulação de amido nas raízes tuberosas (Ternes, 2002; Fernandes *et al.*, 2017). No entanto, é necessário ter cuidado com relação as doses de K aplicadas, porque 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).

Em geral, a aplicação de doses crescentes de K auxilia no aumento da produtividade de raízes e os teores de amido nas raízes de mandioca (Fernandes *et al.*, 2017; Sousa, 2014; Silva *et al.*, 2017; Chua *et al.*, 2020) especialmente em solos deficientes em K (Gazola *et al.*, 2022). Contudo, as doses de K a serem aplicadas na cultura devem ser ajustadas conforme a disponibilidade inicial de K no solo e a expectativa de produtividade da cultura (Sousa; Lobato, 2004; Marchesi *et al.*, 2018; Feltran *et al.*, 2022; Gazola *et al.*, 2022).

Em solos com baixa disponibilidade de K, as doses de K₂O recomendadas para a mandioca nas condições brasileiras variam de 50 a 170 kg ha⁻¹, mas em solos com alta disponibilidade de K indica-se aplicar doses de no máximo 15–90 kg ha⁻¹ de K₂O (Sousa; Lobato, 2004; Marchesi *et al.*, 2018; Feltran *et al.*, 2022). No entanto, há evidências de que a mandioca consegue absorver mais K do solo que as quantidades aplicadas via fertilizantes, mesmo quando são aplicadas altas doses de K, da ordem de 120 kg ha⁻¹ de K₂O (Chua *et al.*, 2020). Porém, todas as recomendações brasileiras de adubação potássica para a mandioca foram geradas em estudos utilizando fontes solúveis de K. Essas fontes de K liberam o nutriente rapidamente quando em contato com a umidade do solo, podendo haver perdas de K por lixiviação em solos de textura leve cultivados durante estações chuvosas (Werle; Garcia; Rosolem, 2008; Rós, 2013; Rosolem; Steiner, 2017).

Além disso, dependendo da cultivar de mandioca utilizada a resposta dessa espécie tuberosa a adubação potássica pode variar (El-sharkawy; Cadavid, 2000; Gonçalves, 2018; Marzouk *et al.*, 2020; Gazola *et al.*, 2022). Sendo importante, definir

qual a dose ótima de cada fertilizante potássico para aplicação em diferentes cultivares de mandioca para otimizar o manejo da adubação potássica na cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

Foram conduzidos quatro experimentos, um com a cultivar IAC 90 e outro com a cultivar BRS CS01 na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), no município de São Manuel-SP (22° 77' S; 48° 57' W e 740 m de altitude). Os outros dois experimentos foram conduzidos com as mesmas cultivares na Fazenda Santa Mônica, no município de Paranavaí-PR (23° 05' 36" S; 53° 08' 50" W e 425 m de altitude).

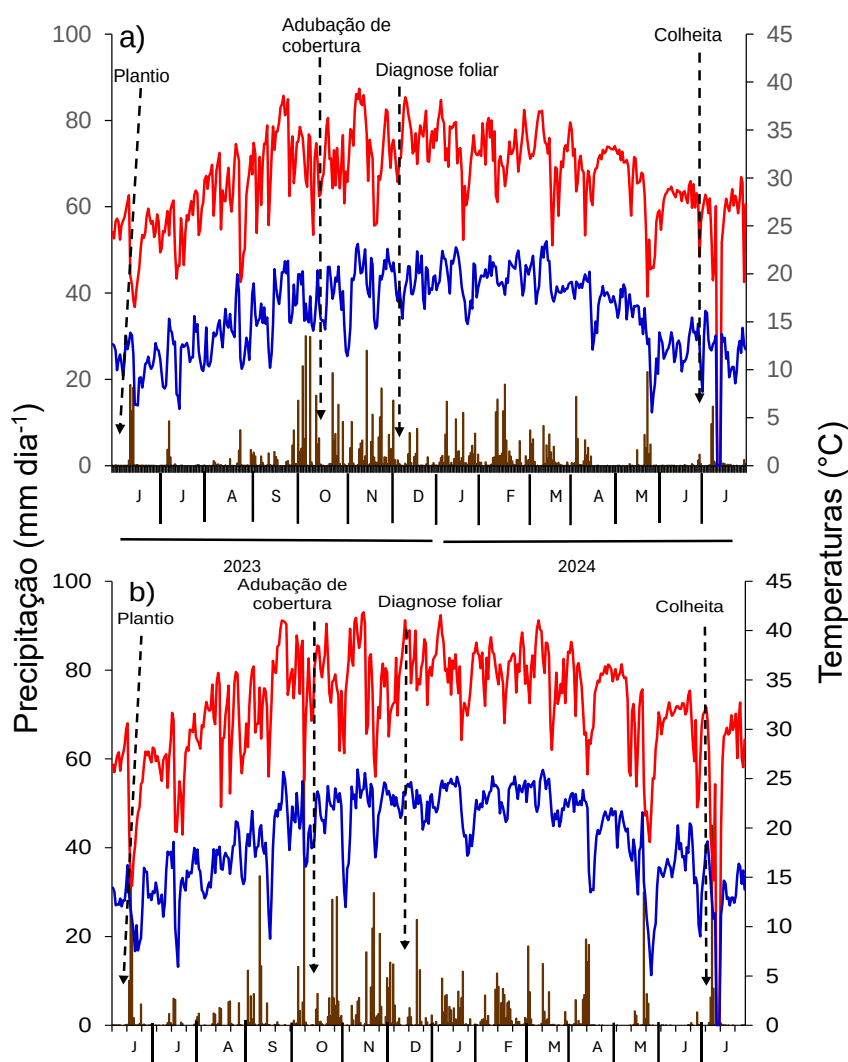
O clima da região de São Manuel-SP é do tipo Cwa (conforme classificação de Koppen) e o solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (Rossi, 2017). O clima de Paranavaí-PR é do tipo Cfa (conforme classificação de Koppen) e o solo é Argissolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa. O plantio ocorreu na área de São Manuel, sob palhada de milho e na área de Paranavaí-PR sob palhada de braquiária. Os dados de precipitação e temperaturas (máxima e mínima) foram coletados durante a pesquisa, conforme ilustrado na Figura 1.

3.2 Cultivares

Foram utilizadas as cultivares IAC 90 e BRS CS01, ambas são mandiocas para indústria. A IAC 90 foi lançada em 2021 pelo Instituto Agronômico de Campinas, apresenta excelente qualidade na produção de farinha e de fécula, alto teor de MS nas raízes e elevada produtividade, com potencial produtivo superior a 25 t ha⁻¹. As raízes tuberosas dessa cultivar são longas de formato cônico cilíndrico regular, a polpa é de cor branca intensa e a película da raiz é de cor creme claro (ABAM, 2021).

A cultivar BRS CS 01 é recomendada para as regiões do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Ela apresenta boa cobertura do solo, bom porte tornando-a apropriada para o plantio mecanizado e é indicada para o sistema de plantio direto. Além disso, a cultivar apresenta precocidade, tendo superioridade quando colhida com dois ciclos, sendo que no primeiro ciclo os teores de amido são aproximadamente 50% maiores do que nas cultivares plantadas atualmente, e no segundo ciclo os valores chegam a 100% (EMBRAPA, 2016).

Figura 1-Precipitação pluvial (barras), temperaturas máximas (linhas grossas) e mínimas (linhas finas) na área experimental durante o período de condução dos experimentos em São Manuel-SP (a) e Paranavaí-PR (b). Os momentos do plantio, adubação de cobertura, coleta de folha diagnóstica e colheita estão indicados na figura



3.3 Delineamento experimental e tratamentos

Para cada local, o delineamento experimental foi de blocos casualizados no esquema fatorial 1+4×3, com quatro repetições, totalizando 13 tratamentos. Os tratamentos consistiram por um controle (sem aplicação de K), 4 fontes de K (KCl, Ekosil, Potasil e Potasil plus) e três doses de K₂O (45, 90 e 180 kg ha⁻¹). As parcelas foram constituídas de 4 linhas de mandioca de 6 m de comprimento, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,70 m entre plantas. As avaliações foram

realizadas nas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m em ambas as extremidades das parcelas. Nos tratamentos referentes as fontes alternativas de K (Ekosil, Potasil e Potasil plus) as doses de K_2O foram aplicadas integralmente em cobertura sobre as linhas após o plantio. Para a fonte solúvel de K (KCl) foi aplicado 15 kg ha^{-1} de K_2O no plantio e o restante aos 90 dias após o plantio (DAP), conforme sugestão de Gazola *et al.* (2022).

3.4 Fontes de K

Utilizou-se quatro fontes de K. O KCl é o fertilizante potássico mais utilizado na agricultura brasileira e ele contém 60% de K_2O e 47% de Cl^- em sua formulação. Além disso, o KCl apresenta alta solubilidade (rápida liberação) e alto índice salino (116%). O Ekosil é um fertilizante que provém de uma fonte de K natural e brasileira. É composto de rocha moída que contém 8% de K_2O (teor total), apresenta liberação gradual, baixíssimo índice salino (0,63), não contém Cl^- e contém outros elementos (Si=25%, Ca=1,0%, Mg=0,15%, Mn=0,15%, Zn=0,01%, Co=0,0004%) (YOORIN, 2021). O Potasil é composto por rocha moída que contém 12% de K_2O (teor total), apresenta liberação gradual, índice salino de 0,63 e teores de Si, Ca, Mg, Mn, Zn e Co de 25%, 0,06%, 0,10%, 0,15%, 0,01% e 0,0004%, respectivamente (YOORIN, 2022). O Potasil plus possui 20% de K_2O (teor total), e reúne no mesmo grânulo duas fontes de K de solubilidades diferentes, uma de liberação imediata (KCl) e outra de liberação gradual (rocha), além de conter 18,0% de Si e 1,5% de carbono orgânico (YOORIN, 2022).

3.5 Instalação e condução do experimento

Antes de instalar o experimento amostras de solo nas áreas experimentais foram coletadas, na profundidade de 0-0,20 m para análise de suas características química e granulométrica (Raij *et al.*, 2001). A área não recebeu calagem devido a saturação por bases estar dentro da faixa indicada para a cultura da mandioca, que é de 50% (Tabela 1) (Lorenzi *et al.*, 1997).

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

Característica	Paranavaí	São Manuel
pH (CaCl ₂)	5,2	5,3
M.O (g dm ⁻³)	10	10
P resina (mg dm ⁻³)	6	3,5
K (mmol _c dm ⁻³)	1,0	1,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	9	11
Mg (mmol _c dm ⁻³)	4	5
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	14	15
CTC (mmol _c dm ⁻³)	28,0	32,6
V%	50	54
B (mg dm ⁻³)	0,16	0,08
Cu (mg dm ⁻³)	0,5	1,8
Fe (mg dm ⁻³)	12	28
Mn (mg dm ⁻³)	6,5	4,3
Zn (mg dm ⁻³)	0,4	2,9
Areia (g kg ⁻¹)	891	835
Silte (g kg ⁻¹)	22	125
Argila (g kg ⁻¹)	88	41

Nas duas áreas a implantação da mandioca foi em plantio direto, utilizando plantadeira adaptada para o plantio direto com asas aladas, conforme as recomendações de Rangel *et al.* (2018). Na área de São Manuel, o plantio foi sob palhada de milho e na área de Paranavaí-PR sob palhada de braquiária.

Para o plantio utilizou-se ramas de 12 meses de idade das cultivares IAC 90 e BRS CS01, provenientes do terço médio de plantas saudáveis. 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 0,90 m entre linhas e 0,70 m entre plantas. O plantio de São Manuel ocorreu em 03/06/2023 e de Paranavaí em 16/06/2023.

A adubação de plantio foi realizada de acordo com os resultados da análise química do solo, conforme as recomendações de Feltran *et al.* (2022). Na adubação de base foram aplicados apenas o fósforo (P), mediante o mecanismo de adubação da plantadeira utilizando-se o fertilizante superfosfato triplo (41% de P₂O₅) na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Após a operação de plantio foi aplicado em pós-plantio (em cima das linhas de plantio) uma mistura de fertilizantes contendo 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (20 kg ha⁻¹ de N + 22 kg ha⁻¹ de S), 60 kg ha⁻¹ de sulfato de Mg (5,4 kg ha⁻¹ de Mg + 7,2 kg ha⁻¹ de S), 60 kg ha⁻¹ de gesso (10,8 kg ha⁻¹ de Ca + 9 kg ha⁻¹ de S) e 30 kg ha⁻¹ de FTE BR-12 (2,70, 0,54, 0,24, 0,60 e 0,30 kg ha⁻¹ de Zn, B, Cu, Mn e

S, respectivamente). Nas parcelas referentes a fonte solúvel de K (KCl) a adubação foi parcelada. A primeira aplicação, de 15 kg ha⁻¹ de K₂O, foi realizada em cobertura sobre as linhas de plantio, logo após o plantio. A segunda aplicação de KCl, juntamente com 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (40 kg ha⁻¹ de N + 44 kg ha⁻¹ de S), ocorreu aos 90 dias após o plantio (DAP). Nas parcelas das outras fontes de K (Ekosil, Potasil e Potasil Plus) aplicou-se as doses integrais de K de cada tratamento em pós-plantio sobre as linhas logo após a operação mecanizada de plantio.

Durante os experimentos, o controle de plantas daninhas, pragas e doenças, foi realizado conforme a necessidade e as recomendações técnicas para a cultura da mandioca na região. Destaca-se que na área de Paranavaí houve incidência de bacteriose em janeiro de 2024, o que causou a desfolha parcial e precoce das folhas do baixeiro das plantas.

A colheita da mandioca foi realizada aproximadamente aos 12 meses após o plantio (julho de 2024).

3.6 Avaliações

3.6.1 Diagnose foliar

A coleta de folhas para análise de nutrientes foi realizada 4 meses após o plantio, utilizando 10 plantas por parcela experimental conforme a metodologia proposta por Feltran *et al.* (2022), retirando-se o limbo das folhas mais jovens totalmente expandidas. As amostras foram lavadas em água corrente e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas. Logo depois, 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) seguindo a metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997).

3.6.2 Altura das plantas

A altura de plantas foi medida em 2 plantas da área útil de cada parcela, antes da colheita, avaliando a distância entre o solo e o ponto mais alto da planta.

3.6.3 Número, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

Durante a colheita, realizou-se o arranquio das raízes, a contagem do número de raízes e a pesagem das raízes tuberosas presentes nas 2 linhas centrais de 5 m de comprimento de cada parcela. O peso médio das raízes foi obtido da relação entre o peso total e o número total de raízes de cada parcela. A produtividade de raízes foi calculada com base nos dados da população final de plantas e o peso total de raízes por planta.

3.6.4 Acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira

Durante a colheita, as plantas arrancadas foram separadas em parte aérea, cepas e raízes tuberosas. O peso fresco das raízes tuberosas foi determinado conforme descrito no item 3.6.3 e as demais partes das plantas foram pesadas separadamente para calcular a massa fresca. Posteriormente, subamostras desse material foram retiradas, pesadas e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante. Após a secagem, as subamostras foram pesadas para a obtenção do peso seco e cálculo da porcentagem de MS. Com base nos dados de massa fresca, porcentagem de matéria seca e população final de plantas, calculou-se o acúmulo de matéria seca por área em cada parte da planta e na planta inteira.

3.6.5 Teor de MS e amido nas raízes

As amostras de raízes obtidas na colheita final de cada parcela foram lavadas, cortadas em fatias, pesadas e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante. Logo após o processo de secagem, as amostras foram pesadas e calculou-se o teor de MS das raízes.

Para obtenção do teor de amido das raízes foi utilizado o método da gravidade específica também chamado de método da balança hidrostática. Nessa determinação amostras frescas de 5,0 kg de raízes foram pesadas imersas em água. Em seguida, o teor de amido das raízes foi calculado com base na equação proposta por Silva (2023):

$$\text{Teor de amido (\%)} = -140,9525 + (154,4288 \times (5/5-P))$$

Onde $P =$ é o peso de 5 kg de raízes na balança hidrostática após submersão das amostras em água. O cálculo da produtividade de amido foi realizado multiplicando-se os teores de amido nas raízes frescas pela produtividade de raízes frescas.

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos de cada local de cultivo foram submetidos a análise de variância conjunta, considerando os fatores cultivar, fonte e dose de K, utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011). Para avaliar os efeitos do fator fonte de K e da interação fonte $\times$ dose de K, os dados do tratamento controle (sem aplicação de K) foram excluídos da ANOVA. As médias das diferentes fontes de K e cultivares foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, enquanto os efeitos das doses de K foram analisados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para a escolha do modelo aqueles com maior coeficiente de determinação significativo a 5% de probabilidade. Na análise de regressão, o tratamento controle (sem aplicação de K) foi incluído na ANOVA e as análises de regressão foram realizadas com todos os dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Paranavaí

4.1.1 Diagnose foliar

O teor de N nas folhas não foi afetado por nenhum dos fatores estudados (Tabela 2), porém os valores de N encontram-se adequados para a cultura, de 45 a 60 g kg⁻¹ (Lorenzi *et al.*, 1997). O N é um nutriente fundamental para o metabolismo vegetal, sendo componente essencial de biomoléculas como clorofila, enzimas e proteínas, o que justifica sua alta concentração nas folhas (Clarkson; Hanson, 1980; Cardoso Júnior *et al.*, 2005). Para a mandioca o N desempenha um papel fundamental no seu desenvolvimento, sendo um nutriente chave para o crescimento vegetativo da cultura (Ferreira, 2014)

Para o teor foliar de P apenas o fator cultivar foi significativo, com a cultivar BRS CS01 apresentando valor maior (4,9 g kg⁻¹) comparado a cultivar IAC 90 (4,8 g kg⁻¹) (Tabela 2). Os resultados obtidos para o P ficaram dentro da faixa considerada ideal para a cultura da mandioca (2,0-5,0 g kg⁻¹), segundo Lorenzi *et al.* (1997). Entre as interações apenas a interação C x D foi significativa, sendo que as doses de K₂O não influenciaram significativamente o teor de P na folha das duas cultivares (Figura 2a). No entanto, a cultivar BRS CS01 apresentou maior teor foliar de P do que a cultivar IAC 90 na dose de 180 kg ha⁻¹ de K₂O.

O teor de K foi influenciado significativamente apenas pelos fatores cultivar e dose, não havendo efeito significativo do fator fonte ou de suas interações (Tabela 2). A cultivar BRS CS01 apresentou maior acúmulo de K com 16,8 kg⁻¹ comparado a cultivar IAC 90 com 13,7 kg⁻¹. Os valores de K são considerados adequados por estarem entre 10 a 20 g kg⁻¹ (Lorenzi *et al.*, 1997; Oliveira, 2004). Embora não faça parte da estrutura das plantas o K é o cátion mais abundantes nos tecidos vegetais (Meurer, 2006), desempenhando um papel essencial na ativação de enzimas (Malavolta *et al.*, 1997). Em relação as doses, nota-se que o aumento das doses de K₂O aumentou quadraticamente os teores foliares de K até a dose estimada de 80 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2 b).

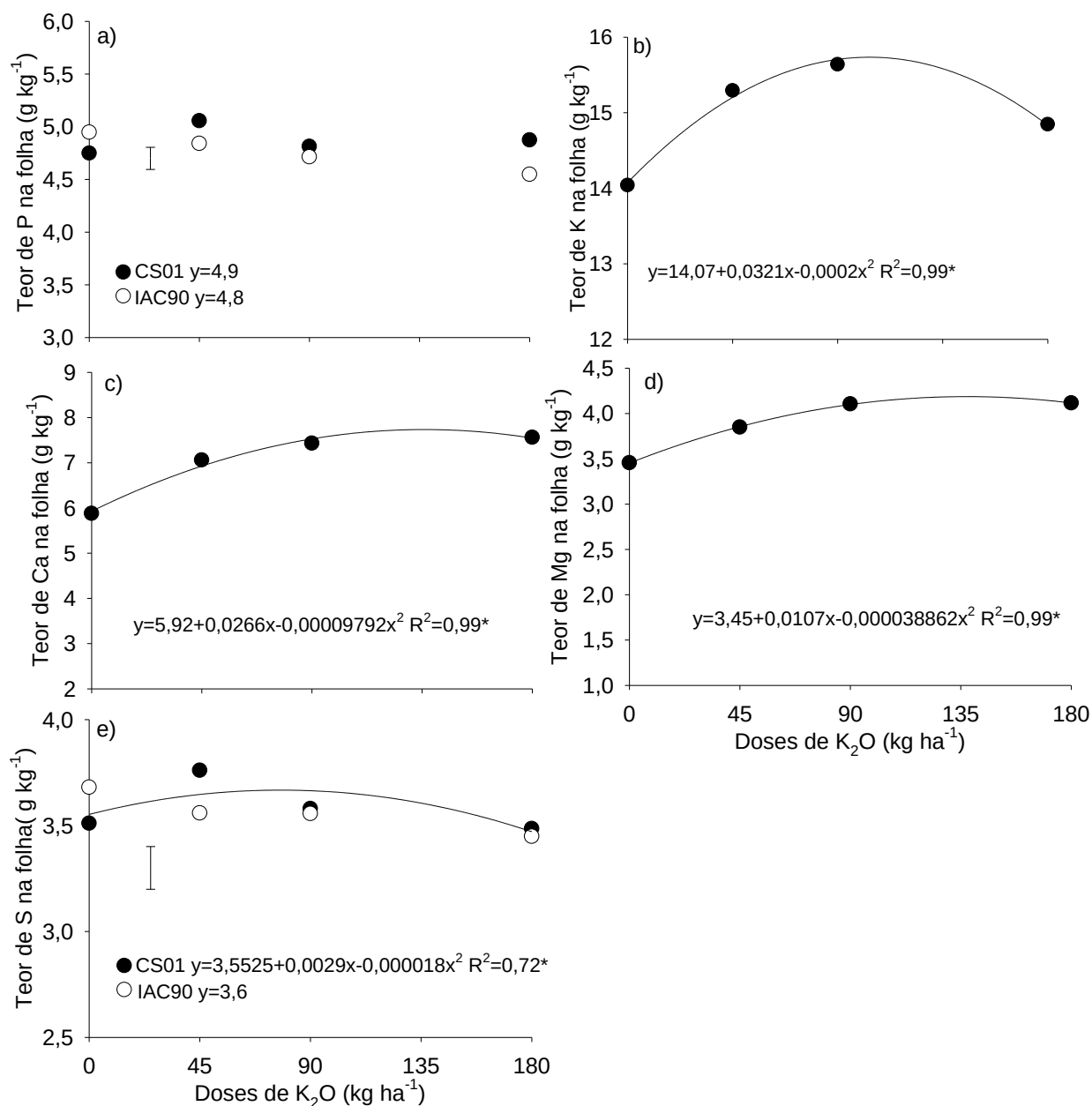
Tabela 2-Teores de macronutrientes (g kg⁻¹) na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
Cultivar						
CS01	54,1a	4,9a	16,8a	6,4b	3,7b	3,6a
IAC 90	55,0a	4,8b	13,7b	8,2a	4,3a	3,6a
Fonte						
KCl	55,1a	4,8a	15,2a	6,8b	3,9	3,6a
Ekosil	54,8a	4,8a	15,2a	7,1b	4,0	3,6a
Potasil	54,1a	4,8a	15,3a	7,7a	4,1	3,5a
Potasil Plus	56,0a	4,9a	15,4a	7,7a	4,1	3,6a
Dose-K ₂ O						
0	52,9	4,7	14,0	5,9	3,5	3,4
45	55,6	5,0	15,3	7,1	3,8	3,6
90	54,7	4,8	15,6	7,4	4,1	3,6
180	54,8	4,7	14,8	7,6	4,1	3,5
ANOVA (P>F)						
Cultivar	NS	0,0091	<0,0001	<0,0001	<0,0001	NS
Fonte	NS	NS	NS	<0,0002	NS	NS
C×F	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dose	NS	NS	0,0119	0,0369	0,0319	NS
C×D	NS	0,0115	NS	NS	NS	0,0199
F×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	7,5	9,1	8,1	11,0	13,3	9,1

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.
NS: não significativo.

Quanto aos teores de Ca e Mg, observaram-se diferenças significativas entre as cultivares, sendo a cultivar IAC 90 a que apresentou maiores concentrações nas folhas, com médias de 8,2 e 4,3 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Os teores foliares de Ca e Mg neste estudo estão de acordo com os valores considerados adequados para a cultura da mandioca segundo Lorenzi *et al.* (1997), indicando uma nutrição adequada das plantas. O Ca é um elemento essencial para a estrutura e crescimento das plantas, sendo componente fundamental da parede celular e contribuindo para o desenvolvimento de raízes e parte aérea (Campos, 2000). A deficiência desse nutriente pode levar à deformação de folhas jovens e redução do crescimento, comprometendo a fotossíntese (Cadavid, 2012).

Figura 2-Teor foliar de P (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e S (e) na folha diagnose da mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).



O Mg tem como principal função nas plantas ser o átomo central da molécula de clorofila, sendo essencial para a fotossíntese, e os cloroplastos concentram cerca da metade do Mg foliar (Malavolta, 1976). Em relação ao fator fonte, não houve diferença significativa das fontes estudadas sobre o teor de Mg foliar, ocorrendo efeito significativo apenas para o teor foliar de Ca (Tabela 2). Destaca-se que as fontes

Potasil e Potasil plus obtiveram melhores resultados com valores da ordem de 7,7 g kg⁻¹ (Tabela 2). Os teores foliares de Ca e Mg também foram influenciados significativamente pela aplicação de diferentes doses de K. A adubação potássica aumentou quadraticamente os teores foliares de Ca e Mg até a doses estimadas de 136 e 137 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figuras 2c e 2d). Esses resultados indicam que a adubação potássica melhorou a nutrição das plantas em relação aos nutrientes Ca e Mg, visto que os fertilizantes possuíam Ca e Mg na sua formulação.

O teor de S na folha não apresentou diferença significativa para os fatores isolados, mas houve efeito significativo da interação C x D (Tabela 2). A adubação potássica aumentou os teores foliares de S da cultivar BRS CS01 até a dose estimada de 80 kg ha⁻¹ de K₂O, mas não alterou significativamente os teores foliares de S da cultivar IAC 90 (Figura 2e). Contudo, não houve diferença entre as cultivares com relação aos teores foliares de S. Os teores foliares de S obtidos no presente estudo permaneceram dentro da faixa considerada adequada para a cultura, isto é, entre 3 e 4 g kg⁻¹ (Lorenzi *et al.* 1997). O S é responsável pela síntese de proteínas, cistina e metionina além de ser o precursor de vitaminas, como por exemplo, a vitamina A (Coleman, 1966). A ausência de S causa o amarelecimento uniforme das folhas superiores da mandioca (EMBRAPA, 2009).

Quanto aos micronutrientes verifica-se que os teores foliares de B não foram afetados pelos fatores isolados ou suas interações (Tabela 3). No entanto o teor foliar de Cu foi influenciado significativamente pelas doses de K e pela interação C x F. A aplicação de doses crescentes de K aumentou os teores foliares de Cu até a dose estimada de 67 kg ha⁻¹ de K₂O, resultando num teor foliar de 8,8 mg kg⁻¹ (Figura 3 a). Os teores foliares de B e Cu obtidos neste estudo encontram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura segundo Lorenzi *et al.* (1997). Os micronutrientes são essenciais para o desenvolvimento vegetal. Portanto, a disponibilidade inadequada deles, não apenas limita o crescimento da planta, como também diminui a eficiência do uso de fertilizantes com macronutrientes, visto que eles estão envolvidos na determinação da produtividade e qualidade do produto colhido (Kirkby; Romheld, 2007).

Tabela 3- Teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cultivar			mg kg ⁻¹		
CS01	32,6a	8,8a	136,1a	147,7a	51,1a
IAC 90	31,8a	8,6a	114,0b	136,5a	47,1b
Fonte					
KCl	31,6a	8,7	122,7	142,4a	47,6
Ekosil	32,2a	8,9	125,2	145,9a	49,0
Potasil	31,9a	8,6	123,1	140,4a	50,7
Potasil Plus	33,2a	8,9	122,6	148,4a	47,9
Dose-K ₂ O					
0	33,2	8,6	149,6	151,4	53,3
45	32,2	9,0	125,5	143,4	49,8
90	32,3	8,7	121,1	146,0	28,7
180	32,2	8,5	123,7	143,3	47,7
		ANOVA (<i>P>F</i>)			
Cultivar	NS	NS	<0,0001	NS	0,0012
Fonte	NS	NS	NS	NS	NS
C×F	NS	0,0323	0,0413	0,0228	NS
Dose	NS	<0,0001	NS	NS	NS
C×D	NS	NS	<0,0001	0,0023	0,0078
F×D	NS	NS	NS	0,0031	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	7,5	7,0	8,9	13,8	9,25

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo.

A análise de desdobramento da interação C x F para o teor foliar de Cu (Tabela 4) aponta que na cultivar IAC 90 as fontes KCl e Potasil plus proporcionaram teores foliares de Cu maiores do que no tratamento com a fonte Potasil. Já para a cultivar BRS01, o uso da fonte Ekosil resultou em teor foliar de Cu maior do que no tratamento fertilizado com KCl, o qual apresentou os menores valores (8,6 mg kg⁻¹). Apenas com o uso de Potasil os teores foliares de Cu na cultivar IAC 90 foram menores do que na cultivar BRS CS01. Esses resultados confirmam os achados de Castro *et al.* (2005), que cujo trabalho com girassol e soja em casa-de-vegetação demonstraram que rochas ultramáficas alcalinas utilizadas como fertilizante pode ser eficiente em comparação ao KCl.

Figura 3-Teor foliar de Cu (a), Fe (b), Mn (c, d) e Zn (e) na folha diagnose da mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).

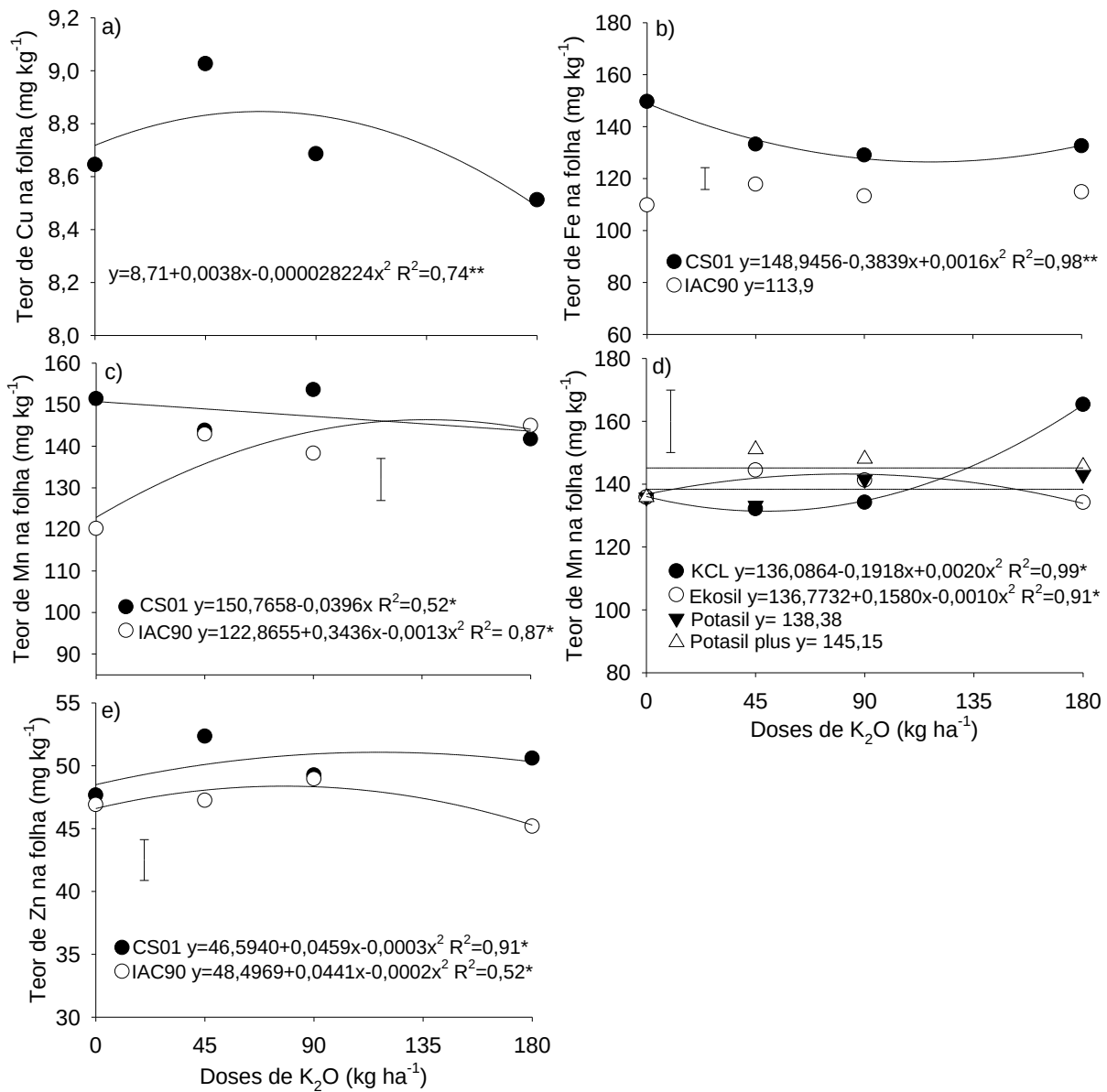


Tabela 4- Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o teor de Fe, Cu e Mn na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Fontes de K	Cultivar	
	BRS CS01	IAC 90
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	8,6bA	8,8aA
Ekosil	9,0aA	8,6abA
Potasil	8,9abA	8,3bB
Potasil plus	8,9abA	9,0aA
Teor de Fe na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	126,4aA	119,3aA
Ekosil	133,3aA	117,2abB
Potasil	132,7aA	113,5abB
Potasil plus	133,9aA	111,1bB
Teor de Mn na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	145,3abA	142,5abA
Ekosil	157,6aA	131,9bB
Potasil	135,9bA	144,1abA
Potasil plus	146,7abA	149,8aA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de Fe foram influenciados pelo fator cultivar e pelas interações C x F e C x D (Tabela 3). A cultivar BRS CS01 apresentou maior teor foliar de Fe do que a cultivar IAC 90, quando fertilizada com as fontes alternativas de K, fato que não ocorreu quando se fertilizou ambas cultivares com KCl (Tabela 4). Os teores foliares de Fe na cultivar BRS CS01 não foram afetados pelas fontes de K, enquanto na cultivar IAC 90 o teor foliar de Fe no tratamento fertilizado com KCl foi maior do que no tratamento fertilizado com Potasil plus.

Para a interação C x D, o aumento nas doses de K₂O reduziu de forma quadrática o teor de Fe na folha da cultivar BRS CS01 até a dose estimada de 120 kg ha⁻¹, mas sem alterar significativamente os teores foliares de Fe da cultivar IAC 90 (Figura 3b). Nota-se que a cultivar BRS CS01 apresentou maiores teores foliares de Fe comparado a cultivar IAC 90 em todas as doses de K₂O estudadas. Em geral, os teores foliares de Fe estiveram dentro da faixa adequada para cultura conforme descreve Lorenzi *et al.* (1997). O Fe é um elemento essencial, sendo componente fundamental de diversas proteínas que desempenham funções cruciais. A proteína Fe-S, a qual é o primeiro composto redox estável na cadeia de transporte de elétrons

durante o processo de fotossíntese, atuando com alto potencial redox negativo, transferindo elétrons para diversos processos metabólicos (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Os teores foliares de Mn não foram afetados pelos fatores principais (Cultivar, Fonte e Dose), havendo apenas efeito significativo das interações C x F, C x D e F x D (Tabela 3). A análise de desdobramento para a interação C x F indica que o teor de Mn nas folhas da cultivar BRS CS01 foi maior do que na cultivar IAC 90 apenas quando as plantas foram fertilizadas com a fonte Ekosil (Tabela 4). Na cultivar BRS CS01, a aplicação da fonte Ekosil aumentou o teor (157,6 mg kg⁻¹) foliar de Mn em relação a fonte Potasil. No entanto, para a cultivar IAC 90, verifica-se que a fonte Potasil plus aumentou o teor foliar de Mn comparado a fonte Ekosil, mas sem diferir das outras fontes de K. Segundo Castro *et al.* (2005) as fontes alternativas de K têm apresentado potencial promissor para uso como fertilizante.

O desdobramento da interação C x D para o teor foliar de Mn mostra que a cultivar BRS CS01 teve seus teores foliares diminuídos linearmente pela adubação potássica, enquanto na cultivar IAC 90 o teor foliar de Mn aumentou de forma quadrática até a dose estimada de 132 kg ha⁻¹ (Figura 3c). Apenas nas doses de 0 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O a cultivar BRS CS01 apresentou teor de Mn na folha menor do que na cultivar IAC 90. Ao analisar a interação F x D para o teor foliar de Mn, nota-se que o aumento nas doses de K₂O aumentou quadraticamente os teores foliares no tratamento com a fonte Ekosil, mas diminuiu no tratamento que recebeu aplicação de KCl (Figura 3d) Potasil plus. O tratamento que recebeu aplicação de KCl apresentou teores foliares de Mn maiores do que nos outros tratamentos especialmente na dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O. Os teores foliares de Mn nos tratamentos com as fontes Potasil e Potasil plus não foram afetados pelas doses de K. O teor de Mn no presente estudo se encontra acima da faixa considerada adequada para a cultura (25 a 100 mg kg⁻¹) de acordo com Lorenzi *et al.* (1997). O Mn é essencial nos processos de transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação de radicais livres de oxigênio (Kirkby; Romheld, 2007).

Para os teores foliares de Zn observou-se efeito significativo para o fator cultivar e a interação C x D (Tabela 3). Para as duas cultivares a aplicação de K proporcionou efeito quadrático sobre os teores foliares de Zn (Figura 3e). Na cultivar BRS CS01 a aplicação de K aumentou os teores foliares de Zn até a dose de 76 kg ha⁻¹ de K₂O, mas na cultivar IAC 90 o aumento ocorreu até a dose estimada de 110 kg ha⁻¹ de

K₂O. Nas doses de 45 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O a cultivar BRS CS01 apresentou teor foliar de Zn maior do que na cultivar IAC 90. O teor foliar de Zn observado neste estudo se encontra dentro da faixa considerada adequada para cultura da mandioca, que é de 35 a 100 mg kg⁻¹ de Zn (Lorenzi *et al.*, 1997). 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 nitrogênio e potássio (Ferreira, 2014).

4.1.2 Altura de planta, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes

A altura das plantas e o número de raízes por planta não foram influenciados significativamente pelas cultivares, fontes de K, doses de K, bem pelas interações desses fatores (Tabela 5). Em média, as plantas de mandioca apresentaram altura de 2,5 m e 5,3 raízes tuberosas por planta. Os resultados de altura da planta corroboram com os achados de Resende *et al.* (2006), que avaliando o uso de três rochas silicáticas potássicas para a cultura do milho, não obteve variação em resposta às doses e fontes de K. Os resultados do presente estudo sobre a variável da altura das plantas, excederam os valores encontrados por Figueiredo (2014), que variaram entre 1,55 e 1,78 m. Em um estudo com cem clones de mandioca, Gomes *et al.* (2007) evidenciaram que a altura da planta está relacionada à produção de raízes, pois segundo Otsubo *et al.* (2008) há uma correlação positiva entre a altura da planta e a biomassa aérea, indicando que superfície foliar maior em plantas mais altas favorece a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de fotoassimilados e, consequentemente, maior produção de raízes.

Tabela 5-Altura da planta, número de raízes por planta, peso médio de raízes e produtividade de raízes de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	Altura (m)	Número de raízes (raiz planta ⁻¹)	Peso médio de raízes (g raiz ⁻¹)	Produtividade de raízes (t ha ⁻¹)
Cultivar				
BRS CS01	2,52a	5,3a	382a	28,1a
IAC 90	2,46a	5,4a	342b	25,7b
Fonte de K				
KCl	2,52a	4,9a	394a	26,7a
Ekosil	2,49a	5,2a	356a	26,0a
Potasil	2,48a	5,6a	367a	28,5a
Potasil Plus	2,50a	5,6a	350a	27,9a
Dose-K ₂ O				
0	2,45	5,19	305	22,1
45	2,49	5,41	377	28,0
90	2,48	5,41	372	28,2
180	2,52	5,18	351	25,5
ANOVA ($P>F$)				
Cultivar	NS	NS	0,0057	0,0104
Fonte	NS	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS	NS
Dose	NS	NS	0,003	<0,001
C×D	NS	NS	NS	NS
F×D	NS	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS
CV (%)	6,7	19,4	19,9	16,0

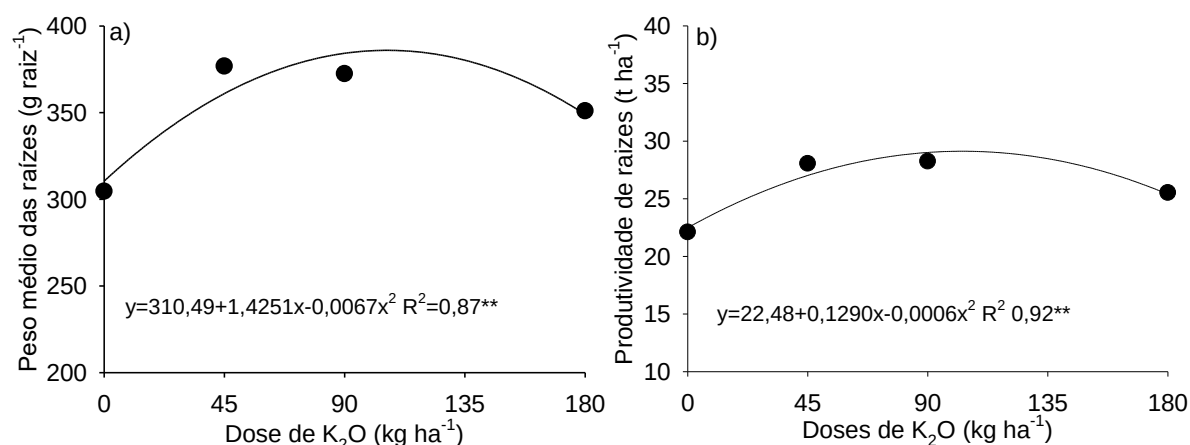
Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo.

O peso médio das raízes foi influenciado pelos fatores cultivar e doses de K (Tabela 5). A cultivar BRS CS01 exibiu maior peso médio de raízes em comparação à cultivar IAC 90. Além disso, observou-se aumento no peso médio de raízes até a dose estimada de 106 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4a). Esse aumento no peso das raízes em relação a adição de K, também foi observada em estudos anteriores como de Gazola (2017) que relatou aumento no peso médio das raízes com doses de até 89 kg ha⁻¹ de K₂O. O K desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de raízes tuberosas, segundo Prajapati e Modi (2012), esse nutriente é essencial para a síntese de carboidratos e seu transporte para as raízes. Mehdi *et al.* (2007) corroboram essa afirmação, destacando que o K promove a fotossíntese e a translocação de açúcares

para as raízes, fornecendo a energia necessária para o crescimento e armazenamento de amido nesses órgãos.

Figura 4-Peso médio (a) e produtividade de raízes (b) de mandioca em resposta a doses de K.



A produtividade de raízes foi influenciada pelas cultivares e doses de K, não havendo efeito significativo do fator fonte ou de suas interações (Tabela 5). A ausência de efeito das fontes de K indica que as fontes alternativas de K apresentam capacidade similar à do KCl em fornecer K para a cultura da mandioca. Estudos com fontes alternativas em áreas com a sucessão de cultivo soja-trigo-milho ou milho-milheto-soja têm mostrado que as fontes alternativas à base de rocha moída possuem eficiência agrônômica equivalente à do KCl e com efeitos residuais mais prolongados que o do KCl, sobretudo nos plantios realizados após um ano da aplicação e com doses acima das recomendadas (Soratto *et al.*, 2021a). Crusciol *et al.* (2022) verificaram que a adubação potássica com fontes alternativas de K à base de rocha foram capazes de fornecer K para as culturas da soja, milho e feijão comum de forma semelhante ao KCl. Essas pesquisas concordam com os resultados do presente estudo.

A cultivar BRS CS01 se destacou com a maior produtividade de raízes (28,1 t ha⁻¹) (Tabela 5). A faixa de produtividade do presente trabalho está dentro da média para o estado do Paraná (23,2 t ha⁻¹), encontrando-se superior à média brasileira que é de 15,1 t ha⁻¹ (Rangel *et al.*, 2021; IBGE, 2020). Rangel *et al.* (2021) ao trabalhar com cultivar BRS CS01 no estado do Paraná obteve valores de produtividade de

raízes de 31,1 t ha⁻¹, superiores ao encontrado no presente estudo. Para o fator dose nota-se que houve aumento na produtividade de raízes até a dose estimada de 107 kg ha⁻¹ de K₂O, indicando a importância desse nutriente para o desenvolvimento das raízes (Figura 4b). Gonzaga *et al.* (2005) e Takahashi e Bicudo (2005) mostraram resultados semelhantes na produtividade de raízes de mandioca, em resposta a aplicação de doses de 100 e 105 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Em um estudo de Sousa (2014), a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de K₂O resultou na maior produção de raízes tuberosas, atingindo 223,2 kg ha⁻¹.

O aumento na 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).

A disponibilidade adequada de potássio no solo durante o cultivo está diretamente ligada ao vigor e à produtividade das plantas, uma vez que esse nutriente desempenha um papel crucial em processos fisiológicos essenciais, como a síntese de substâncias orgânicas, a regulação hídrica e a fotossíntese (Nieves-Cordones *et al.*, 2016; Prajapati; Modi, 2012). A nutrição adequada de K é fundamental para elevar a produtividade e a qualidade das raízes de armazenamento (Okpara *et al.*, 2010). Trabalhos como de Gazola (2017); Ezui *et al.* (2016) e Gonçalves (2018) demonstram resultados significativos com o uso de adubação potássica em plantio de mandioca. Em pesquisa conduzida por Cuvaca *et al.* (2017), demonstraram que a aplicação de 60 kg de K₂O por hectare se mostrou a dose mais eficiente para maximizar a produção de raízes de mandioca.

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

Entre as variáveis estudadas o acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea foi significativamente influenciado pelas cultivares, fontes de K e doses de K (Tabela 6). A cultivar IAC 90 acumulou mais MS na parte aérea comparado a cultivar BRS CS01. Entre as fontes de K, observou-se que o KCl e o Potasil plus proporcionaram maior acúmulo de MS na parte aérea das plantas do que o Potasil. Estudos demonstram que as rochas moídas são uma fonte eficiente de K, proporcionando resultados comparáveis aos fertilizantes convencionais. Em trabalho de Castro *et al.*

(2006) e Oliveira *et al* (2006) em experimentos com girassol e soja utilizando rochas ultramáfica e biotita como fontes de K, apresentaram eficiência comparável à do KCl. Em relação às doses de K, a MS de parte aérea das plantas aumentou até a dose estimada de 146 kg ha⁻¹ de K₂O, demonstrando que independente da fonte de K o seu fornecimento foi essencial para o desenvolvimento da parte aérea das plantas (Figura 5a).

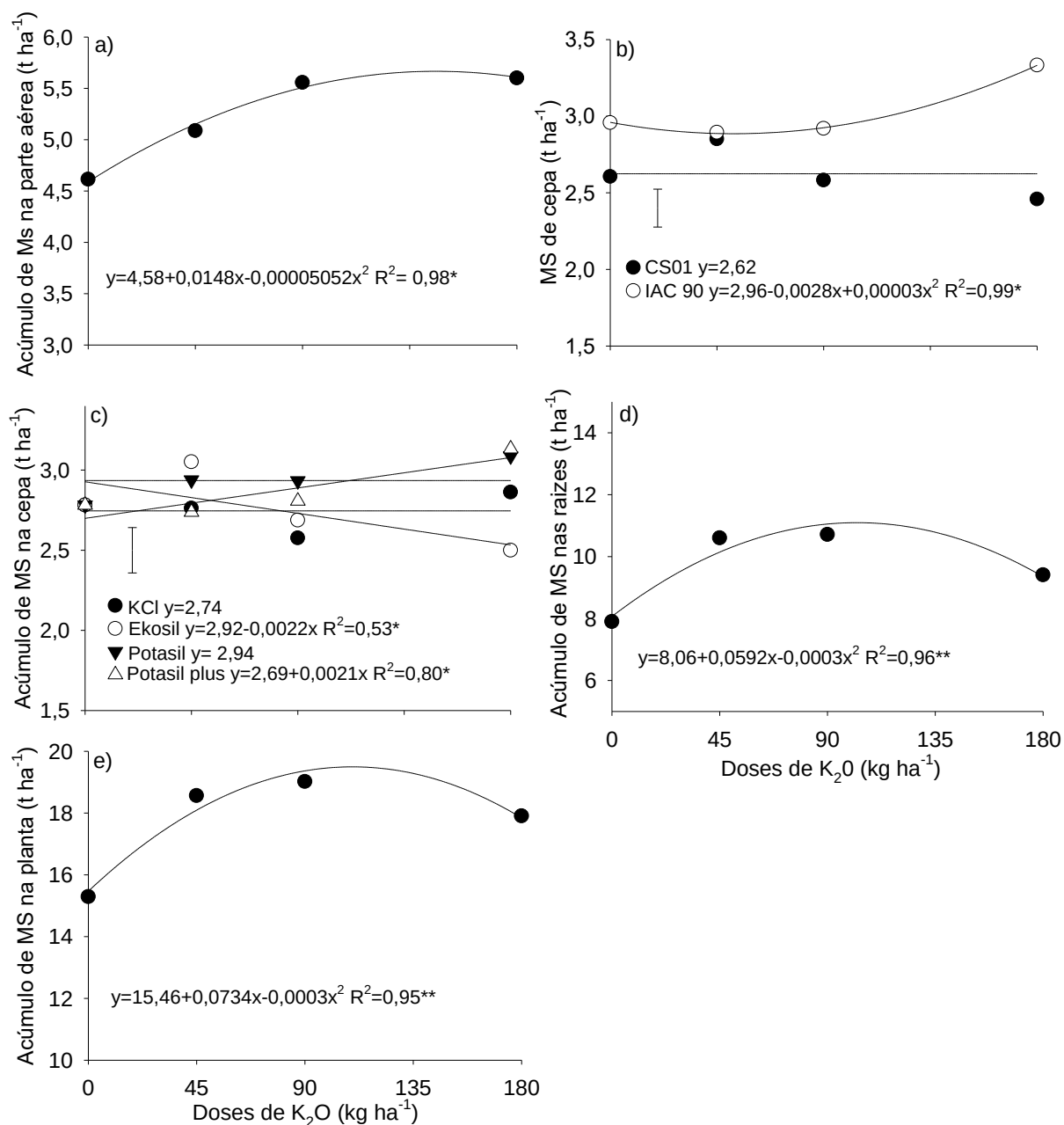
Tabela 6-Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	Acúmulo de MS (t ha ⁻¹)			
	Parte aérea	Cepa	Raízes tuberosas	Planta inteira
Cultivar				
CS01	4,8b	2,6b	10,8a	18,3a
IAC 90	5,9a	3,0a	9,3b	18,2a
Fonte				
KCl	5,5a	2,7b	10,0a	18,2
Ekosil	5,4ab	2,7b	9,7a	17,8
Potasil	5,1b	3,0a	10,6a	18,7
Potasil Plus	5,6a	2,9ab	10,7a	19,2
Dose-K ₂ O				
0	4,6	2,8	7,9	15,3
45	5,1	2,9	10,6	18,6
90	5,6	2,8	10,7	19,0
180	5,6	2,9	9,4	17,9
ANOVA (<i>P>F</i>)				
Cultivar	<0,001	<0,001	<0,0001	NS
Fonte	<0,001	0,0063	NS	NS
C×F	<0,001	<0,001	NS	NS
Dose	<0,001	NS	<0,0001	<0,001
C×D	NS	0,0001	NS	NS
F×D	NS	0,0016	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS
CV (%)	10,84	10,95	16,22	10,34

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo

Figura 5-Acúmulo de MS na parte aérea (a), cepas (b), raízes (c) e na planta inteira (e) da mandioca em resposta a fontes e doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).



Em relação as interações dos fatores estudados apenas a interação C x F foi significativa para o acúmulo de MS na parte aérea (Tabela 6). Nota-se que independentemente da fonte de K adotada a cultivar IAC 90 acumulou mais MS na parte aérea do que a cultivar BRS CS01 (Tabela 7). A aplicação de K mediante a fonte Potasil plus proporcionou o maior acúmulo de MS na parte aérea das plantas

comparado as outras fontes de K. Para a cultivar BRS CS01 as fontes KCl e Ekosil apresentaram maiores valores de acúmulo de MS na parte aérea das plantas comparado a fonte Potasil.

Tabela 7-Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o acúmulo de MS na parte aérea e cepas de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Fonte	BRS CS01	IAC 90
MS de parte aérea (t ha ⁻¹)		
KCl	5,0aB	6,0bA
Ekosil	5,1aB	5,7bA
Potasil	4,5bB	5,8bA
Potasil plus	4,9abB	6,4aA
MS de cepa (t ha ⁻¹)		
KCl	2,7aA	2,8cA
Ekosil	2,6aB	2,9bcA
Potasil	2,5aB	3,4aA
Potasil plus	2,7aB	3,1bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O acúmulo de MS na cepa foi influenciado pelos fatores cultivar, fonte e pelas interações C x F, C x D e F x D (Tabela 6). Para a interação C x F, o desdobramento indica que a cultivar IAC90 acumulou mais MS nas cepas do que a cultivar BRS CS01 somente quando foi fertilizada com as fontes alternativas de K (Tabela 7). Na cultivar BRS CS01 o acúmulo de MS nas cepas não diferiu significativamente entre as fontes de K estudadas. Em contrapartida, na cultivar IAC 90 a fonte Potasil proporcionou o maior acúmulo de MS na cepa, enquanto o menor acúmulo de MS nas cepas ocorreu no tratamento com a fonte KCl. Para os desdobramentos C x D e F x D, nota-se que o acúmulo de MS nas cepas da cultivar IAC 90 ajustou-se a uma equação quadrática em função das doses de K₂O, sendo observado maior MS de cepas na maior dose de K₂O aplicada (180 kg ha⁻¹) (Figura 5b). No entanto, para a cultivar BRS CS01 nota-se que o acúmulo de MS nas cepas se manteve inalterado independente das doses de K₂O aplicadas. Dessa forma, somente nas doses de 0, 90 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O a cultivar IAC 90 acumulou mais MS que a cultivar BRS CS01 nas cepas. Por outro lado, as fontes KCl e Potasil não influenciaram o acúmulo de MS nas cepas da mandioca (Figura 5c). Porém, enquanto a fonte Ekosil diminuiu linearmente o acúmulo

de MS nas cepas, a fonte Potasil plus aumentou de forma linear o acúmulo de MS nas cepas com o incremento das doses de K. Dessa forma, especialmente na maior dose de K (180 kg ha⁻¹ de K₂O) o acúmulo da MS nas cepas das plantas fertilizadas com Ekosil foi menor do que nas plantas fertilizadas com Potasil ou Potasil plus.

Em relação ao acúmulo de MS nas raízes tuberosas ocorreu influência significativa apenas do fator cultivar e das doses de K, não havendo efeito significativo do fator fonte ou de suas interações (Tabela 6). A cultivar BRS CS01 acumulou maiores quantidades de MS nas raízes em comparação a cultivar IAC 90. Em relação as doses de K, verifica-se que a adubação potássica aumentou as quantidades acumuladas de MS nas raízes tuberosas até a dose estimada de 98 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 5d). Gazola (2017), avaliando o efeito de doses de potássio em solos arenosos, apontou que a dose estimada de 105 kg ha⁻¹ de K₂O, foi mais eficiente para o acúmulo de MS nas raízes tuberosas. O fato das fontes de K não terem diferido significativamente em relação ao acúmulo de MS nas raízes tuberosas indica que as fontes alternativas de K apresentaram desempenho similar a fonte solúvel de K em promover o acúmulo de MS nas raízes de ambas as cultivares de mandioca.

A análise de variância demonstra que o acúmulo de MS na planta inteira foi influenciado apenas pelo fator dose de K, não havendo efeito significativo dos demais fatores ou de suas interações (Tabela 6). O acúmulo de MS na planta inteira aumentou de forma quadrática com o incremento nas doses de K₂O, atingindo o pico máximo com a dose estimada de 122 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 5e). Gazola (2017) verificou o acúmulo máximo de MS nas plantas de mandioca com a aplicação da dose estimada de 98 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. Segundo Ramanujam e Indira (1984), a deficiência de K na mandioca compromete o acúmulo de massa seca na planta.

4.1.4 Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido

Os teores de MS e amido nas raízes e a produtividade de amido foram afetadas apenas pelos fatores cultivar e dose de K (Tabela 8). A cultivar BRS CS01 apresentou maior teor de MS e amido nas raízes e, conseqüentemente, maior produtividade de amido. O teor de MS obtido neste estudo encontra-se dentro da faixa de referência de

30% a 42% (Sarmento, 1997). Em estudo com cultivares de mandioca de mesa, Pirolí (2022) obteve valores de teor de MS para a cultivar BRS 396 de 37,5%. Esses valores foram inferiores ao obtido por Figueiredo (2012) que relatou 45% de MS para a cultivar IAC 576-70 (cultivar de mesa). O teor de MS é um importante indicador da qualidade das raízes de mandioca, sendo desejável que as mais produtivas apresentem elevado teor de MS (Sarmento, 1997).

Tabela 8-Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

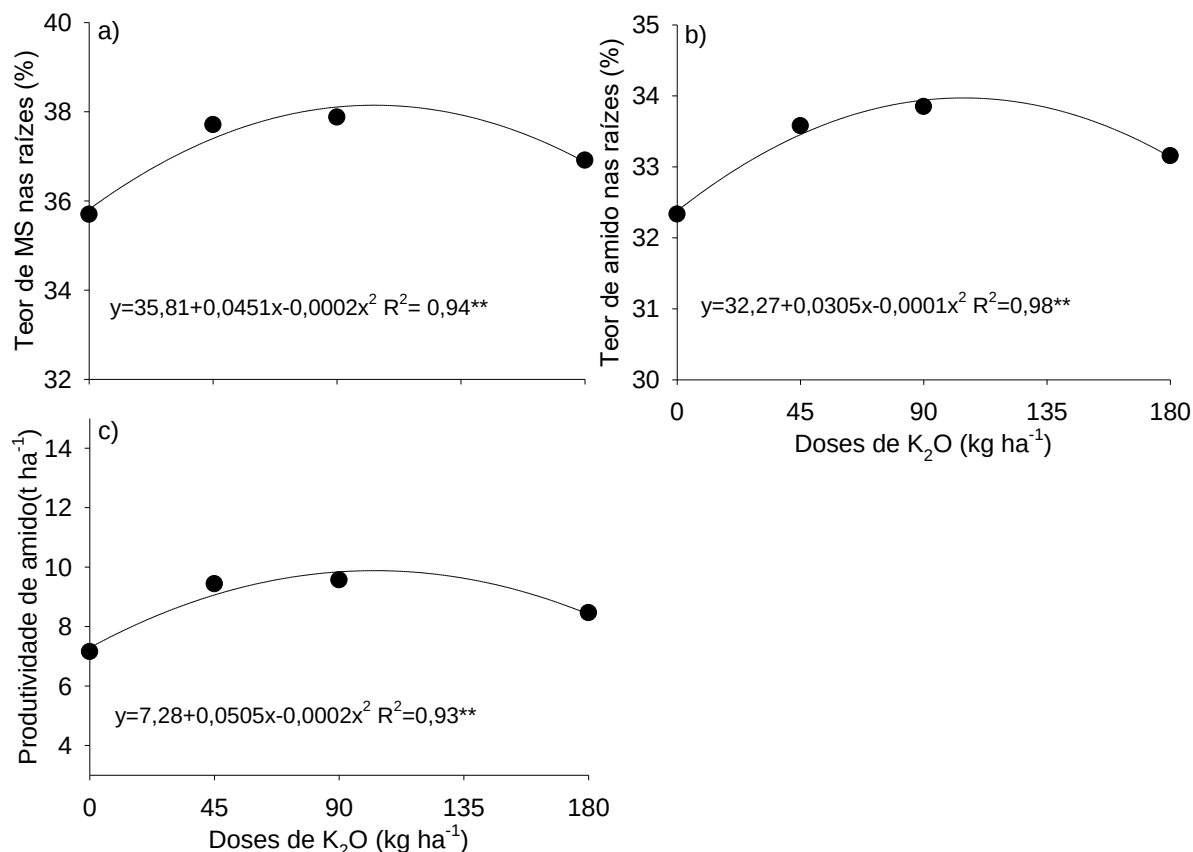
Tratamentos	Teor de MS nas raízes %	Teor de amido nas raízes %	Produtividade de amido t ha ⁻¹
Cultivar			
CS01	38,5a	34,1a	9,6a
IAC 90	36,2b	32,8b	8,4b
Fonte			
KCl	37,5a	33,6a	9,0a
Ekosil	37,2a	33,3a	8,7a
Potasil	37,1a	33,4a	9,5a
Potasil plus	38,2a	33,9a	9,5a
Dose-K ₂ O			
0	35,7	32,3	7,1
45	37,7	33,6	9,4
90	37,9	33,8	9,6
180	36,9	33,2	8,5
ANOVA (P>F)			
Cultivar	<0,0001	<0,0001	0,0004
Fonte	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS
Dose	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C×D	NS	NS	NS
F×D	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS
CV (%)	5,09	2,64	16,03

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo

Com relação as doses de K, nota-se que o teor de MS das raízes aumentou de maneira quadrática até a dose de 113 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6a). Por outro lado, houve aumento no teor de amido das raízes até a dose estimada de 152 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6b). Já a produtividade de amido aumentou até a dose estimada de 126 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6c).

Figura 6-Teor de MS (a) e amido nas raízes (b) e produtividade de amido (c) de mandioca em resposta a doses de K.



O K é um elemento essencial para a síntese de amido e a movimentação de açúcares na planta, além do mais, é primordial para a translocação de fotoassimilados das folhas para as raízes de reserva (Howeler, 2002; Kanto *et al.*, 2012; Uwah *et al.* 2013). O presente estudo mostrou que a adubação potássica aumenta a produtividade de amido da mandioca por melhorar os teores de MS e amido de suas raízes. Souza (2014), em seu estudo com diferentes doses e épocas de aplicação de K na mandioca, observou que os elevados teores de amido ocorreram com a aplicação de 155 kg ha⁻¹ de K₂O. Em geral, teores de amido em raízes tuberosas variando entre 21 a 31% são satisfatórios (Mendonça; Moura; Cunha, 2003), estando os valores encontrados no presente estudo acima do proposto. Silva (2023) em seu estudo observou que com 12 meses de colheita a cultivar BRS CS01 apresentou produtividade de amido de 8,7 t ha⁻¹ abaixo do valor encontrado no presente estudo. Entretanto, Rangel *et al.* (2021) ao estudarem o comportamento de genótipos de mandioca em Paranavaí-PR observou que a cultivar BRS CS01 apresentou produtividade de amido de 13,2 t ha⁻¹.

1. Souza (2014), em estudo com a cultivar Aciolina, atingiu produtividade de amido superior a 14 t ha⁻¹ com a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de K₂O, isso representa um aumento de 4 toneladas de amido em comparação com os resultados do presente trabalho. Segundo Janket *et al.* (2018) o desempenho de diferentes cultivares pode variar devido à interação entre o genótipo e as condições ambientais.

4.2 São Manuel

4.2.1 Diagnose foliar

O teor foliar de N foi influenciado significativamente pelos fatores cultivar, dose de K e as interações C x D e F x D (Tabela 9). Em relação a interação C x D, as doses de K₂O não influenciaram significativamente o teor de N na folha das duas cultivares, no entanto, a cultivar IAC90 apresentou maior teor foliar de N nas doses de 45 e 180 kg ha⁻¹ (Figura 7a). Na interação F x D nota-se que os teores foliares de N diminuíram de forma quadrática apenas quando as plantas foram fertilizadas com Ekosil (Figura 7b). Contudo, quando a mandioca foi fertilizada com as outras fontes de K não houve influência da adubação potássica sobre os teores foliares de N. Os teores de N nas folhas da mandioca estão dentro da faixa considerada adequada (45-60 g kg⁻¹) para a cultura (Lorenzi *et al.*, 1997). Mota (2019) obteve resultado semelhante ao do presente estudo, com teor foliar de N variando de 45-51 g kg⁻¹.

Tabela 9-Teores de macronutrientes na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

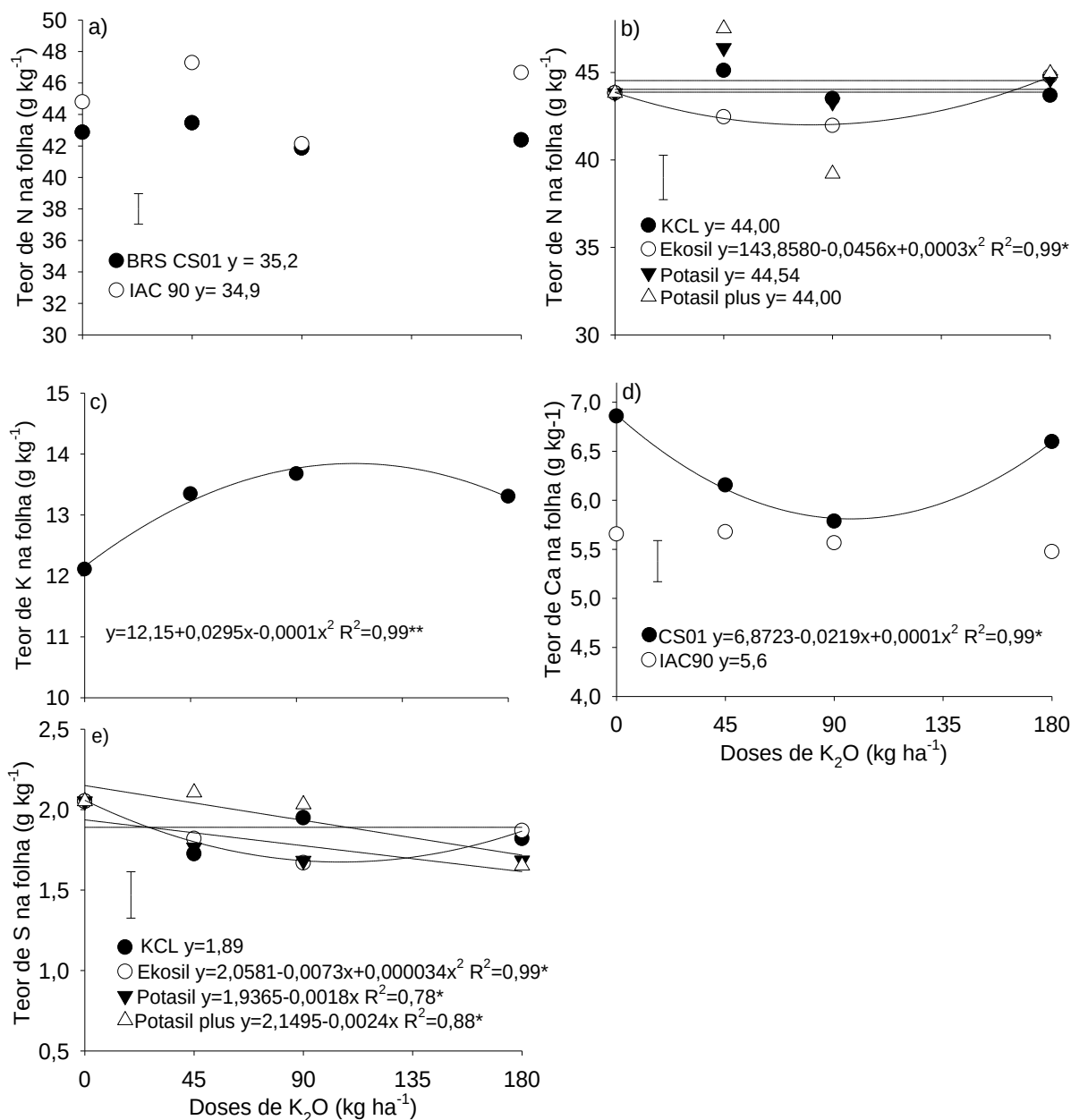
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cultivar	g kg ⁻¹					
CS01	42,5b	2,6a	13,2a	6,3a	2,9a	1,9a
IAC 90	45,2a	2,5a	13,7a	5,6b	2,8a	1,9a
Fonte						
KCl	44,1a	2,6a	13,5a	5,8a	2,8a	1,8a
Ekosil	42,9a	2,5a	13,1a	5,9a	2,8a	1,8a
Potasil	44,8a	2,5a	13,7a	5,8a	2,8a	1,7a
Potasil plus	43,8a	2,6a	13,4a	5,9a	2,9a	1,9a
Dose-K ₂ O						
0	43,8	2,5	12,1	6,3	2,9	2,1
45	45,4	2,6	13,3	5,9	2,8	1,9
90	42,0	2,6	13,7	5,7	2,8	1,8
180	44,5	2,5	13,3	6,0	2,8	1,8
ANOVA (P>F)						
Cultivar	<0,0001	NS	NS	<0,0001	NS	NS
Fonte	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dose	<0,0001	NS	<0,0001	NS	NS	<0,0001
C×D	0,0086	NS	NS	0,0060	NS	NS
F×D	0,0012	NS	NS	NS	NS	0,0333
C×F×D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	6,6	11,4	9,3	10,3	9,55	15,1

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo

Os teores de P nas folhas não foram influenciados pelos tratamentos e foram em média de 2,6 g kg⁻¹ (Tabela 9). Nota-se que os teores foliares de P do presente estudo ficaram dentro da faixa adequada para a cultura da mandioca segundo Lorenzi *et al.* (1997). 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).

Figura 7-Teor foliar de N (a,b), K (c), Ca (d) e S (e) na folha diagnose de mandioca em resposta a doses de K.



No que se refere ao teor foliar de K houve influência apenas do fator dose, não havendo efeito significativo para os fatores cultivar, fonte ou suas interações (Tabela 9). O teor de K apresentou uma equação quadrática em função das doses de K₂O até a dose estimada de 147 kg ha⁻¹, resultando num teor foliar de 14,3 g kg⁻¹ de K (Figura 7 c). Os valores foliares de K do presente estudo está de acordo com a faixa considerada adequada (13-20 g kg⁻¹) para a cultura, conforme estabelecido por Ribeiro *et al.* (1999). O K é o cátion monovalente mais comum pelo balanço iônico nas

células vegetais, não possui função estrutural, porém está envolvido em um elevado número de reações na forma de um catalisador, e outros processos fisiológicos importantes como a fotossíntese (Meyer *et al.*, 1973; Bidwull, 1974).

A análise do teor foliar de cálcio indicou efeito significativo do fator cultivar e da interação C x D (Tabela 9). Na cultivar BRS CS01 o teor foliar de Ca reduziu de forma quadrática até a dose estimada de 110 kg ha⁻¹ de K₂O, mas na cultivar IAC 90 o teor foliar de Ca não foi afetado pelas doses de K. O teor foliar de Ca do presente estudo está dentro da faixa de referência (5-15 g kg⁻¹) estabelecida por Lorenzi *et al.* (1997). Mota (2019) obteve valores próximos ao do presente trabalho, com 5 a 5,9 g kg⁻¹ de Ca nas folhas. O Ca por é essencial para a formação da parede celular, sendo o nutriente mais abundante nas raízes e folhas (Malavolta, 2006). Sua absorção, que ocorre principalmente em células radiculares não suberizadas, pode ser influenciada pela presença de outros íons, como o potássio (Gonçalves, 2018).

O teor foliar de Mg não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 9). Os teores foliares de Mg obtidos neste estudo ficaram de acordo com os teores considerados adequados por Lorenzi *et al.* (1997), que estão entre 2 e 5 g kg⁻¹ de Mg. Esse resultado corrobora com os resultados obtidos por Gazola (2017) que ao estudar doses e formas de parcelamento de adubação potássica, também não observou influência dos tratamentos sobre o teor foliar de Mg.

O teor de S na folha da mandioca foi influenciado apenas pelo fator dose e pela interação F x D (Tabela 9). As plantas fertilizadas com KCl mantiveram seus teores foliares de S inalterados pelas doses de K (Figura 7e). No entanto, no tratamento fertilizado com Ekosil houve uma redução quadrática nos teores foliares de S até a dose estimada de 107 kg ha⁻¹. Para as fontes Potasil e Potasil plus, os teores foliares de S diminuíram de forma linear com o aumento das doses de K. Nas doses de 45 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O os maiores teores foliares de S ocorreram no tratamento que recebeu Potasil plus. O S absorvido pelas plantas principalmente na forma de sulfato (SO₄²⁻), acumula-se em maior quantidade nas folhas, sendo responsável pela síntese de proteínas, cistina e metionina além de ser o precursor de vitaminas, como por exemplo, a vitamina A (Fullin *et al.*, 2007; Coleman, 1966). Os valores de S no presente estudo ficaram abaixo da faixa de teores proposta como adequada para a cultura (3 a 4 g kg⁻¹), segundo Lorenzi *et al.* (1997). Contudo, não se verificou sintomas visuais de deficiência de S nas plantas.

No que se refere aos micronutrientes, os teores de B nas folhas foram influenciados pelos fatores isolados e pela interação C x F (Tabela 10). A cultivar IAC 90 apresentou maior teor foliar de B em relação a cultivar BRS CS01. A adubação potássica com as fontes KCl e Ekosil não alterou os teores foliares de B (Figura 8a). Entretanto, o fornecimento de K na forma de Potasil e Potasil plus diminuiu os teores foliares de B à medida que se aumentou as doses de K. Assim, nas maiores doses de K o teor foliar de B no tratamento fertilizado com Ekosil foi maior do que nos tratamentos que receberam Potasil e Potasil plus. A utilização de adubos oriundos de rocha moída apresenta efeito positivo sobre a nutrição, crescimento e produção da cultura da mandioca, seja em substituição ou complementação as fontes convencionais (Souza *et al*, 2016). No estudo de Gazola (2017), o aumento das doses de K no segundo ano de cultivo resultou na redução dos teores de B nas folhas de mandioca.

Para o teor de Cu na folha, a análise de variância indicou haver diferença significativa para os fatores fonte de K, dose de K e as interações C x F, C x D e F x D (Tabela 10). Apenas quando se aplicou a fonte Ekosil os teores foliares de Cu na cultivar IAC 90 foram maiores do que na cultivar BRS CS01 (Tabela 11). Porém, na cultivar BRS CS01 os teores foliares de Cu não diferiram entre as fontes de K estudadas, diferentemente do que ocorreu na cultivar IAC 90, em que o uso da fonte Ekosil proporcionou teores foliares de Cu maiores do que nas outras fontes de K estudadas.

Na cultivar BRS CS01 o teor foliar de Cu não foi afetado pelas doses de K, mas na cultivar IAC 90 a aplicação de K diminuiu linearmente os teores foliares de Cu (Figura 8b). Somente na dose de 0 kg ha⁻¹ de K₂O houve diferença entre as cultivares, havendo maiores teores foliares de Cu na cultivar IAC 90. Com relação as fontes de K, nota-se que quando foram aplicadas as fontes KCl e Ekosil os teores foliares de Cu não foram alterados pelas doses crescente de K (Figura 8c). No entanto, a adubação potássica com as fontes Potasil e Potasil plus diminuiu os teores foliares de Cu. O uso de rochas moídas na adubação das plantas, é uma tecnologia promissora para reduzir a utilização de produtos químicos na agricultura, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis (Pinheiro; Barreto, 1996; Theodoro, 2000). Os teores de Cu na folha diagnose da mandioca no presente estudo ficaram dentro da faixa considerada adequada por Lorenzi *et al*. (1997) que é de 5 a 25 mg kg⁻¹. O Cu é essencial para a atividade de diversas enzimas envolvidas

na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos. Sua deficiência reduz a produção de matéria seca, uma vez que compromete a fixação de CO₂ e a síntese de compostos orgânicos (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Tabela 10-Teores de micronutrientes na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cultivar			mg kg ⁻¹		
CS01	35,4b	8,0a	119,6a	110,4a	55,9a
IAC 90	38,7a	8,3a	104,2b	110,1a	49,8b
Fonte					
KCl	36,4b	8,1b	115,4a	117,5a	54,7
Ekosil	38,5a	8,6a	112,2a	106,9b	53,2
Potasil	36,2b	7,7b	117,8a	103,0b	51,2
Potasil plus	35,5b	7,7b	111,8a	104,6b	51,5
Dose-K ₂ O					
0	37,9	8,6	104,3	115,7	53,3
45	37,3	8,5	113,7	108,1	53,8
90	35,9	7,5	112,6	104,1	51,9
180	36,9	8,0	117,1	112,8	52,2
ANOVA (<i>P</i> > <i>F</i>)					
Cultivar	<0,0001	NS	<0,0001	NS	<0,0001
Fonte	<0,0001	<0,0001	NS	0,0034	0,0272
C×F	NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	NS
Dose	0,0241	<0,0001	<0,0001	0,0068	NS
C×D	NS	0,0221	0,0167	<0,0001	<0,0001
F×D	0,0271	0,0240	<0,0001	NS	0,0018
C×F×D	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	7,3	10,3	10,1	13,0	8,48

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo

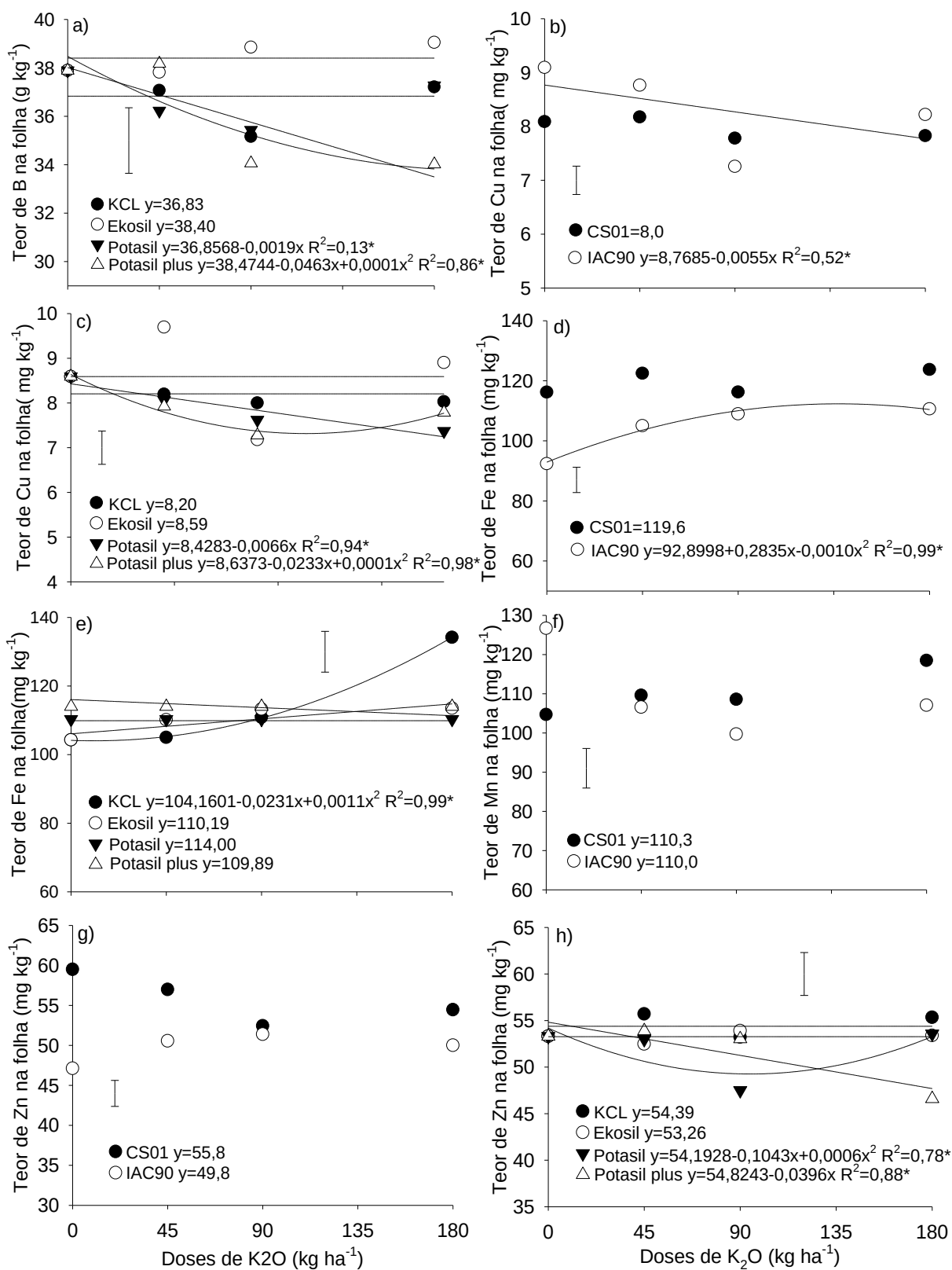
Tabela 11-Desdobramento da interação Cultivar x Fonte para o teor de Cu, Fe e Mn na folha diagnose de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Fontes de K	Cultivar	
	BRS CS01	IAC 90
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	8,2aA	7,9bA
Ekosil	7,9aB	9,3aA
Potasil	7,8aA	7,5bA
Potasil plus	7,7aA	7,6bA
Teor de Fe na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	115,3bA	118,0aA
Ekosil	116,5bA	108,1bA
Potasil	134,0aA	100,5bB
Potasil plus	117,4bA	106,1bB
Teor de Mn na folha (mg kg ⁻¹)		
KCl	116,2abA	119,4aA
Ekosil	126,3aA	88,4cB
Potasil	100,1cA	107,0bA
Potasil plus	106,2bcA	102,9bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Para os teores de Fe na folha diagnose houve efeito dos fatores cultivar, dose de K e das interações C x F, C x D e F x D (Tabela 10). Na cultivar BRS CS01 a aplicação de Potasil ocasionou maior teor foliar de Fe nas plantas de mandioca do que nas outras fontes de K estudadas, as quais não diferiram entre si (Tabela 11). Para a IAC 90, o uso da fonte KCl proporcionou teores foliares de Fe maiores do que nas fontes de K, as quais não diferiram significativamente entre si. Além disso, o teor foliar de Fe na cultivar BRS CS01 foi maior do que na cultivar IAC 90 apenas quando se utilizou as fontes Potasil e Potasil plus. A interação C x D indicou que a cultivar BRS CS01 não teve seus teores foliares de Fe alterados pelas doses de K₂O, mas na cultivar IAC 90 os teores de Fe nas folhas aumentaram de forma quadrática até os 142 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 8d). Com relação às fontes de K, nota-se que apenas quando a mandioca foi fertilizada com KCl os teores foliares de Fe aumentaram até a maior dose de K estudada (Figura 8e). Na maior dose de K os teores foliares de Fe no tratamento que recebeu KCl foi maior do que nas outras fontes de K.

**Figura 8-Teor foliar de B (a), Cu (b,c), Fe (d,e), Mn (f) e Zn (g,h) na folha
diagnose de mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais
indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p<0,05$).**



Os teores foliares de Fe ficaram dentro do intervalo considerado como adequado, que é de 60 a 200 mg kg⁻¹ (Lorenzi *et al.*, 1997).

Em relação aos teores de Mn nas folhas, verifica-se que houve efeito significativo das fontes e doses de K e das interações C x F e C x D (Tabela 10). A cultivar BRS CS01 apresentou teores foliares de Mn mais elevados com o uso da fonte Ekosil, mas na cultivar IAC 90, a aplicação de KCl promoveu teores foliares de Mn maiores do que nas outras fontes de K (Tabela 11). Destaca-se que apenas quando se utilizou o Ekosil os teores foliares de Mn na cultivar BRS CS01 foram maiores do que na cultivar IAC 90. As doses de K₂O não influenciaram significativamente o teor de Mn na folha das duas cultivares, mas a cultivar BRS CS01 apresentou maior teor de Mn nas folhas quando se aplicou a dose de 180 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 8f). Os teores de Mn na folha diagnose ficaram acima da faixa considerada adequada (25 a 100 mg kg⁻¹) para a mandioca (Lorenzi *et al.*, 1997), indicando que as necessidades nutricionais da cultura em relação a esse elemento foram atendidas.

Os teores de Zn na folha diagnose sofreram influência significativa da cultivar, fonte de K e das interações C x D e F x D (Tabela 10). Os teores foliares de Zn não sofreram influência significativa das doses de K₂O aplicadas, mas a cultivar BRS CS01 apresentou maior teor foliar de Zn do que a cultivar IAC 90 nas doses de 0, 45 e 180 kg ha⁻¹ (Figura 8g). No caso da fertilização com as fontes KCl e Ekosil não houve influência das doses aplicadas sobre os teores de Zn na folha, mas quando a fertilização foi realizada com as fontes Potasil e Potasil plus houve redução do teor foliar de Zn com o aumento das doses de K aplicadas (Figura 8h). Os teores foliares de Zn encontrados neste estudo, estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura da mandioca (35 a 100 mg kg⁻¹), conforme Lorenzi *et al.* (1997). O Zn é essencial para a produção do hormônio vegetal, ácido indolacético (AIA) que promove o crescimento celular (Orlando Filho *et al.*, 2001; Taiz; Zeiger, 2013).

4.2.2 Altura de planta, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes

A altura de plantas foi influenciada apenas pela interação cultivar x dose (Tabela 12). A altura das plantas da cultivar BRS CS01 aumentou com a adubação potássica de forma linear, por outro lado, na cultivar IAC 90 a altura de plantas não foi afetada pelos tratamentos (Figura 9a). Dessa forma, no controle (dose zero) as plantas da

cultivar IAC 90 foram mais altas do que as plantas da cultivar BRS CS01. Rós (2013) e Souza (2014) obtiveram aumentos significativos na altura de plantas de mandioca com a aplicação de K_2O , atingindo, respectivamente, 2,0 m e 2,35 m. Por outro lado, Gazola (2017) ao trabalhar com doses e formas de parcelamento de adubação potássica em solo arenoso, encontrou valores de altura da planta entre 1,4 e 1,8 m. A altura das plantas de mandioca é um fator crucial a ser considerado tanto no manejo de plantas daninhas quanto no planejamento de sistemas consorciados (Rós, 2013).

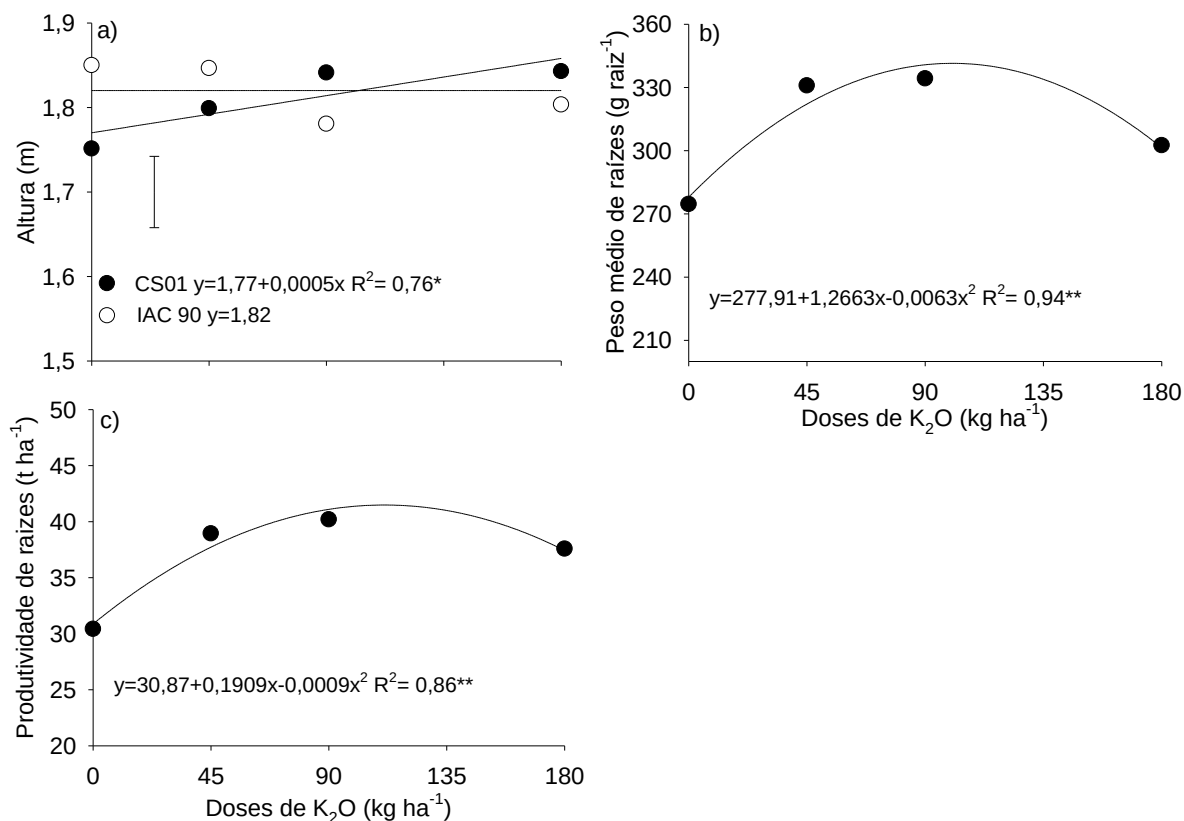
Tabela 12-Altura de plantas, número de raízes, peso médio de raízes e produtividade de raízes de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	Altura (m)	Número de raízes (raiz planta ⁻¹)	Peso médio de raízes (g raiz ⁻¹)	Produtividade de raízes (t ha ⁻¹)
Cultivar				
BRS CS01	1,81a	8,4a	278b	34,6a
IAC 90	1,82a	8,7a	343a	38,9a
Fonte de K				
KCl	1,84a	9,1a	328a	40,4a
Ekosil	1,82a	8,6a	318a	37,8a
Potasil	1,80a	8,9a	306a	37,7a
Potasil plus	1,82a	8,4a	338a	39,7a
Dose- K_2O				
0	1,80	7,95	275	30,4
45	1,82	8,60	331	38,9
90	1,81	8,66	334	40,2
180	1,82	9,05	303	37,6
ANOVA ($P>F$)				
Cultivar	NS	NS	0,0016	NS
Fonte	NS	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS	NS
Dose	NS	NS	0,002	<0,001
C×D	0,007	NS	NS	NS
F×D	NS	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS
CV (%)	6,42	20,06	23,10	23,08

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo.

Figura 9-Altura de plantas de mandioca em resposta a doses de K. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$).



O número de raízes por planta não foi influenciado significativamente pelos fatores estudados ou suas interações (Tabela 12). O número médio de raízes por planta foi de 8,4 para a cultivar BRS CS01 e de 8,7 para a cultivar IAC 90. Esse resultado está de acordo com Aguiar (2011), que encontrou um valor próximo para a cultivar IAC 90 de 8,08 número médio de raízes por planta. Figueiredo (2014) em trabalho feito sob diferentes formas de preparo do solo, obteve para a cultivar IAC 576-70 valores de 9 a 10 raízes por planta. Esses resultados estão acima aos obtidos por Sousa (2014) que encontrou um valor médio de 7,77 raízes por planta, ao aplicar doses de 240 kg ha⁻¹ de K₂O. 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).

O peso médio das raízes foi influenciado apenas pelos fatores cultivar e dose de K (Tabela 12). A cultivar BRS CS01 obteve menor peso médio de raízes do que a

cultivar IAC 90. Com relação às doses de K, nota-se que houve aumento no peso médio das raízes tuberosas até a dose estimada de 100 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9b). Resultados semelhantes foram encontrados por Gazola (2017) que notou aumento no peso médio das raízes tuberosas até a dose de 89 kg ha⁻¹ de K₂O. 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).

A produtividade de raízes foi influenciada apenas pelo fator dose (Tabela 12). A produtividade de raízes aumentou de forma quadrática com a adubação potássica até a dose estimada de 106 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9c). Gonçalves (2018) obteve incremento na produtividade de raízes de mandioca com o acréscimo de K ao solo, com maior produtividade de raízes na dose estimada de 70 kg de K₂O ha⁻¹. O aumento da produtividade de raízes em função das doses de K₂O pode ser atribuído ao papel do K na ativação de enzimas essenciais ao metabolismo vegetal, como a fotossíntese e a utilização de energia a translocação de fotoassimilados (Figueiredo *et al.*, 2008; Souza, 2014). A produtividade das culturas está relacionada ao suprimento adequado de K, ele participa de processos essenciais como a síntese de proteínas e amido, abertura e fechamento estomático e fotossíntese (Prajapati; Modi, 2012; Nieves-Cordones *et al.*, 2016).

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

As quantidades de MS acumuladas nas cepas não foram afetadas pelos tratamentos (Tabela 13). Porém, na parte aérea, raízes tuberosas e planta inteira o acúmulo de MS foi influenciado apenas pelo fator dose de K. As quantidades de MS acumuladas na parte aérea, raízes e planta inteira aumentaram até as doses estimadas de 77,2, 120 e 107 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 10 a,b,c).

Tabela 13-Acúmulo de MS da parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

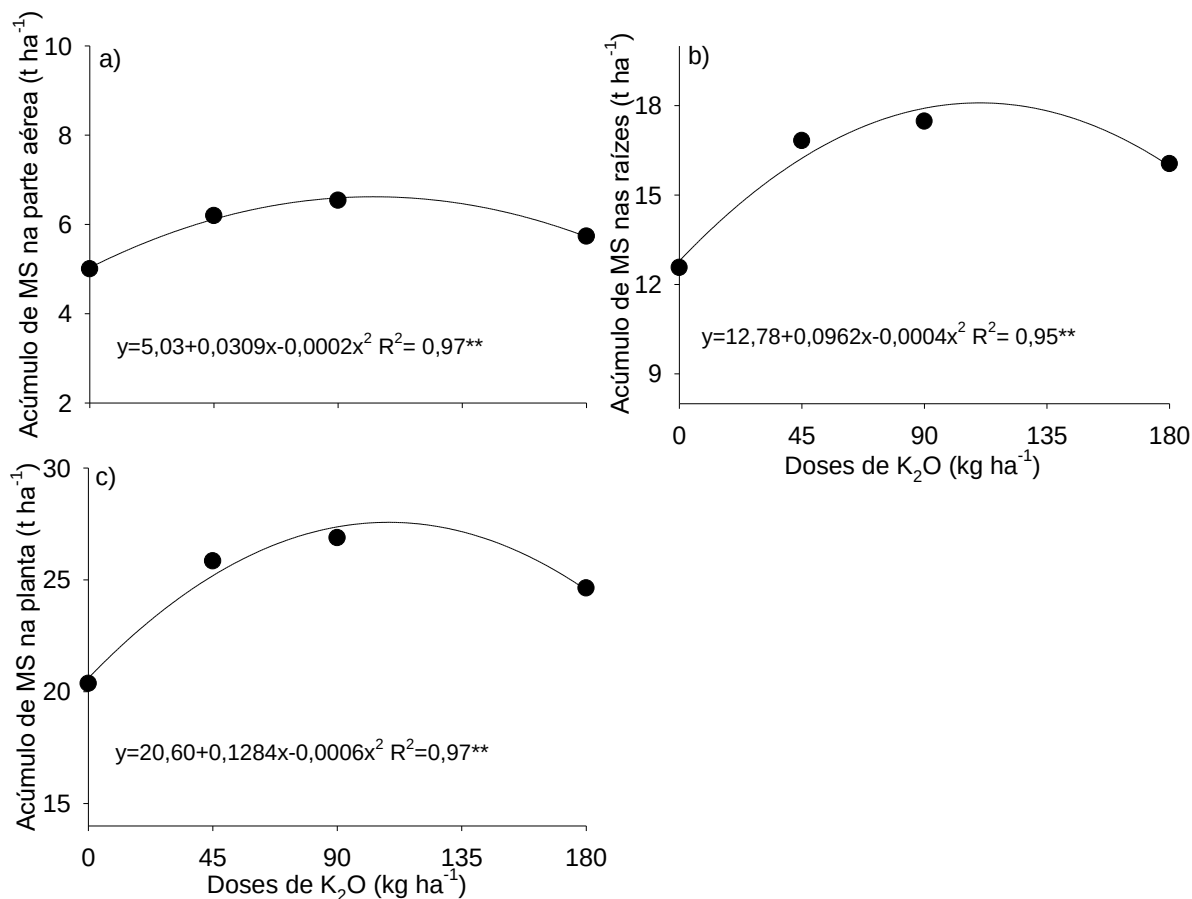
Tratamentos	Acúmulo de MS (t ha ⁻¹)			
	Parte aérea	Cepa	Raízes tuberosas	Planta inteira
Cultivar				
CS01	5,9a	2,9a	15,2a	24,0a
IAC 90	5,8a	2,8a	16,2a	24,8a
Fonte				
KCl	6,7a	2,8a	17,5a	27,0a
Ekosil	5,9a	2,7a	16,4a	25,1a
Potasil	5,8a	2,9a	16,3a	25,0a
Potasil plus	6,2a	2,9a	16,9a	26,0a
Dose-K ₂ O				
0	5,0	2,8	12,6	20,4
45	6,2	2,8	16,8	25,8
90	6,5	2,9	17,5	26,9
180	5,7	2,8	16	24,6
ANOVA (<i>P</i> > <i>F</i>)				
Cultivar	NS	NS	NS	NS
Fonte	NS	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS	NS
Dose	0,007	NS	<0,001	<0,001
C×D	NS	NS	NS	NS
F×D	NS	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS	NS
CV (%)	32,04	26,09	23,85	18,31

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo.

Segundo Cock *et al.* (1979) a parte aérea (folhas e hastes) possui preferência na assimilação dos carboidratos e somente quando em excesso são transferidos para as raízes. Neste estudo, a adubação potássica, independente da fonte, aumentou o desenvolvimento da parte aérea das plantas de mandioca, o que contribuiu para melhorar a produtividade da cultura. A pesquisa de Gazola (2017) em solos arenosos, revelou que o maior acúmulo de MS nas raízes tuberosas ocorreu com a dose estimada de 105 kg ha⁻¹ de K₂O, e a dose estimada de 98 kg ha⁻¹ de K₂O resultou no máximo acúmulo de MS na planta inteira.

Figura 10-Acúmulo de MS na parte aérea (a), raízes tuberosas (b) e na planta inteira de mandioca em resposta a doses de K.



4.2.4 Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido

O teor de MS e amido nas raízes tuberosas foi influenciado pelos fatores cultivar e dose de K, enquanto a produtividade de amido foi afetada apenas pelas doses de K (Tabela 14). Na cultivar BRS CS01 os teores de MS e amido foram maiores do que na cultivar IAC 90. Com relação as doses de K, verifica-se que os teores de MS, amido e a produtividade de amido aumentaram até as doses estimadas de 100, 105 e 106 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 11a, b e c).

Tabela 14-Teor de MS e amido nas raízes e produtividade de amido de duas cultivares de mandioca em função de fontes e doses de K.

Tratamentos	Teor de MS nas raízes %	Teor de amido nas raízes %	Produtividade de amido t ha ⁻¹
Cultivar			
BRS CS01	43,9a	38,4a	13,3a
IAC 90	41,6b	36,9b	14,4a
Fonte			
KCl	43,3a	38,0a	15,3a
Ekosil	43,4a	37,9a	14,4a
Potasil	43,1a	37,8a	14,3a
Potasil plus	42,8a	37,6a	14,9a
Dose-K ₂ O			
0	41,5	37,1	11,2
45	43,2	37,8	14,7
90	43,5	38,1	15,3
180	42,7	37,6	14,1
ANOVA (P>F)			
Cultivar	<0,0001	<0,0001	NS
Fonte	NS	NS	NS
C×F	NS	NS	NS
Dose	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C×D	NS	NS	NS
F×D	NS	NS	NS
C×F×D	NS	NS	NS
CV (%)	4,06	2,22	23,63

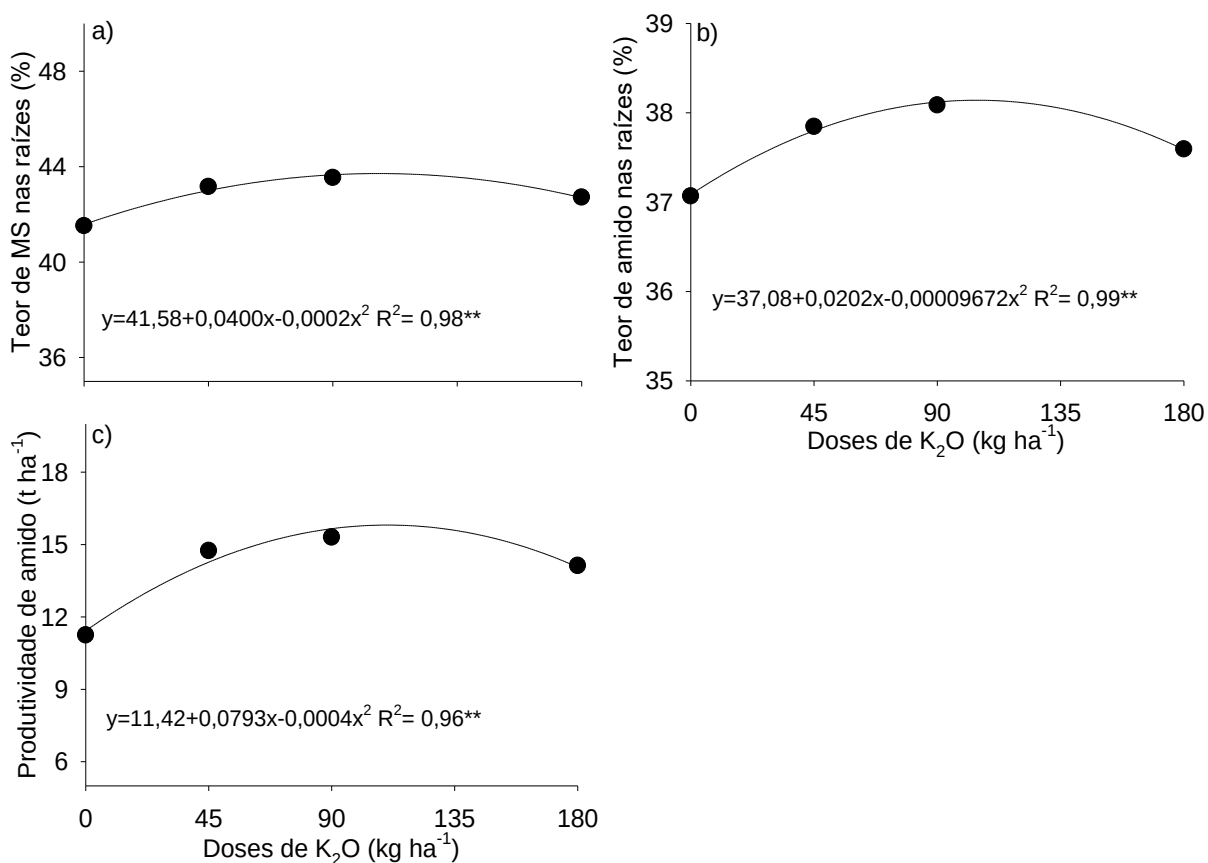
Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

NS: não significativo.

Segundo Sarmento (1997) os teores de MS nas raízes tuberosas da mandioca encontram-se dentro de uma faixa entre 30 a 42%, a qual chegou a ser menor do que a verificada em alguns tratamentos do presente estudo. Silva (2023) obteve aos 12 meses de cultivo para as cultivares IAC 90 e BRS CS01 teores de amido de 34,01 e 35,0% respectivamente. Já Piroli (2022) estudando adubação boratada em cinco cultivares de mandioca, obteve valores de 22 a 34 % de teor de amido nas raízes. O teor de amido é componente principal da polpa da mandioca, fazendo parte de 96% dos carboidratos ali presentes (Alarcón; Dufour, 2012). O amido da raiz é composto basicamente por amilose e amilopectina (Wheatley, 1991), duas estruturas importantes que são os principais constituintes das raízes, e pelas características de inchaço da célula, formação de gel e entre outras que influenciam na textura final (Wheatley, 1991; Padonou; Nago; Mestres, 2005; Charoenkul *et al.*, 2006). A

mandioca possui mais carboidratos nas raízes que batata e outros alimentos (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009).

Figura 11-Teor de MS (a) e amido nas raízes (b) e produtividade de amido (c) da mandioca em resposta a doses de K.



Com relação a produtividade de amido, Souza (2014) também observou aumento na produtividade de amido com aumento da adubação potássica alcançando 14 t ha⁻¹ na cultivar Aciolina. Fernandes *et al.* (2017) observaram um incremento de 49% na produtividade de amido após a aplicação de K no segundo ciclo de cultivo da mandioca. O K é fundamental para a produção de amido e para o transporte de açúcares nas plantas, incluindo a transferência de nutrientes das folhas para as raízes (Boateng; Boadie, 2010).

5 CONCLUSÕES

Nos dois locais, Paranavaí e São Manuel, a cultivar BRS CS01 apresentou raízes mais pesadas do que a cultivar IAC 90, mas ela foi mais produtiva apenas em São Manuel.

As fontes alternativas de K conseguiram suprir K para a mandioca de forma similar ao KCl, independentemente da cultivar ou do local de cultivo.

Em ambas as cultivares ou fontes de K, a produtividade máxima de raízes e amido ocorreu com doses ótimas de 106-108 e 99-126 kg ha⁻¹ de K₂O.

REFERÊNCIAS

- ABAM, Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca, 2021. Disponível em: <https://abam.com.br/iac-lanca-novas-variedades-de-mandioca/> . Acesso em 30/04/2023.
- AGUIAR, E.B. **Estudo da poda da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. 144 f. Tese (Doutor em agronomia). Faculdade de ciências agronômicas- UNESP, Botucatu. 2011.
- ALARCÓN, F. M.; DUFOUR, D. Sour Cassava Starch in Colombia. In: OSPINA, B.; CEBALLOS, H. (Org.). **Cassava in the third millennium: modern production, processing, use, and marketing systems**. 1. Ed. Cali: CIAT, p. 113 – 138, 2012.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, v.7, p.138-169, 2006.
- APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. 2022. IAC lança quatro novas cultivares de mandioca. Disponível em: <https://balancosocial.apta.sp.gov.br/artigos/agro-mais-produtivo-e-diversificado/iac-lanca-quatro-novas-cultivares-de-mandioca/>. Acesso em 22/05/2023.
- AZEREDO, V. **Resposta do capim humidicola (*urochloa humidicola*) a doses dos fertilizantes cloreto de potássio e Ekosil**. 2021. 25 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Taubaté- Departamento de ciências agrárias. Taubaté, 2021.
- BARBOSA, S. R; FERREIRA, A. S. C.; ROSAL, L. F. Diagnóstico Socioeconômico dos Produtores de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) da Cooperativa COAFTA, Terra Alta, Pará. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 361–369, 2023.
- BIDWELL, R. G. S. **Plant physiology**. Nova Iorque: MacMillan, 643.p, 1974.
- BOATENG, S. A.; BOADI. S. Cassava yield response to sources and rates of potassium in the forest–savanna transition zone of Ghana. **African Journal of Root and Tuber Crops**, v. 8, p. 1-5, 2010.
- CADAVID, L. F. Soils and fertilizers for the Cassava crop. In: OSPINA, B.; CEBALLOS, H. (Org.). **Cassava in the third millennium: modern production, processing, use, and marketing systems**. 1. ed. Cali: CIAT. P. 113 – 138, 2012.
- CAMPOS, M. F. **Desenvolvimento da planta de mandioca em função da calagem e adubação com zinco**. 2000. Tese (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CARDOSO JÚNIOR, N.S. *et al.* Efeito do nitrogênio em características agronômicas da mandioca. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.651-659, 2005.

CARDOSO, C.E.L.; SOUZA, J.S.; GAMEIRO, A.H. **Aspectos econômicos e mercado**. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical. Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2006. p. 41-70.

CARVALHO, F. L. C *et al.* Efeito da redução do preparo do solo sobre o comportamento produtivo da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 6, p. 609-614, 1988.

CASTRO, C. *et al* (2006). **Rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do girassol**. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 27. Bonito. Fertbio 2006. *Anais*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. (Documentos, 82).

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. e SALINET, L. H. Rochas Brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários – efeito residual. In: Reunião Nacional de Pesquisa em Girassol, 16, Londrina, *Anais*. Londrina: Embrapa Soja. 2005.

CHAROENKUL, N.; UTTAPAP, D.; PATHIPANAWAT, W.; TAKEDA, Y. Molecular structure of starches from cassava varieties having different cooked root textures. **Starch**, v. 58, n. 9, p. 443 – 452, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.200600515>. Acesso em: 10 Nov. 2024.

CHUA, Ming Fung *et al.* Potassium fertilisation is required to sustain cassava yield and soil fertility. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1103, 2020.

CIAMP, A. Y. *et al.* Chemical characteristics and safety of cassava products used for food and feed consumption. **Food Chemistry**, v. 290, p. 217–226, 2019.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Plant Physiology**, New York, n. 31, p. 239-298, 1980.

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.

CONAB. Histórico mensal mandioca. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/51987_3201329c95fb5ceac2d88b6ee8ac6edc. Acesso 20 de Mar. 2025.

CONCEIÇÃO, J. A. A mandioca. São Paulo: Nobel. p 382, 1981.

CRUSCIOL, C. A. C; SORATTO, R. P. Eficiência de rocha fonólito moída como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja. In: **Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem**. p. 327-337. 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; GILABEL, A.P.; COSTA, C.H.M. da; CAMPOS, M. de; CASTRO, G.S.A.; FERRARI NETO, J. Broadcast application of ground silicate rocks as potassium sources for grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.57, e02443, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02443>.

CUVACA, I. B. *et al.* (2017) Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on cassava tuber yield in the coastal district of Dondo, Mozambique. *African Journal of Agricultural Research*. 12 (42), 3112-3119. 2017.

EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F. Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. **Experimental Agriculture**, v. 36, n. 3, p. 323-334, 2000. em: 15 dez. 2024.

EMBRAPA. **RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ADUBAÇÃO PARA O CULTIVO DE MANDIOCA**. Comunicado técnico 133. ISSN 1809-502 X Cruz das Almas, BA dezembro, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2016. BRS CS01: Nova cultivar de mandioca para os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. Embrapa Mandioca e Fruticultura: Cruz das Almas. p.2, 2016.

EZUI K.S., *et al.* (2016) Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. *Field Crop Res.* 185:69-78. 2016.

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.

FIGUEIREDO, P. G. **Morfo-anatomia de raízes tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivar IAC 576-70 em diferentes preparos do solo**. 2012. 73f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2012.

FIGUEIREDO, P. G. **Componentes agronômicos e índices fisiológicos da mandioca correlacionados ao preparo do solo**. 2014. 73f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2014.

FELTRAN J. C. *ET AL.* Mandioca para indústria (*Manihot esculenta*). In: **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 325-329. (Boletim Técnico, 100). 2022.

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. 20, p. 2785-2796, 2017.

FERREIRA, A. B. **Fertilidade do solo, exigências nutricionais e recomendação de calagem e adubação para mandioca (*manihot esculenta* crantz) cultivada na comunidade tukano de tapira ponta, são gabriel da cachoeira, AM.** 2014. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro agrônomo) - Instituto de educação, agricultura e ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001> Acesso em Abril de 2023.

FERREIRA, N. R. **Eficiência agronômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação à disponibilidade de fósforo.** 2014. Dissertação (Mestre em Agricultura) Universidade Estadual Paulista Filho, Faculdade de Ciências agrônômicas, Botucatu. 2014.

FERREIRA, N. R. **Eficiência agronômica 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.

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

FULLIN, E.A. *et al.* **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 adubação para o estado do Espírito Santo- 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, p. 43-69, 2007.

GAZOLA, B. *et al.* Potassium management effects on yield and quality of cassava varieties in tropical sandy soils. **Crop and Pasture Science**, v. 73, n. 3, p. 285-299, 2022.

GAZOLA, B. **Produtividade e cozimento da mandioca cultivar IAC 576-70 em resposta à adubação potássica em solo arenoso.** 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

GOMES, J. de C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L. da S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P. de; FUKUDA, W. M. G. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, cap. 9, p. 215-247.2006.

GOMES, C.N. *et al.* Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, v. 42, n. 8, 2007.

GONÇALVES, Y. S. **Fontes e doses de potássio na produtividade e qualidade da mandioca de mesa**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018. 59 p. 2018.

GONZAGA, R.L.; VELOSO, E.S.; MAMORÉ, G.L.; TOSTA, F.S.; SOUZA, E.F.C.; VIEIRA, G.H.C.; LEMES, L.G. **Doses de adubação potássica na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na região de Cassilândia, MS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, MS: Sociedade Brasileira de Mandioca, 2005.

GROSSMAN, J.; FREITAS, A.C. Determinação do teor de matéria seca pelo peso específico em mandioca. **Revista Agrônômica**, Porto Alegre, v.14, n.160/162, p.75-80, 1950.

HILLOCKS, R. J. *et al* (Ed.). **Cassava: biology, production and utilization**. Cabi, 2002.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. In: HILLOCKS, R. J.; Thresh, J. M.; Bellotti, A. C. (eds.). **Cassava biology, production and utilization**. UK: CABI Publishing, 2002. p. 115-47.

HOWELER, R. H. Mineral nutrition and fertilization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture. 1981.

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*; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): Bangkok, Thailand, p. 411–428. 2012.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. In: **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Brasília, DF, 9 abr. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 16 nov. 2024.

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

IBGE. Safra 2024. [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39736-em-marco-ibge-preve-safra-de-298-3-milhoes-de-toneladas-para-2024#:~:text=MANDIOCA%20\(ra%C3%ADzes\)%20%E2%80%93%20A%20produ%C3%A7%C3%A3o,aumento%20na%20C3%A1rea%20de%20plantio](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39736-em-marco-ibge-preve-safra-de-298-3-milhoes-de-toneladas-para-2024#:~:text=MANDIOCA%20(ra%C3%ADzes)%20%E2%80%93%20A%20produ%C3%A7%C3%A3o,aumento%20na%20C3%A1rea%20de%20plantio). Acesso em: 10 mar. 2025.

IMAS, P.; JOHN, K. S. Potassium nutrition of cassava. **International potash institute e-ifc**, n. 34, 2013.

JANKET, A. *et al.* Seasonal variation in starch accumulation and starch granule size in cassava genotypes in a tropical savanna climate. **Agronomy**, Basel, v. 8, ed. 297, p. 1-16, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329480696_Seasonal_Variation_in_Starch_Accumulation_and_Starch_Granule_Size_in_Cassava_Genotypes_in_a_Tropical_Savanna_Climate. Acesso em: 11 nov 2024.

KANTO, U. *et al.* Effect of swine manure extract on leaf nitrogen concentration, chlorophyll content, total potassium in plant parts and starch content in fresh tuber yield of cassava. **Journal of plant nutrition**, v. 35, n. 5, p. 688-703, 2012.

KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. 2003.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agrônômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yam, aroids**. Cambridge, Cabi, 413p. 2009.

LOPES, A. S. Potássio. In: **Manual internacional de fertilidade do solo** / tradução e adaptação. 2 ed., ver e ampl. Piracicaba: Potafos, p. 67-78. 1998.

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. Mandioca. Boletim técnico CATI, Campinas, n. 245, p. 166, 2003.

LORENZI, J.O. *et al.* Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 221-229. (Boletim Técnico, 100). 1997.

MAIEVES, H. A. **Caracterização física, físico-química e potencial tecnológico de novas cultivares de mandioca**. 2010. Efeito de diferentes formas de congelamento sobre raízes de mandioca. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 638 p. 2006.

MALAVOLTA, E. **Práticas de nutrição mineral de plantas**. 1976. 65f. Curso de Pós- Graduação (Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Estadual Paulista, 1976.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319p. 1997.

MANCUSO, M. A. C., *et al.* Rocha fonólito moída como fonte de potássio para cultura do café arábica. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem Minas Gerais**. p. 338-350, 2013.

MARCHAND, M. Effect of potassium on the production and quality of tobacco leaves. **Electronic International Fertilizer Correspondent**, v.24, p.7-14. 2010.

MARCHESI, P. A. C *et al.* Crop management and cultural practices. In '**Technical recommendations for the production of industrial and sweet cassava in Santa Catarina**'. (Eds EC Nunes, LAM Peruch) pp. 29–45. (Epagri: Florianópolis, Brazil) [In Portuguese]. 2018.

MARTINS, V. *et al.* Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.194-204, 2015.

MARZOUK, N. *et al.* Cassava cultivars response to different levels of potassium fertilization under drip irrigation and sandy soil conditions. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 60, n. 3, p. 317-334, 2020.

MATTOS JUNIOR D.; BOARETTO, R. M; QUAGGIO J.A. Potássio. In: **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas:Instituto Agrônomo. (Boletim Técnico, 100). 2022.

MATTOS, P.L.P.; FARIAS, A.R.N.; FILHO, J.R.F. **Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 176 p. (Embrapa: Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MEDEIROS, J. F. *et al.* Nutrição mineral da mandioca. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 386-396, 2013.

MEHDI, S. M. *et al.* 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.

MENDONÇA, H. A.; MOURA, G. M; CUNHA, E.T. Avaliação de Genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no estado do Acre. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**. V. 38, n. 6, 2023.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNDDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, p.281-298. 2006.

MEURER, E.J., ed. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 285p. 2006.

MEYER, B.S. *et al.* **Introduction to plant physiology**. 2 ed. Nova Iorque: D. Van Nostrand, 1973.

MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 8, n. 3, p. 181 – 194, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MORETO, A. L.; NEUBERT, O. E. Avaliação de produtividade e cozimento de cultivares de mandioca de mesa (aipim) em diferentes épocas de colheita. **Agropecuária Catarinense**, v. 27, n. 1, p. 59-65, 2014.

MOTA, L. H. S. O. **Aplicação de nitrogênio e potássio no segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea**. 2019. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

NGUYEN, H. SCHOENAU, *et al.* Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. *Journal of plant Nutrition*, New York. 25 (3): 425-442. 2002.

NIEVES-CORDONES, M. *et al.* Roles and transport of sodium and potassium in plants. **The alkali metal ions: Their role for life**, p. 291-324, 2016.

NOGUEIRA, T. A. R *et al.* Nepheline syenite and phonolite as alternative potassium sources for maize. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1385, 2021.

OGINO, C.M; VIEIRA FILHO, E. R. PREÇOS DE FERTILIZANTES IMPACTANDO A PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA. *Boletim regional, urbano e ambiental*, 27 jan.-jun. Ipea, p.151-154. 2022.

OLIVEIRA, J.S.R. *et al.* **Evaluation of sustainability in Eastern Amazon under proambiente program**. *Agroforestry Syst.*, v.78, n.3, p.185-191, 2010.

OLIVEIRA, L. A. M. de Potássio. **Sumário mineral**. v. 22, p. 104-105, 2003. Disponível em: http://dnpm.gov.com.br/dnpm._legis/SumárioMineral2003.pdf . Acesso em 30 Mar. 2023.

OLIVEIRA, S. Análise foliar. In: SOUZA, D.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed., Brasília, DF: EMBRAPA Cerrados, p. 245-256, 2004.

OLIVEIRA, S. L *et al.*, Irrigação, In: SOUZA, L, S *et al.* (Ed). **Aspectos Socioeconômico e agrônômicos da mandioca**. Curz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. p. 292-300, 2006.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. VAN; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, p.335-369, 2001.

OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; BORGES, C. D. **Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.3, p.327-332, mar. 2008.

PADONOU, W.; NAGO, M.C.; MESTRES, C. **The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties.** p. 261-270, 2005.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. **"MB-4": agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes.** 5. ed. corr. [s.l.]: Fundação Juquira Candiru, p. 273. 1996.

PIROLI, V. L. B. **Adubação sulfatada e boratada de cobertura em cultivares de mandioca de mesa.** 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022.

PRAJAPATI, Kalavati; MODI, H. A. The importance of potassium in plant growth—a review. **Indian journal of plant sciences**, v. 1, n. 02-03, p. 177-186, 2012.

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

RAMANUJAM, T.; INDIRA, P. Effect of girdling on the distribution of total carbohydrates and hydrocyanic acid in cassava. **Indian Jornal Plant Phys**, Bethesda v. 27, p. 355-360, 1984.

RANGEL, M. A. S. *et al.* Plantio direto de mandioca aspectos do manejo. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186376/1/cartinha-plantiodireto-Rangel-2018-Ainfo.pdf> . Acesso: 30 de Abr 2023.

RANGEL, M.A.S.; RINGENBERG, R.; SANTOS, V.S.; VIEIRA, E.A.; OLIVEIRA, M.C.N. **Comportamento de genótipos de mandioca quanto às características produtivas em diferentes épocas de colheita em Paranavaí, PR.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2021. 24p.

RESENDE, A. V. *et al.* Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, p. 19-42, 2006.

RIBEIRO, A. C *et al.* (Eds.) **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG. 1999. p. 25-32.

RÓS, A.B. Produtividade de raízes de mandioca em função de doses de potássio. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v.9, n.1, p.25-32, 2013.

ROSA, L. M. *et al.* Economic analysis of cassava production in Brazil: A comparative study between conventional and organic production. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1233-1243, 2018.

ROSOLEM, C. A.; STEINER, F. Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. **European Journal of Soil Science**, v. 68, n. 5, p. 658-666, 2017.

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

SARMENTO, B. S. **Caracterização da fécula de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) no período de colheita de cultivares de uso industrial**. 1997. 162 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SILVA, D. C. O *et al.* Curvas de crescimento de plantas de mandioca submetidas a doses de potássio. **Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 158-165, 2017.

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, L. E. B. *et al.* Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2018.

SILVA, R.M. **crescimento, produtividade e acúmulo de amido em genótipos de mandioca de indústria**. 2023. 126f, Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2023.

SORATTO, R.P. *et al.* Efficiency and residual effect of alternative potassium sources in grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e02686, 2021a.

SORATTO, R.P. *et al.* Silicate rocks as an alternative potassium fertilizer for upland rice and common bean crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e01411, 2021b.

SOUSA, A, A. Produtividade e qualidade de raízes de mandioca, cv. Aciolina, sob diferentes doses de potássio e épocas de avaliação na savana de Roraima. Dissertação (Pós-graduação em agronomia, área de concentração em produção vegetal) Universidade Federal de Roraima ,74p. 2014.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Liming and fertilization for annual and perennial crops. **Cerrado: Soil correction and fertilization'**. 2nd edn.(Eds DMG Sousa, EE Lobato) pp, p. 283-315, 2004.

SOUZA, A. A. **Produtividade e qualidade de raízes de mandioca, cv. Aciolina, sob diferentes doses de potássio e épocas de avaliação na savana de Roraima**. 74 f. 2014.

SOUZA, F. N. S *et al.* Efeitos de um remineralizador de solos (biotita-xisto) na produção de duas variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 12, p. 45-59, 2016.

SOUZA, F. P *et al.* AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE ROCHA NO DESEMPENHO DE DUAS VARIEDADES DE MANDIOCA DE MESA. *Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem*. p. 109-114. 2013.

SOUZA, L. D *et al.* Exigências edáficas da cultura da mandioca. In: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 170-208, 2006.

SOUZA, M. L. H. *et al.* Desempenho produtivo de duas variedades de mandioca cultivadas em sistema plantio direto com calcário e adubação potássica em cobertura. **Scientia Naturalis**, v. 6, n. 2, 2024.

TAKAHASHI, M.; BICUDO, S. J. Efeito da fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio na produção e na qualidade nutricional do material de propagação da mandioca. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11, 2005, Campo Grande. **Anais...**Sociedade Brasileira de Mandioca, 2005.

TEIXEIRA, A. M. S *et al.* Avaliação da rocha fonólito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

TEIXEIRA, A. M. S *et al.* Estudo do comportamento térmico da rocha fonólito com fins à produção de fertilizantes. **Holos**, v. 5 p.52- 64, 2015.

TERNES, M. Plant Physiology. In Agriculture: starchy tuberous latin american, (In Portuguese) eds. M. P. Cereda, v.2. São Paulo: Fundação Cargill, p.448-504. 2002.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado. 2000.

TRANCHES, E.R *et al.* Utilização de fonólito associado à vinhaça na cultura da cana-de-açúcar. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. 1-6, 2022.

UWAH, D. F.; EFFA, E. B.; EKPENYONG L. E.; AKPAN, I. E. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) performance as influenced by nitrogen and potassium fertilizers in Uyo, Nigeria. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, p. 550-555, 2013.

VIANA, L. S. B.; CAITANO, T. B. S.; PONTES, A. N. Soil remineralization as an initiative for sustainable development. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.

WERLE R; GARCIA, R. A; ROSOLEM, C. A. Potassium leaching as affected by soil texture and potassium availability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 2297–2305. 2008.

WHEATLEY, C. C. Calidad de las raíces de yuca y factores que intervienen en ella. *In*: HERSHEY, C. H. (Ed.). **Mejoramiento genético de la yuca en América Latina**. 1. ed. Cali: CIAT, 1991, p. 267 – 288.

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

YOORIN, fertilizantes. 2021. Disponível em:
<https://www.yoorin.com.br/pt/produtos/ekosil> . Acesso em Abr 2023.

YOORIN, fertilizantes. 2022. Disponível em:
<https://www.yoorin.com.br/pt/produtos/potasil> . Acesso em Abr 2023.