

Adubação fosfatada na produtividade e qualidade de raízes tuberosas de cultivares de mandioca na savana amazônica, Brasil

Phosphorus fertilizer in the yield and quality of tuberous roots of cassava cultivars in the Amazonian savanna, Brazil

Sandra C. P. Uchôa¹, Fernanda R. do Nascimento², José M. A. Alves¹, Valdinar Ferreira Melo¹, Deyse C. O. da Silva^{1,*}, Armando J. da Silva¹, Karine D. Batista³, Kedma da S. Matos¹ e José de A. A. de Albuquerque¹

¹Universidade Federal de Roraima/UFRR – Campus Cavamé, Boa Vista/RR – Brasil

²Serviço Nacional de Aprendizagem Rural/SENAR – Polo Roraima, Boa Vista/RR – Brasil

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA – Unidade Roraima, Boa Vista/RR – Brasil
(*E-mail: deyse.cristina@ufr.br)

<https://doi.org/10.19084/rca.20746>

Recebido/received: 2020.08.15

Aceite/accepted: 2020.10.09

RESUMO

A produtividade de mandioca no Brasil, em 2019, foi de 18 t ha⁻¹, muito aquém do seu potencial. O fósforo é um nutriente determinante da produtividade e encontra-se em níveis muito baixos em solos tropicais. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar doses de fósforo na produtividade e qualidade de raízes tuberosas de cultivares de mandioca na savana amazônica. O experimento foi instalado no delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Nas parcelas foram aleatorizadas cinco doses de fósforo (0, 45, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e nas subparcelas duas cultivares de mandioca (Aciolina e Amazonas). Aos 12 meses de cultivo, as raízes tuberosas foram colhidas e avaliadas. O teor de ácido cianídrico não foi influenciado pelos fatores em estudo. O índice de colheita foi dependente, apenas, das cultivares, sendo superior na cv. Amazonas. A cv. Amazonas foi mais produtiva (86 t ha⁻¹), porém, menos eficiente na utilização do P. A produtividade das cultivares Aciolina e Amazonas foram incrementadas em 125 e 82%, até as doses de máxima eficiência técnica de 192 e 208 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Portanto, a adubação fosfatada é uma boa opção para o cultivo da mandioca.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, Dose técnica, Dose econômica, P₂O₅

ABSTRACT

In 2019, cassava productivity in Brazil was 18 t ha⁻¹, well below its potential. Phosphorus is a nutrient that determines productivity and is found at very low levels in tropical soils. Thus, the objective of this work was to evaluate phosphorus doses in the yield and quality of tuberous roots of cassava cultivars in the Amazonian savanna. The experiment was installed in a randomized block design, in a split-plot scheme, with 4 replications. In the plots, five doses of phosphorus were randomized: 0, 45, 90, 180 and 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ and in the subplots two cultivars (Aciolina and Amazonas). At 12 months the plants were harvested and the effect of treatments was evaluated. The HCN content was not influenced by the factors under study. The CI was dependent only on the cultivars, being higher in cv. Amazonas. The cv. Amazonas was more productive (86 t ha⁻¹), but less efficient in the use of P. The productivity of the cultivars Aciolina and Amazonas were increased by 125 and 82%, up to the doses of maximum technical efficiency of 192 and 208 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectively. Therefore, phosphate fertilization is a good option for the cultivation of cassava.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, Technical dose, Economic dose, P₂O₅

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma tuberosa amplamente cultivada em diferentes países dos continentes asiático, africano e americano. No Brasil, essa cultura tem espaço em todos os Estados, sendo cultivada, principalmente, por agricultores com baixos rendimentos. A cultura desempenha um papel de destaque na alimentação humana e animal, além de ser utilizada como matéria-prima na produção de muitos produtos industriais, gerando vários empregos diretos e indiretos (Jala *et al.*, 2019).

Nas condições de floresta e savana do Norte da Amazônia, a cultura da mandioca tem se mostrado promissora, principalmente para pequenos e médios produtores, com uma área total cultivada de 8.119 ha e um rendimento médio de 21.900 kg ha⁻¹ (IBGE, 2020).

Apesar da importância social e econômica, a mandioca é relegada a solos de baixa fertilidade (marginais), com pH ácido, teor de alumínio (Al) trocável alto e, particularmente, teor de fósforo (P) muito baixo (Kintché *et al.*, 2017). Não obstante, na maioria dos casos, o cultivo é realizado sem o uso de fertilizantes, deixando a cultura mais suscetível ao ataque de pragas e doenças, além de ter uma produção reduzida devido à falta de nutrição adequada para o pleno desenvolvimento das plantas (Jala *et al.*, 2019).

Um substancial aumento na produtividade de raízes tuberosas vem sendo obtido com a melhoria do manejo da cultura e da fertilização, buscando-se o balanço nutricional (Santos *et al.*, 2014; Ezui *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017; Aliyu *et al.*, 2019). A cultura é sensível à disponibilidade de nutrientes, podendo exigir altos níveis de adubação para alcançar seu potencial de produtividade, que varia entre os 80.000 e 100.000 kg ha⁻¹ de raízes frescas (Byju *et al.*, 2012).

O fósforo é um dos nutrientes mais limitantes da produção e, em muitos solos pode-se encontrar em formas indisponíveis para as plantas, pois apresenta grande interação com os óxidos de ferro (Fe) e Al, minerais secundários abundantes nos solos tropicais (Vilar *et al.* 2010; Zafar *et al.*, 2011). Esses atributos mineralógicos influenciam na capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) (Vilar *et al.*,

2010). Assim, a fertilização no plantio com fontes de P deve ser realizada, mesmo quando o solo já recebeu adubações acumuladas desse nutriente (Rosolem e Merlin, 2014).

A fertilidade do solo é decisiva na expressão do potencial produtivo das plantas de mandioca, não devendo ser negligenciada. Pereira *et al.* (2012) e Alves *et al.* (2012) observaram que a produção de raízes aumentou em resposta à adubação mineral fosfatada. Biratu *et al.* (2018) verificaram que a combinação de adubo orgânico e mineral elevou em 29% a produtividade das raízes tuberosas em relação ao uso exclusivo de NPK mineral. Devido a evidências do controle genético nos mecanismos de absorção de nutrientes, estudos com cultivares de mandioca devem ser considerados, sobretudo em condições de solos brasileiros intemperizados, que em geral apresentam baixa disponibilidade de P. Bamidele *et al.* (2010) verificaram que a qualidade nutricional de raízes e de folha da mandioca pode estar relacionada com a cultivar.

As cultivares de mandioca que mais se destacam na preferência dos produtores brasileiros, são: 'Aciolina', para consumo *in natura* e 'Amazonas', para a produção de farinha. Pesquisas voltadas para a produtividade e qualidade das raízes dessas cultivares em função da adubação são necessárias em razão da importância econômica, cultural e social da mandioca nessa região e no Brasil. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar doses de P na produtividade e qualidade das raízes tuberosas de cultivares de mandioca na savana amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de outubro de 2014 a setembro de 2015, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima – CCA/UFRR, município de Boa Vista, Roraima – Brasil (2° 52' 20,7" N, 60° 42' 44,2" W e altitude de 90 m). Segundo classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw e os dados meteorológicos registrados durante o período de condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

O solo da área experimental pertence à classe Latossolo Amarelo distrófico (LAdx), com textura

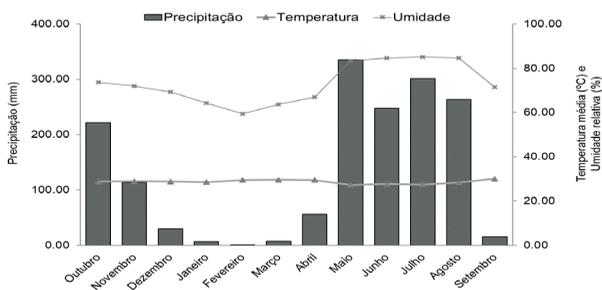


Figura 1 - Valores médios mensais para precipitação pluvial, temperatura média e umidade relativa do ar de outubro de 2014 a setembro de 2015 (INMET). Boa Vista, Roraima, Brasil.

franco-argilo-arenosa, relevo suave ondulado, cuja vegetação dominante é do tipo savana parque (Benedetti *et al.*, 2011).

A análise química de uma amostra de solo composta da área estudada, coletada na camada de 0-0,20 m de profundidade, foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa - UFV, cujos resultados são: pH (H₂O) - 5,04; P e K (extractor: solução duplo ácido; HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M) - 1,7 e 8,0 mg dm⁻³, respectivamente; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (KCl 1 mol L⁻¹) - 0,98; 0,18 e 0,30 cmol_c dm⁻³, respectivamente; H+Al (Acetato de cálcio, 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0) - 1,5 cmol_c dm⁻³, Carbono orgânico (método: Walkley-Black) - 5,97 g kg⁻¹; Fósforo remanescente - 41,6 mg L⁻¹.

Utilizaram-se as cultivares de mandioca 'Amazonas' (Embrapa-8) e 'Aciolina'. A cultivar Amazonas é exclusiva para a fabricação de farinha, por apresentar uma coloração de polpa da raiz, amarelo clara, apresentando grande valor comercial. A cultivar Aciolina é empregada tanto para o consumo *in natura* (mandioca de mesa) quanto para a indústria, justificando seu intenso cultivo e comercialização (Oliveira *et al.*, 2011). Essas cultivares pertencem à coleção de Germoplasma de Mandioca do Departamento de Fitotecnia do CCA/UFRR.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de P aleatorizadas na parcela, sendo: 0; 19,62 (45); 39,24 (90); 78,48 (180) e 156,96 (360) kg ha⁻¹ de P ou de P₂O₅ e duas cultivares

de mandioca, Aciolina e Amazonas, nas subparcelas. As doses de fósforo foram definidas de acordo com a recomendação da EMBRAPA (Schwengber *et al.*, 2006).

A parcela experimental foi constituída por dez fileiras simples de mandioca, com espaçamento entre plantas de 0,8 x 0,8 m, contendo 8 plantas por fileira, perfazendo o total de 80 plantas por parcela, com densidade de plantio de 15.625 plantas ha⁻¹. A subparcela foi constituída por cinco fileiras simples com 6,4 m de comprimento, perfazendo o total de 40 plantas. A área útil (12,96 m²) consistiu nas três fileiras centrais da subparcela.

A área de implantação do experimento foi aberta em 2010, quando era formada por vegetação natural, sem histórico de cultivo e manejo, existindo um estrato herbáceo, dominado por espécies das famílias Poaceae e Cyperaceae, características de ambiente da savana de Roraima, também denominado de Lavrado ou Cerrado (Oliveira *et al.*, 2017).

Em outubro de 2014 foi implantado o experimento. Para facilitar os processos de solubilização do corretivo, a calagem realizou-se trinta dias antes do plantio, com base na recomendação geral da EMBRAPA e análise do solo, sendo distribuídos a lanço e sem incorporação, calcário dolomítico (PRNT 100%), visando elevar a saturação por bases a 60%.

Dez dias antes do plantio foi realizada a dessecação da vegetação espontânea com o produto comercial Roundup Original (princípio ativo Glifosato). Na data do plantio, as covas receberam 0,0032 kg de N (ureia), 0,0045 (0,0037) kg de K₂O ou (K) (cloreto de potássio) e 0,0018 kg de FTE BR 12 em pó (Composição: 1,8% B; 0,8% Cu; 3,0% Fe; 2,0% Mn; 0,10% Mo; e 9,0% Zn). O teor de P₂O₅ (superfosfato triplo) variou conforme os tratamentos.

As ramas das cultivares Amazonas e Aciolina foram coletadas no dia anterior ao plantio e armazenadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - POSAGRO. No dia do plantio, as manivas foram cortadas da parte mediana da rama, com diâmetro de 0,02 a 0,03 m, medindo 0,20 m e contendo 2 gemas. No campo, a maniva era colocada na posição horizontal em covas adubadas, numa profundidade de 0,10 m, aproximadamente.

As adubações de coberturas foram realizadas aos 30 e 60 dias após o plantio (DAP), a lanço, na quantidade de 50 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônia) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

Fez-se uso de irrigação complementar, por aspersão, entre outubro de 2014 e abril de 2015. A umidade da área foi monitorada por tensiômetros instalados na profundidade de 0,20 m, em seis pontos da área experimental. A irrigação era acionada quando o potencial de água no solo encontrava-se em torno de -20 kPa, sendo aplicados 3.000 L h⁻¹ (Fabrimar ECO A320), com turno de rega em torno de três vezes por semana.

Aos 12 meses após o plantio foi realizada a colheita manual de três plantas inteiras da área útil de cada subparcela, sendo avaliadas as seguintes variáveis:

- Número de raízes por planta (NRP) – sendo consideradas todas as raízes tuberosas;
- Diâmetro da raiz (DR) - obtido através da mensuração da região mediana da raiz, utilizando-se de um paquímetro digital (Marca: Matrix; Modelo: 316119);
- Comprimento de raiz (CR) – mensurado com régua milimétrica e medida de uma extremidade a outra da raiz;
- Massa total da matéria fresca da raiz por planta (MRP) – avaliada em balança de precisão (Marca: Digimed; Modelo: KN 5000 C);
- Massa média da matéria fresca da raiz (MMR) – obtida pela relação entre a MRP/NRP;
- Produtividade de raiz tuberosa (PRT) - estimada pela obtenção da massa de matéria fresca da raiz por área;
- Índice de colheita (IC) - relação entre a massa de matéria fresca das raízes tuberosas e a massa de matéria fresca total da planta;
- Teor de ácido cianídrico - avaliado na polpa (HCN_p) da raiz e córtex (HCN_c) da raiz, empregando metodologia estabelecida por Egan *et al.* (1998).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade. Realizou-se a análise de regressão nos casos de efeitos significativos das doses de P. A escolha do modelo, para cada variável, baseou-se na significância dos parâmetros e nos valores do R². O teste “F” foi utilizado para testar os coeficientes da regressão.

Empregou-se para análise dos dados o programa estatístico SISVAR.

A dose de máxima eficiência técnica (DMET) de P₂O₅ foi calculada com base na primeira derivada da equação de regressão, igualando-se a zero. A dose de máxima eficiência econômica (DMEE) de P₂O₅ foi calculada, igualando-se a relação entre preços do insumo (R\$ 2,3) e do produto (R\$ 0,42 por kg de raízes industrial e 0,85 por kg de raízes para consumo *in natura*).

Os preços adotados foram pesquisados em sítios que fazem cotação para o preço do insumo¹ e do produto². Em razão da variação dos preços do insumo e produto conforme demanda e oferta, trabalhou-se com uma relação de troca ao invés de moeda corrente. Portanto, a “moeda” utilizada nos cálculos, foi kg de raízes, considerando-se a seguinte relação de equivalência: kg de P₂O₅ (R\$ 2,3) por kg de raízes (R\$ 0,85 e R\$ 0,42) igual a 2,7 (cv. Aciolina) e 5,5 (cv. Amazonas), sendo a dose mais econômica calculada por meio da relação de $dy/dx = a_1 + 2a_2x$. A dose mais econômica (x') foi então calculada por: $x' = (a_1 - \text{relação de equivalência})/2(-a_2)$, a₁ representa a taxa de incremento e a₂ o ponto de máxima produção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise de variância, não houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores estudados, passando-se à análise dos efeitos simples. Os teores de HCN no córtex e na polpa não foram afetados por nenhum dos fatores. A massa média da raiz foi afetada apenas pelo fator dose. As demais variáveis foram afetadas pelos dois fatores, de modo independente. O número de raízes tuberosas por planta (NRP) foi influenciado pelas doses e cultivares de modo isolado. A cv. Amazonas produziu, em média, 9,7 raízes por planta, superior a cv. Aciolina (Quadro 1).

O NRP em função das doses de P₂O₅ foi descrito por modelo quadrático. A DMET, 169,3 kg ha⁻¹ de

¹ <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=superfosfato-triplo&meses=180>

² <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/diversos/mandioca>

Quadro 1 - Características agrônômicas de raízes tuberosas, de duas cultivares de mandioca, em resposta a doses de P_2O_5 e análise de variância

Variáveis	ANOVA (P>F<)			Cultivares	
	Cultivar (C)	Dose(D)	C x D	Amazonas	Aciolina
NRP ¹	0,0071	0,0329	0,6155	9,7a	8,0b
DR (m)	<0,001	0,0517	0,6886	0,062 a	0,049 b
CR (m)	0,039	0,0775	0,9603	0,286a	0,257b
MRPL (kg)	0,0589	0,0276	0,0819	2,1a	1,0b
MMR (kg)	<0,3277	0,0006	0,8657		0,3
PRT (kg ha ⁻¹)	<0,0001	0,0005	0,8461	65.600 a	37.000b
IC (%)	<0,0001	0,8505	0,3839	69,9a	52,7b
HCN _c (mg kg ⁻¹)	0,2383	0,5622	0,4901		99
HCN _p (mg kg ⁻¹)	0,1021	0,2139	0,5648	100	

¹ NRP - número de raízes tuberosas por planta; DR - diâmetro da raiz tuberosa; CR - comprimento médio da raiz tuberosa; MRPL - massa média de raízes tuberosas por planta; MMR - massa média de raiz tuberosa; PRT - produtividade de raiz tuberosa; IC - índice de colheita; HCN_c - teor de HCN no córtex da raiz tuberosa; HCN_p - teor de HCN na polpa da raiz tuberosa.

P_2O_5 , proporcionou produção máxima de 10 raízes por planta e incremento de até 2 raízes por planta (Figura 2A).

Embora o NRP seja uma característica ligada ao genótipo, Omondi *et al.* (2019) verificaram a influência do P no aumento do NRP de armazenamento e consequentemente na produtividade. Por outro lado, o suprimento muito alto de P às plantas diminuiu o NRP (Shukla *et al.*, 2017). Gomes *et al.* (2007) verificaram que 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , no plantio de 100 clones de mandioca e colheita efetuada aos 11 meses após a emergência das plantas, determinou NRP médio de 6,7, com 52% dos clones superando esse valor para o intervalo de 8,5 a 12 raízes tuberosas por planta.

Para o diâmetro de raízes (DR), as cultivares estudadas apresentaram diferenças significativas, tendo a cv. Amazonas DR de 61,83 mm, superado a cv. Aciolina (Quadro 1). O DR em função das doses de P foi descrito por função quadrática (Figura 2B). Na dose de máxima eficiência técnica (222,6 kg ha⁻¹ de P_2O_5), houve incremento máximo de 8,1 mm. Alves *et al.* (2008), ao avaliar cultivares de mandioca, verificaram menor DR na cv. Aciolina (41 mm) em relação a cv. Pão (55 mm). É possível que raízes mais finas sejam uma característica da cv. Aciolina, o que a torna mais indicada para consumo *in natura*.

O comprimento médio da raiz (CR) não foi influenciado pelas cultivares (Quadro 1). O efeito médio

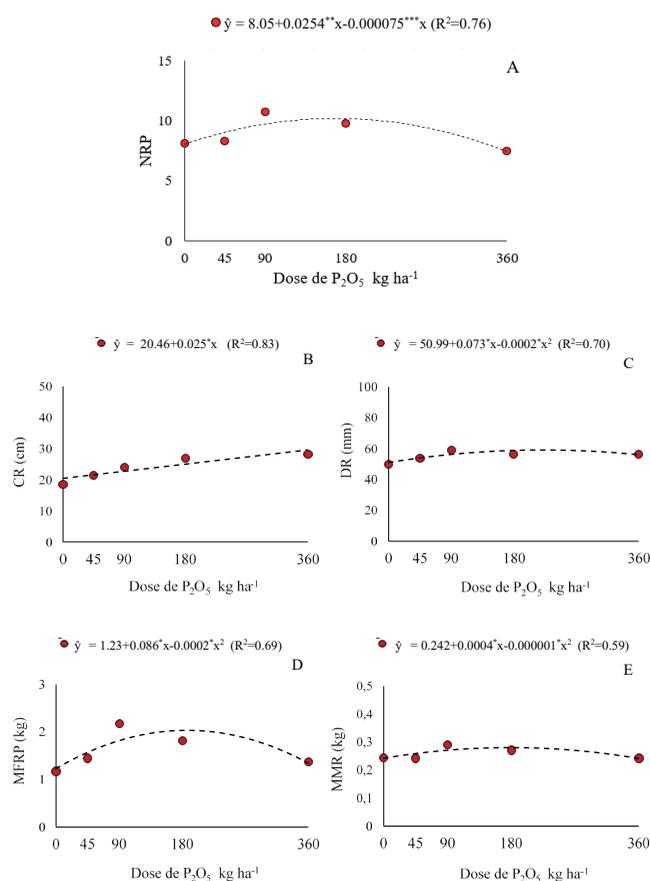


Figura 2 - Número de raízes por planta - NRP (A), comprimento da raiz - CR (B), diâmetro da raiz - DR(C), massa da matéria fresca da raiz por planta - MFRP (D), massa da matéria fresca da raiz - MMR (E) de cultivares de mandioca, cv. Aciolina (AC) e cv. Amazonas (AM), em função de doses de fósforo, aos doze meses.

das doses de fósforo no CR foi descrito por modelo quadrático (Figura 2C). A DMET foi de 221,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, proporcionando incremento máximo de 8,0 cm. Alguns fatores podem influenciar o CR das raízes tuberosas, como: genética, condições de cultivo, fertilidade do solo, clima, idade da planta, entre outros, podendo-se encontrar raízes com até 1 m (Conceição, 1981; Albuquerque *et al.*, 2009).

A massa da raiz por planta (MRPL) foi significativamente afetada pelas cultivares e doses de P₂O₅, tendo a cv. Amazonas produzido em média 2,2 kg e cv. Aciolina 1,0 kg (Quadro 1). O efeito médio da MRPL em função das doses de P₂O₅ foi descrito por modelo quadrático. Na DMET (212 kg ha⁻¹ de P₂O₅) a planta produziu em média 1,9 kg (Figura 2E) e incremento de 0,9 kg. Os valores obtidos para cv. Amazonas são próximos aos obtidos por Gomes *et al.* (2007), com 2,7 e 2,1 kg de raízes tuberosas por planta nos clones mais e menos produtivos, respectivamente.

A massa média por raiz (MMR) não foi afetada pelas cultivares, apenas pelas doses de P₂O₅ (Quadro 1). Na DMET (200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) a MMR foi de 0,28 kg, determinando um incremento médio de 0,04 kg por raiz.

O número de plantas influencia na produção de raízes pois quando aumenta o número de plantas aumenta a competição por nutriente. Assim, justificam-se os menores valores de massa fresca de raiz tuberosa obtidos pelas cultivares nesse estudo, sobretudo pela cv. Aciolina, em razão da elevada população (15.625 plantas por hectare). Figueiredo *et al.* (2014), estudando diferentes preparos do solo e empregando população menor (11.111 plantas por hectare), alcançaram entre 2,5 a 2,9 kg de massa fresca de raízes tuberosas por planta. A produtividade de raízes por área é maior nos menores espaçamentos de plantio, enquanto a produtividade por planta e por raiz comercial é maior nos maiores espaçamentos de plantio (Streck *et al.*, 2014).

O índice de colheita (IC) foi afetado apenas pelas cultivares (Quadro 1). No presente estudo, ambas as cultivares apresentaram IC acima de 50%. Exceto a dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, as demais doses estudadas não foram limitantes à produção, já que esse

nutriente não é exigido em grandes quantidades pela mandioca. Santos *et al.* (2014) determinaram as concentrações de nutrientes na folha da cv. Aciolina, aos 120 dias após o plantio, e estabeleceram que o P era o quinto elemento, após N, Ca, K e Mg, em concentração na folha.

O teor de HCN não foi afetado pelos fatores em estudo e os teores da polpa e casca foram praticamente iguais (Quadro 1), ficando no limite da classificação entre mansas e bravas. As variedades consideradas mansas (HCN até 100 mg kg⁻¹ de polpa de raiz fresca) normalmente apresentam produtividade de raízes menores que as consideradas bravas, (HCN acima de 100 mg kg⁻¹ de polpa de raiz fresca) (Borges *et al.*, 2002). A média dos valores do teor de HCN, levando a ausência de significância, pode ter descaracterizado as duas cultivares, cv. Aciolina como mandioca mansa e cv. Amazonas como mandioca brava. Essas cultivares são consumidas na região considerando essas características, uma para consumo *in natura* e a outra para a produção de farinha, em razão do maior teor de HCN.

A produtividade de massa de matéria fresca de raízes tuberosas total (PRT) foi significativamente afetada pelas cultivares e doses de P₂O₅. A produtividade de massa de matéria fresca de raízes em função de doses de P₂O₅ encontra-se na Quadro 2. As doses de P₂O₅ que proporcionaram a máxima produtividade de raízes para a cv. Aciolina (52.000 kg ha⁻¹) e cv. Amazonas (86.000 kg ha⁻¹) foram 192 e 208 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Esses resultados representam incrementos de 29.000 e 39.000 kg ha⁻¹ de raízes, em relação ao tratamento sem adição de P₂O₅. A cv. Amazonas superou a cv. Aciolina tanto em produtividade quanto no incremento de produção.

Os resultados mostram que a mandioca responde a adubação fosfatada, assim como as cultivares apresentam eficiência diferenciada na sua utilização. De acordo com Omondi *et al.* (2019), o P é um nutriente cuja aplicação à mandioca é incomum, por considerar sua associação com as micorrizas, supondo-se assim que essa associação forneça P suficiente. Lima *et al.* (2018) verificaram respostas da mandioca a adubação fosfatada em solos arenosos do Noroeste do Paraná.

As doses mais económicas para as cultivares Aciolina e Amazonas foram de 190 e 206 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Quadro 2). Essas doses não variaram na cv. Aciolina e foi ligeiramente inferior a DMET na cv. Amazonas, conseqüentemente, houve pouca variação na produtividade económica. Para pagar o valor das DMEE foi necessário dispor de 514 e 1.128,1 kg de raízes da cultivares Aciolina e Amazonas, respectivamente. Deduzindo a

quantidade de raízes necessária para aquisição das doses de P₂O₅, resultou em *superavit* de 51.500 e 80.100 kg ha⁻¹ de raízes frescas das cultivares Aciolina e Amazonas, respectivamente.

A dose mais económica apresentou 100 e 99% daquela responsável pela produtividade máxima, nas cultivares, Aciolina e Amazonas, respectivamente, o que indica viabilidade económica do emprego de adubação fosfatada no cultivo da mandioca.

Quadro 2 - Equação de produtividade de massa de matéria fresca de raiz (PRT) em função de doses de P aplicadas em duas cultivares de mandioca, cv. Aciolina e cv. Amazonas, aos doze meses

Equação	PRT (kg ha ⁻¹)	
	cv. Aciolina	cv. Amazonas
Equação	$\hat{y}=23.117+305,7^{*}x-0,80^{**}x^2$	$\hat{y}=47.236+354,1^{*}x-0,85^{**}x^2$
R ²	0,95	0,88
DMET (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅) ^{1/}	192	208
DMEE (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅) ^{2/}	190	206
Variável DMET (kg ha ⁻¹)	52	86
Incremento ^{3/}	29	39
Eficiência (%) ^{4/}	125	82
Variável DMEE (kg ha ⁻¹)	52	84

^{1/}DMET – Dose de máxima eficiência técnica de P₂O₅ em cobertura; ^{2/}DMEE – Dose de Máxima Eficiência Económica; ^{3/}Incremento = variável na dose MET - variável na dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em cobertura; ^{4/}Eficiência agrônômica (%) = ((Variável na DMET x 100)/(variável na dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅)-100).

CONCLUSÕES

As doses de fósforo influenciaram, positivamente, as características agrônômicas das cultivares Aciolina e Amazonas.

A cultivar Amazonas é mais produtiva e apresenta maior eficiência na utilização do fósforo na Savana Amazônica, comparativamente com a cv. Aciolina.

A produtividade e qualidade das raízes tuberosas das cvs. Amazonas e Aciolina, alcançam seu potencial máximo com DMET de 207 e 192 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

As doses económica e técnica são iguais para cv. Aciolina e aproximadas na cv. Amazonas, indicando que a adubação fosfatada é viável no cultivo da mandioca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J.A.A.; Sediya, T.; Silva, A.A. da; Sediya, C.S.; Alves, J.M.A. & Neto, F. de A. (2009) - Caracterização morfológica e agrônômica de clones de mandioca cultivados no Estado de Roraima. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 4, n. 4, p. 388-394. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v4i4a3>
- Aliyu, I.A.; Yusuf, A.A.; Uyovbisere, E.O.; Masso, C. & Sanders, I.R. (2019) - Effect of co-application of phosphorus fertilizer and in vitro-produced mycorrhizal fungal inoculants on yield and leaf nutrient concentration of cassava. *Plos One*, vol. 14, n. 6, art. e0218969. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0218969>
- Alves, J.M.A.; Costa, F.A.; Uchôa, S.C.P., Santos, C.S.V.; Albuquerque, J.A.A. & Rodrigues, G.S. (2008) - Avaliação de dois clones de mandioca em duas épocas de colheita. *Agro@mbiente On-line*, vol. 2, n. 2, p.15-24. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v2i2.244>
- Alves, R.N.B.; Modesto Júnior, M. de S. & Ferreira, E.R. (2012) - Doses of NPK fertilization on cassava (*Manihot esculenta*) variety in Paulozinho Moju- Pará. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, vol. 8, n. 2, p. 65-70.
- Bamidele, M.; Amos-Tautua, W. & Mandukosiri, C.H. (2010) - Effect of processing on the sodium, potassium and phosphorus content of six locally consumed varieties of Manihot esculenta grown in Bayelsa State. *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 8, n. 10, p. 1521-1525. <http://dx.doi.org/10.3923/pjn.2009.1521.1525>

- Benedetti, U.G.; Vale Júnior, J.F.; Schaefer, C.E.G.R.; Melo, V.F. & Uchôa, S.C.P. (2011) - Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte amazônico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 2, p. 299-312. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>
- Biratu, G.K.; Elias, E.; Ntawuruhunga, P. & Sileshi, G.W. (2018) - Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. *Heliyon*, vol. 4, n. 8, art. e00759. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00759>
- Borges, M.F.; Fukuda, W.M.G & Rossetti, A.G. (2002) - Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 37, n. 11, p. 1559-1565. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002001100006>
- Byju, G.; Nedunchezhiyan, M.; Ravindran, C.S.; Santhosh Mithra, V.S.; Ravi, V. & Naskar, S.K. (2012) - Modeling the Response of Cassava to Fertilizers: A Site-Specific Nutrient Management Approach for Greater Tuberous Root Yield. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 43, n. 8, p. 1149-1162. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.662563>
- Conceição, A.J. (1981) - *A mandioca*. Cruz das Almas: UFBA/EMBRAPA/BRASCON NORDESTE, 382p.
- Egan, S.V.; Yeoh, H.H. & Bradbury, J.H. (1998) - Simple picrate paper kit for determination of the cyanogenic potential of cassava flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 76, n. 1, p. 39-48. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199801\)76:1<39::AID-JSFA947>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199801)76:1<39::AID-JSFA947>3.0.CO;2-M)
- Ezui, K.S.; Franke, A.C.; Mando, A.; Ahiabor, B.D.K.; Tetteh, F.M.; Sogbedji, J.; Janssen, B.H. & Giller, K.E. (2016) - Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. *Field Crops Research*, vol. 185, p. 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.005>
- Figueiredo, P.G.; Bicudo, S.J.; Moraes-Dallaqua, M.A.; Tanamati, F.Y. & Aguiar, E.B. (2014) - Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. *Bragantia*, vol. 73, n. 4, p. 357-364. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0150>
- Gomes, C.N.; de Carvalho, S.P.; Jesus, A.M.S. & Custódio, T.N. (2007) - Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 8, p. 1121-1130. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800008>
- IBGE (2020) – *Mandioca*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [cit. 3030.03.12] <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>
- Jala, I.M.; Silva, C.C.; Filho, J.S.S.; Oliveira, E.J. & Nóbrega, R.S.A. (2019) - Seedlings of cassava varieties are responsive to organic fertilization. *Semina*, vol. 40, n. 5, p. 2151-2164. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v-40n5Supl1p2151>
- Kintché, K.; Hauser, S.; Mahungu, N.M.; Ndonga, A.; Lukombo, S.; Nhamo, N.; Uzokwe, V.N.E.; Yomeni, M.; Ngamitshara, J.; Ekoko, B.; Mbala, M.; Akem, C.; Pypers, P.; Matungulu, K.P.; Kehbila, A. & Vanlauwe, B. (2017) - Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. *European Journal of Agronomy*, vol. 89, p. 107-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.06.011>
- Lima, A.G.; Carvalho, L.R.; Mota, M.C.; Lima Junior, A.F.; Moreira, J.M.; Silva, A.P.; Barbuio, R. & Rosa, J.Q.S. (2018). Produtividade de mandioca avaliada sobre adubação fosfatada e a adubação de cobertura. *PUBVET*, vol. 12, n. 8, art. 151. <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v12n8a151.1-4>
- Oliveira, N.T.; Uchôa, S.C.P.; Alves, J.M.A.; Albuquerque, J.A.A.; Rodrigues, G.S. (2017) - Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 41, art. e0150204. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20150204>
- Oliveira, N.T.; Alves, J.M.A.; Uchôa, S.C.P.; Rodrigues, S.R.; Melville, C.C. & Albuquerque, J.A.A. (2011) - Caracterização e identificação de clones de mandioca produzidos em Roraima para o consumo *in natura*. *Agro@mbiente On-line*, vol. 5 p. 188-193. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i3.624>
- Omondi, J.; Lazarovitch, N.; Rachmilevitch, S. & Yermiyahu, U. (2019) - Phosphorus affects storage root yield of cassava through root numbers. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 42, n. 17, p. 2070-2079. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655033>
- Pereira, G.A.M.; Lemos, V.T.; Santos, J.B.; Ferreira, E.A.; Silva, D.V.; Oliveira, M.C. & Menozes, C.W.G. (2012) - Crescimento da mandioca e plantas daninhas em resposta à adubação fosfatada. *Revista Ceres*, vol. 59, n. 5, p. 716-722. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500019>

- Rosolem, C.A. & Merlin, A. (2014) - Soil phosphorus availability and soybean response to phosphorus starter fertilizer. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 38, n. 5, p. 1487-1495. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500014>
- Santos, N.S.; Alves, J.M.A.; Uchôa, S.C.P.; Oliveira, T.N. & Albuquerque, J.A.A. (2014) - Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 45, n. 4, p. 633-640. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400001>
- Schwengber, D.R.; Smiderle, O.J. & Mattioni, J.O.M. (2006) - *Mandioca: recomendações para plantio em Roraima*. Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 30 p. (Circular técnica, n. 5).
- Shukla, D.; Rinehart, C.A. & Sahi, S.V. (2017) - Comprehensive study of excess phosphate response reveals ethylene mediated signaling that negatively regulates plant growth and development. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 3074. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-03061-9>
- Silva, D.C.O.; Alves, J.M.A.; Uchoa, S.C.P.; Sousa, A.A.; Barreto, G.F.; Silva, C.N. (2017) - Curvas de crescimento de plantas de mandioca submetidas a doses de potássio. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, vol. 60, n. 2, p. 158-165. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2468>
- Streck, N.A.; Pinheiro, D.G.; Zanon, A.J.; Gabriel, L.F.; Rocha, T.S.M.; Souza, A.T. & Silva, M.R. (2014) - Efeito do espaçamento de plantio no crescimento, desenvolvimento e produtividade da mandioca em ambiente subtropical. *Bragantia*, vol. 73, n. 4, p. 407-415. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0159>
- Vilar, C.C.; Costa, A.C.S.; Hoepers, A. & Souza Junior, I.G. (2010) - Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 34, n. 4, p.1059-1068. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400006>
- Zafar, M.; Abbasil, M.K.; Rahim, N.; Khaliq, A.; Shaheen, A.; Jamil, M. & Shahid, M. (2011) - Influence of integrated phosphorus supply and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nodulation, yield and nutrient uptake in *Phaseolus vulgaris*. *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, n. 74, p. 16793-16807. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1395>