

LUIS AUGUSTO DE SOUZA MAGOLBO

**EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
ACÚMULO DE FÓSFORO E AMIDO EM MANDIOCA PARA INDÚSTRIA**

Botucatu

2019

LUIS AUGUSTO DE SOUZA MAGOLBO

**EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
ACÚMULO DE FÓSFORO E AMIDO EM MANDIOCA PARA INDÚSTRIA**

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

Orientador: Dr. Adalton Mazetti Fernandes

**Botucatu
2019**

M211e

Magolbo, Luis Augusto de Souza

Efeito da adubação fosfatada no crescimento, produtividade e acúmulo de fósforo e amido em mandioca para indústria / Luis Augusto de Souza Magolbo. -- Botucatu, 2019
63 p. : il., tabs.

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

Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Mandioca. 2. Adubação fosfatada. 3. Análise de crescimento. 4. Matéria seca. 5. Produtividade de raízes. I. Título.

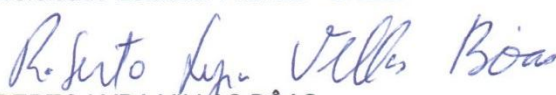
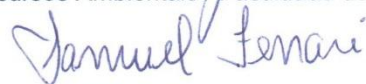
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE FÓSFORO E AMIDO EM MANDIOCA PARA INDÚSTRIA”**

AUTOR: LUÍS AUGUSTO DE SOUZA MAGOLBO

ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP
Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu
Prof. Dr. SAMUEL FERRARI
Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Botucatu, 21 de fevereiro de 2019.

Aos meus amados Pais e Esposa,
Toninho, Bel e Talita
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar este momento, e assim cumprir mais uma etapa em minha vida

A meu avô que não está mais entre nós, mas me apoiou muito quando escolhi a agronomia como profissão

A Minha esposa que esteve sempre ao meu lado apoiando e motivando.

Aos meus queridos pais pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor e profissional.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Agricultura), pela oportunidade de realização do mestrado e dedicação de seus docentes.

A meus amigos Marcos e Juliana e familiares que me ajudaram a conduzir o projeto.

Aos funcionários do CERAT Elder, Luiz, Danilo, Alessandra, Juliana e Débora pelo apoio, convivência e amizade.

A empresa que trabalho por ter apoiado meu projeto e cedido meu tempo para os estudos.

“Pois eu Bem sei os planos que estou projetando para vos, diz o Senhor; planos de fazê-los prosperar e não causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro”

JEREMIAS 29: 11

RESUMO

No Brasil a maioria das lavouras de mandioca cultivadas para fins industriais tem sido colhida com dois anos, mas nessa modalidade de cultivo, pouco se conhece sobre o padrão de acúmulo e distribuição de matéria seca (MS). A nutrição mineral adequada da planta é um dos fatores essenciais para aumentar o crescimento da mandioca e seu acúmulo de biomassa. O fósforo (P) tem sido o nutriente que promove as respostas mais acentuadas na cultura da mandioca, e por ele participar da síntese de amido nas plantas, é de se esperar que seu fornecimento em quantidades adequadas possa aumentar o crescimento da planta e as produtividades de raízes e de amido. Assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o crescimento, a produtividade e o acúmulo de fósforo e amido em mandioca de indústria ao longo dos ciclos vegetativos, cultivada sob diferentes níveis de adubação fosfatada. A cultivar utilizada foi a IAC - 14 e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três níveis de fornecimento de P (P - 0 = sem adubação com P; P - 80 = adubação com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio; P - 160 = adubação com 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio); e as subparcelas por 11 épocas de coleta de plantas no decorrer do ciclo. Conclui-se que o fornecimento de P teve pouca influência sobre o crescimento e produtividade da mandioca de indústria no primeiro ciclo vegetativo, mas no segundo ano a biomassa das plantas e a produtividade de raízes foram maiores sob a maior dose de P. Plantas de mandioca fertilizadas com a maior dose P absorveram mais P em ambos os ciclos vegetativos, mas o acúmulo de amido nas raízes e na planta inteira só foi mais elevado sob alto fornecimento de P durante o segundo ciclo vegetativo. No primeiro ciclo vegetativo a absorção máxima de P e as produtividades máximas de raízes e amido ficaram entre 14,7 - 19,4 kg ha⁻¹, 29,7 - 33,9 t ha⁻¹ e 7,8 - 9,0 t ha⁻¹, respectivamente. A absorção máxima de P e as produtividades máximas de raízes e amido no segundo ano ficaram entre 15,8 - 20,8 kg ha⁻¹, 50,9 - 60,8 t ha⁻¹ e 15,9 - 19,5 t ha⁻¹, respectivamente.

Palavras - chave: *Manihot esculenta*. Matéria seca. Análise de crescimento. Produtividade de raízes.

ABSTRACT

In Brazil, most of the cassava crops grown for industrial purposes have been harvested with two years, but in this modality of cultivation, little is known about the pattern of accumulation and distribution of dry matter (DM). Adequate mineral plant nutrition is also one of the essential factors to increase cassava growth and its biomass accumulation. Phosphorus (P) has been the nutrient that promotes the most pronounced and most frequent responses in cassava cultivation, and because it participates in the synthesis of starch in plants, it is expected that its supply in adequate quantities may increase the plant growth and yield of root and starch. Thus, the objective of this work was to evaluate the growth, yield and accumulation of phosphorus and starch in cassava of the industrial use under different levels of phosphate fertilization. The cultivar used was IAC - 14. The experimental design was a randomized complete block design with four replications. The main plots were represented by three levels of P supply (P - 0 = without fertilization with P; P - 80 = fertilization with 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ in the planting groove; P - 160 = fertilization with 160 kg ha⁻¹ P₂O₅ in the planting groove); and the sub-plots for 11 times of plant sampling throughout the cycle. It was concluded that the supply of P had little influence on the growth and productivity of the industrial cassava in the first year of cultivation, but in the second year plant biomass and root productivity were higher under the highest P. cassava fertilized with the highest P-dose absorbed more P in both years of cultivation, but the accumulation of starch in the roots and in the whole plant was only higher under high P supply during the second year of cultivation. In the first year of cultivation the maximum P absorption and the maximum yield of root and starch were between 14.7 - 19.4 kg ha⁻¹, 29.7 - 33.9 t ha⁻¹, and 7.8 - 9.0 t ha⁻¹, respectively. The maximum P absorption and the maximum yield of root and starch in the second year were between 15.8 - 20.8 kg ha⁻¹, 50.9 - 60.8 t ha⁻¹, and 15.9 - 19.5 t ha⁻¹, respectively.

Keywords: *Manihot esculenta*. Dry matter. Growth analysis. Root yield.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características químicas e granulométricas do solo da área experimental antes do plantio da cultura da mandioca.....	28
Tabela 2 –	Teores de nutrientes na folha diagnóstica da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	35
Tabela 3 –	Produtividade de raízes, teor de MS nas raízes, teor de P nas raízes e exportação de P, teor de amido nas raízes e produtividade de amido da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P e colhida aos 21 meses após o plantio.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Precipitação pluvial, e temperaturas máximas e mínimas registradas na área experimental durante o período de condução do experimento.....	29
Figura 2 –	Número de hastes por planta (a) e número de folhas por planta (b) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	36
Figura 3 –	Número de raízes por planta (a), comprimento médio das raízes (b), diâmetro médio das raízes (c), peso médio das raízes (d) e produtividade de raízes (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	38
Figura 4 –	Acúmulo de MS nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d), na planta inteira (e) e índice de colheita (f) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	41
Figura 5 –	Teor de P nas folhas (a), hastes (b), cepas (c) e raízes tuberosas (d) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	44
Figura 6 –	Acúmulo de P nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d) e na planta inteira (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	45
Figura 7 –	Teor de amido nas folhas (a), hastes (b), cepas (c) e raízes tuberosas (d) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	48
Figura 8 –	Acúmulo de amido nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d) e na planta inteira (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Localização e características da área experimental	28
3.2	Caracterização da cultivar de mandioca de indústria.....	30
3.3	Delineamento experimental e tratamentos	30
3.4	Instalação e condução do experimento	30
3.5	Coleta de plantas e preparo das amostras.....	31
3.6	Avaliações	32
3.6.1	Diagnose foliar.....	32
3.6.2	Número de hastes e de folhas por planta.....	32
3.6.3	Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas.....	32
3.6.4	Acúmulo de MS nas folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita.....	32
3.6.5	Teor e acúmulo de P.....	33
3.6.6	Teor e acúmulo de amido.....	33
3.6.7	Teor e exportação de P e amido.....	33
3.7	Análise estatística.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	Diagnose foliar.....	35
4.2	Número de hastes e de folhas por planta.....	36
4.3	Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes	37
4.4	Acúmulo de MS nas folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita.....	40
4.5	Teor e acúmulo de P.....	43
4.6	Teor e acúmulo de amido.....	47
4.7	Teor e exportação de P e amido.....	52
5	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Na região tropical a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é a terceira fonte de calorias na alimentação humana, depois do arroz e do milho. Seu uso na alimentação humana se dá de várias formas e dependendo da finalidade as variedades e os sistemas de cultivo são bastante diferentes. As variedades de mandioca utilizadas para consumo *in natura* apresentam baixos teores de ácido cianídrico (HCN) nas raízes e normalmente são colhidas com um ciclo vegetativo, pois se busca obter raízes com melhor qualidade culinária. Já as variedades de mandioca destinadas para uso industrial, visando à produção de farinha e amido, possuem elevados teores de HCN e são colhidas tradicionalmente com dois ciclos vegetativos, pelo fato de se obter maiores produtividade e qualidade da farinha e do amido.

O cultivo de mandioca por dois ciclos vegetativos é uma técnica de manejo relativamente recente e praticada principalmente no Brasil. Neste sistema de cultivo as plantas passam por um período de repouso fisiológico entre o final do primeiro e início do segundo ciclo vegetativo, período esse que ocorre na época mais fria e seca do ano. O segundo ciclo vegetativo da mandioca se inicia com a rebrota das hastes, estimulada pelo aumento da temperatura e retorno das chuvas, e as plantas passam novamente por outro período de intenso crescimento vegetativo. No entanto, apesar de nos cultivos com dois ciclos os aumentos de produtividade ser evidentes na maioria das situações quando em comparação aos cultivos com apenas um ciclo vegetativo (TAKAHASHI, 2002; OTSUBO; LORENZI, 2002), pouco se conhece sobre o padrão de acúmulo e distribuição de matéria seca (MS) nas plantas de mandioca nessa modalidade de cultivo.

A literatura brasileira tem raros relatos de análise de crescimento da cultura da mandioca colhida com um, dois ciclos vegetativos (LORENZI et. al., 1981; SILVA et. al., 2014) e praticamente nenhum estudo envolvendo o desenvolvimento da cultura durante dois ciclos vegetativos, mesmo no Brasil a maioria das lavouras destinadas às indústrias de transformação estar sendo colhidas com dois ciclos vegetativos (TAKAHASHI, 2002). Apesar da mandioca crescer e produzir uma elevada quantidade de MS em condições em que outras culturas teriam o crescimento bastante limitado, a produtividade média brasileira de mandioca ainda é baixa, em parte, devido ao seu cultivo em solos com características limitantes,

principalmente em relação a baixa disponibilidade de fósforo (P) (GOMES; SILVA, 2006).

O P não é o nutriente absorvido em maiores quantidades pela mandioca (LORENZI et. al., 1981; HOWELER; CADAVID, 1983), mas como a mandioca, normalmente é cultivada em solos pobres nesse nutriente (MATTOS; BEZERRA, 2003; PEREIRA et. al., 2012), ela tem respondido de forma mais acentuada e com maior frequência ao P do que em relação aos outros nutrientes (GOMES; SILVA, 2006). Nessas condições de baixa fertilidade, o P tem sido o elemento de maior importância para o aumento na produtividade de raízes (GOMES, 1987; FIDALSKI, 1999). Esse nutriente participa de várias enzimas envolvidas na síntese de amido, além de fazer parte da estrutura do amido, estando ligado a amilopectina na forma de éster de fosfato (NIELSEN et. al., 1994). Assim, o fornecimento adequado de P é fundamental para promover o crescimento das plantas e estimular a produção de amido. No caso da mandioca cultivada por dois ciclos vegetativos, a retomada do crescimento vegetativo no início do segundo ciclo, provavelmente cause novo aumento na absorção de P incrementando a demanda da cultura por P numa fase mais tardia do ciclo, tendo em vista que nos cultivos de dois ciclos vegetativos a produtividade de raízes é praticamente o dobro daquela obtida com apenas um ciclo (LORENZI, 2003; SAGRILO, et. al., 2006; OLIVEIRA et. al., 2010). Dessa forma, pode ser que o fornecimento de maiores doses de P no plantio possa contribuir para aumentar ainda mais a síntese e a produtividade de amido pela cultura da mandioca de indústria.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produtividade e o acúmulo de fósforo e amido em mandioca de indústria cultivada sob diferentes níveis de adubação fosfatada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das principais culturas produtoras de calorias no mundo. Atualmente, a área mundial cultivada com mandioca é de aproximadamente 24,2 milhões de hectares, com um volume de produção de 278 milhões de toneladas de raízes tuberosas e uma produtividade média de 11,4 t ha⁻¹ (FAO, 2018). No Brasil, a área cultivada com mandioca é de aproximadamente 1,57 milhões de hectares, com uma produtividade média de 14,8 t ha⁻¹ (FAO, 2018).

O uso da mandioca na alimentação humana se dá de várias formas. As variedades de mandioca utilizadas para consumo *in natura*, também conhecidas como mandioca de mesa, apresentam baixo teor de ácido cianídrico (HCN) nas raízes (MENDONÇA et. al., 2003) e seu consumo se dá de diferentes formas, tais como, cozida, assada, frita ou integrando pratos mais complexos (MENDONÇA et. al., 2003; OLIVEIRA; MORAES, 2009). No entanto, tanto no Brasil como em outros países da América Latina, da África e da Ásia, a mandioca também é cultivada para a industrialização (AGUIAR et. al., 2011b), de modo que as variedades com elevados teores de HCN são destinadas a esse mercado de industrialização, visando à produção de farinha e fécula (amido) (MENDONÇA et. al., 2003).

Nas variedades de mandioca de mesa a colheita é realizada preferencialmente com um ciclo vegetativo, ou seja, entre oito e quatorze meses após o plantio (LORENZI, 2003; FUKUDA et. al., 2006; AGUIAR et. al., 2011a), pois o objetivo é manter a qualidade culinária do produto final (OTSUBO; LORENZI, 2002). No entanto, para as variedades de mandioca de indústria a colheita normalmente ocorre com dois anos, entre 16 e 24 meses, devido à maior rentabilidade (TAKAHASHI, 2002), já que a produtividade e qualidade do amido e da farinha são maiores (OTSUBO; LORENZI, 2002), entre o primeiro e o segundo ciclo vegetativo a mandioca passa por um período de repouso fisiológico (CONCEIÇÃO, 1981; LORENZI, 2003; EL-SHARKAWY, 2006; AGUIAR et. al., 2011b). O segundo ciclo se inicia com a rebrota das hastes, um período de intenso crescimento vegetativo (AGUIAR, 2011). Nessa fase, que vai normalmente de agosto a dezembro, há inclusive uma redução nos teores de amido das raízes de reserva, devido à mobilização de reservas para promover o restabelecimento da área foliar, mas até o final do segundo ano os teores de amido das raízes sofrem acréscimos consideráveis (TERNES, 2002). Contudo, o cultivo de mandioca por dois ciclos

vegetativos é uma técnica de manejo adotada principalmente no Brasil, e apesar dos aumentos de produtividade ser evidentes na maioria das situações (TAKAHASHI, 2002; OTSUBO; LORENZI, 2002), pouco se conhece sobre o padrão de acúmulo e distribuição de matéria seca (MS) nas plantas de mandioca nessa modalidade de cultivo. A literatura brasileira tem raros relatos de análise de crescimento da cultura da mandioca colhida com um ciclo vegetativo (LORENZI et. al., 1981; SILVA et. al., 2014) e praticamente nenhum estudo envolvendo o desenvolvimento da cultura conduzida durante dois ciclos vegetativos.

A análise do crescimento é tida como método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura (MAGALHÃES, 1979), e ela baseiam-se no fato de que cerca de 90% da MS acumulada ao longo do desenvolvimento das plantas resulta da atividade fotossintética; e o restante, da absorção de nutrientes minerais (BENINCASA, 2003; BARCELOS et. al., 2007; FERNANDES et. al., 2010). Dessa forma, com a análise de crescimento é possível avaliar as mudanças na produção vegetal em função do tempo, bem como a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total das plantas, o que não é possível com o simples registro da produtividade final (URCHEI et. al., 2000; BENINCASA, 2003, JAUER et. al., 2003; ANDRADE et. al., 2009; SANTOS et. al., 2015).

Os estudos sobre análise de crescimento em mandioca, nas condições brasileiras têm demonstrado que essa espécie tuberosa possui crescimento inicial lento, com baixa acumulação de MS nos estádios iniciais (LORENZI et. al., 1981; SILVA et. al., 2014). Em média, a mandioca demora em torno de 15 dias para emitir as primeiras folhas, sendo que até os 70 dias a planta continua formando o sistema radicular absorvente, e somente a partir dos 90 dias que se inicia a acumulação de reservas nas raízes, com pico de alocação de reservas nas raízes a partir do quinto mês, ou seja, dos 150 dias (TERNES, 2002; ALVES, 2006). Até os 120 dias após a emergência a quantidade de MS acumulada pela planta inteira de mandioca fica ao redor de 833 - 4.100 kg ha⁻¹, chegando ao final de 10 - 12 meses de ciclo com aproximadamente 13.000 - 14.000 kg ha⁻¹ de MS, ou seja, cerca de 5,5 vezes mais MS que na fase inicial de desenvolvimento (LORENZI et. al., 1981; SILVA et. al., 2014).

Apesar de a mandioca ter essa elevada capacidade de produção de MS, sua produtividade média de raízes nas condições brasileiras ainda é baixa, em parte, devido ao seu cultivo em solos com características limitantes, principalmente em

relação à baixa disponibilidade de fósforo (P), uma vez que nos melhores solos os agricultores normalmente cultivam culturas mais nobres do ponto de vista econômico (GOMES; SILVA, 2006). Uma das características que permite que a mandioca cresça e produza em condições de baixa fertilidade, está associado à capacidade de suas raízes formarem associação com fungos micorrízicos arbusculares (MA) e bactérias diazotróficas ou promotoras do crescimento de plantas (GOMES; SILVA, 2006; LEONEL et. al., 2015). Os efeitos benéficos das associações micorrízicas sobre o crescimento da planta, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo, são muito benéficos para a agricultura (POWELL; BAGYARAJ, 1984; VARMA; HOCK, 1995; SMITH; READ, 1997). Dentre os fungos formadores de micorrizas, os da ordem Glomales, a qual compreende exclusivamente os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), são especialmente importantes para as regiões tropicais. Em condições naturais, as grandes maiorias das espécies de plantas apresentam-se colonizadas por estes fungos, que potencializam a absorção de fósforo dos solos, e cujas características predominantes são os baixos teores de nutrientes disponíveis e alta capacidade de fixação de fosfatos (MOSSE, 1981; SIEVERDING, 1989, 1991; SIQUEIRA, 1994). A cultura da mandioca tem sido considerada como uma das mais dependentes da associação micorrízica. Em condições naturais, observa-se um grande número de espécies de fungos MA associados à cultura, mas apenas algumas se têm mostrado eficientes (HOWELER et. al., 1987).

No entanto, ainda que a mandioca consiga produzir em locais onde as produtividades de outras culturas são muito baixas (TERNES, 2002), ela é uma cultura que absorve quantidades consideráveis de nutrientes do solo, e responde positivamente a adubação mineral, havendo aumentos consideráveis na produtividade de raízes, principalmente em solos de baixa fertilidade (SOUZA; SOUZA, 2000). Nessas condições de baixa fertilidade, o P tem sido o elemento de maior importância para o aumento na produtividade de raízes (GOMES, 1987; FIDALSKI, 1999), mas quando seu teor no solo encontra-se acima do nível crítico a resposta da mandioca ao P normalmente é ausente (NGUYEN et. al., 2002; LÔBO et. al., 2005; GOMES; SILVA, 2006). Assim, a disponibilidade adequada de P para as plantas de mandioca é de fundamental importância tendo em vista que plantas de mandiocas deficientes em P produzem ramas finas, folhas estreitas e poucos lóbulos (TERNES, 2002), além da produtividade de raízes e de amido serem menores.

Em solos arenosos e com baixa disponibilidade de P a reposta da cultura da mandioca a aplicação do nutriente tem sido maior. Em solos arenosos do estado do Paraná avaliou-se o efeito da adubação mineral com N, P e K associada à calagem e foi observado que a mandioca respondeu somente à adubação fosfatada; e que a calagem e as adubações nitrogenadas e potássica não incrementaram a produtividade de raízes (FIDALSKI, 1999). Outros estudos também têm demonstrado que a adubação fosfatada além de aumentar a produtividade de raízes e da parte aérea, também aumenta o teor de P na folha e incrementa a produção de amido pela mandioca (PERIN et. al., 1983), o que é de fundamental importância no caso da mandioca cultivada para fins industriais, em que o principal produto é o amido.

Assim, o conhecimento do comportamento do P na cultura da mandioca é de suma importância, tendo em vista que o P atua em vários processos metabólicos na planta. O P participa de várias enzimas chave envolvidas na regulação da síntese de amido (sacarose - fosfato sintase, frutose - 1,6 - bifosfatase e ADP - glicose pirofosforilase) (TAIZ; ZEIGER, 2013) e faz parte da sua composição, estando ligado à fração amilopectina do amido, na forma de éster de fosfato (NIELSEN et. al., 1994). Dessa forma, o fornecimento adequado de P é fundamental para promover o crescimento adequado das plantas e estimular a produção de amido. Em batata, por exemplo, sabe-se que o P desempenha diversos efeitos sobre a qualidade dos tubérculos, devido ao fato dele atuar na divisão celular, na síntese de amido e no seu armazenamento nos tubérculos (HOUGHLAND, 1960), sendo que o seu fornecimento é de fundamental importância para promover o aumento nos teores de amido de tubérculos produzidos em condições de baixa e média disponibilidade de P no solo (FERNANDES et. al., 2015a; FERNANDES et. al., 2015b).

Contudo, no caso da mandioca estudos avaliando os efeitos da adubação fosfatada sobre a capacidade de produção de amido são praticamente inexistentes nas condições brasileiras. Assim, considerando que o P atua na síntese de amido (TAIZ; ZEIGER, 2013) e que na mandioca cultivada por dois ciclos vegetativos mesmo havendo decréscimo no teor de amido das raízes entre o primeiro e o segundo ciclo vegetativo, por conta do gasto energético para a recomposição da área foliar, sabe-se que ao final do segundo ciclo vegetativo a produtividade de amido pode aumentar em até 100%, principalmente se as condições de fertilidade do solo favorecer este segundo ciclo vegetativo (TERNES, 2002). Dessa forma, no

cultivo com dois ciclos vegetativos a absorção de P pela planta deve aumentar novamente, à medida que ocorre a rebrota das hastes e a retomada do crescimento vegetativo no início do segundo ciclo. Com isso, a demanda da cultura por P, deve ser maior e ocorrer também numa fase mais tardia do ciclo, uma vez que nos cultivos de dois ciclos vegetativos a produtividade de raízes é praticamente o dobro daquela obtida com apenas um ciclo (LORENZI, 2003; SAGRILO, et. al., 2006; OLIVEIRA et. al., 2010). Sendo assim, pode ser que o fornecimento de P possa contribuir para aumentar ainda mais a síntese e a produtividade de amido da cultura da mandioca de indústria.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área experimental

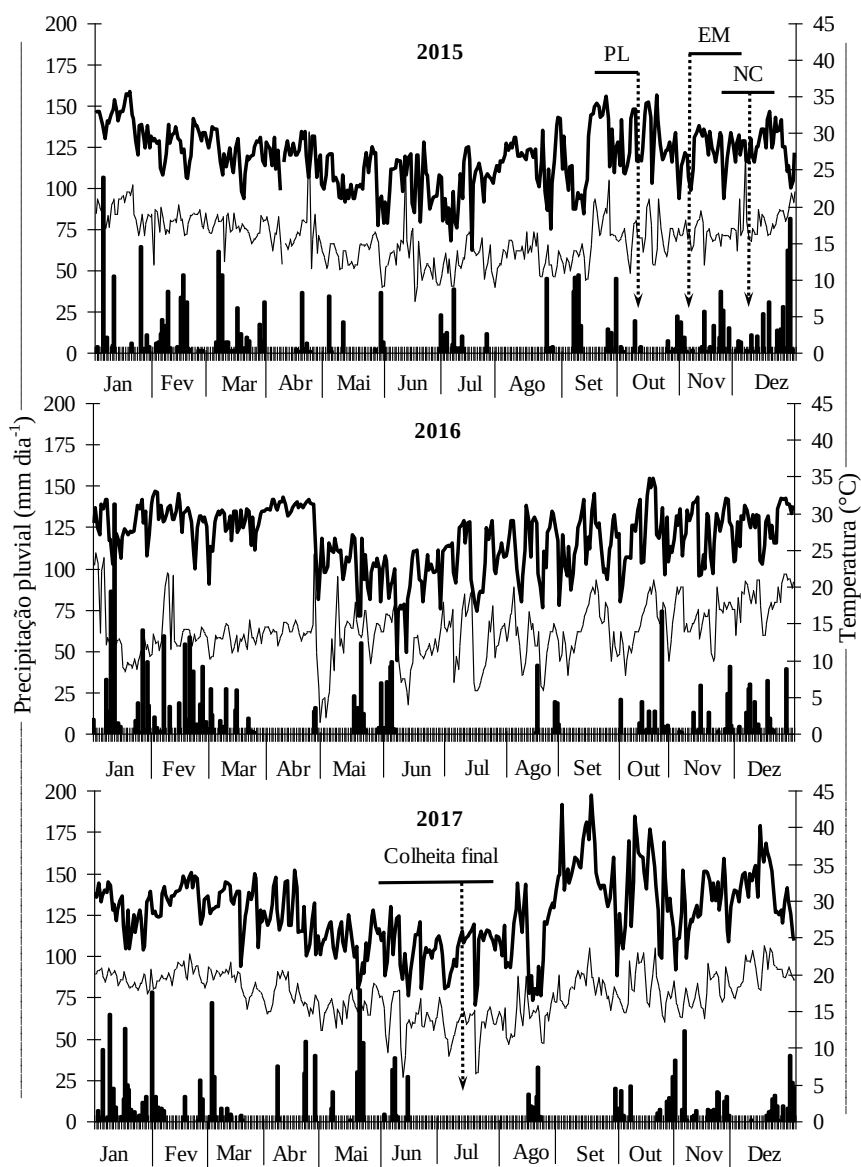
O experimento foi instalado em 15/10/2015 e conduzido na área experimental do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), localizada na Fazenda Experimental de São Manuel da FCA/UNESP, no município de São Manuel - SP (22° 77' S; 48° 57' W e 740 m de altitude). O solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et. al., 2006), de textura arenosa e antes do cultivo da mandioca a área havia sido cultivada com milho safrinha. Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 - 0,2 m e determinaram-se as características químicas e físicas, as quais estão apresentadas na (Tabela 1). As temperaturas máximas e mínimas e as precipitações registradas durante o período de condução do experimento estão apresentadas na (Figura 1).

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo da área experimental antes do plantio da cultura da mandioca.

Característica	Valores
pH(CaCl ₂)	5,7
MO (g dm ⁻³)	13,0
P _{resina} (mg dm ⁻³)	6,0
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	1,5
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	18,0
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8,0
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	11,0
CTC (mmol _c dm ⁻³)	38,5
V (%)	71,0
B (mg dm ⁻³)	0,16
Cu (mg dm ⁻³)	0,60
Fe (mg dm ⁻³)	19,0
Mn (mg dm ⁻³)	11,5
Zn (mg dm ⁻³)	1,3
Areia (g kg ⁻¹)	854,0
Silte (g kg ⁻¹)	58,0
Argila (g kg ⁻¹)	89,0

MO: matéria orgânica; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases.

Figura 1 - Precipitação pluvial (■), e temperaturas máximas (—) e mínimas (___) registradas na área experimental durante o período de condução do experimento. PL: plantio da mandioca; EM: emergência da mandioca; NC: adubação nitrogenada de cobertura.



3.2. Caracterização da cultivar de mandioca de indústria

A cultivar de mandioca utilizada foi a cultivar IAC - 14, tradicionalmente cultivada para a produção de fécula na região Centro - Sul do País. Essa cultivar é resistente a bacteriose, apresenta raízes com alto teor de MS, ramas de coloração marrom - escuras quando maduro porte alto, com plantas muito vigorosas e ramificação pouco engalhada (LEONEL et. al., 2015).

3.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três tratamentos: **P - 0** = cultivo sem adubação com P; **P - 80** = cultivo com a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio; **P - 160** = cultivo com a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio. As subparcelas foram constituídas por 11 épocas de coleta de plantas (avaliações), que foram realizadas aos 2º, 3º, 5º, 7º, 9º, 11º, 13º, 15º, 17º, 19º e 21º mês após o plantio. Cada parcela experimental foi constituída por 8 linhas de 8 m de comprimento, espaçadas de 1,20 m entre si. Cada subparcela foi representada por duas plantas de mandioca, coletadas na área útil de cada parcela, e pelas plantas adjacentes, as quais foram consideradas bordadura, ou seja, não são coletadas nas épocas seguintes.

No tratamento **P - 80** a adubação fosfatada foi realizada com base na análise de solo e nas recomendações de (LORENZI et. al., 1997), enquanto no tratamento **P - 160** a adubação fosfatada de plantio foi realizada com o dobro da dose de P₂O₅ recomenda para a cultura, ou seja, daquela utilizada no tratamento **P - 80**.

3.4. Instalação e condução do experimento

Antes da instalação do experimento amostras de solo da área experimental foram coletadas e analisadas quanto às características químicas e físicas (Tabela 1). Para o plantio da mandioca o preparo do solo foi realizado mecanicamente de acordo com as recomendações de SOUZA e SOUZA (2006). Assim inicialmente, foi realizada uma aração na profundidade de 0,15 - 0,20 m e posteriormente duas gradagens no sentido cruzado, com o objetivo de deixar o solo bem destorroado para ser sulcado. Em seguida, foram abertos sulcos a 0,10 m de profundidade, no espaçamento de 1,20 m entre sulcos. Nos sulcos abertos foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de K₂O apenas no plantio, de acordo com a análise de solo e a recomendação de

(LORENZI et. al., 1997). O P também foi aplicado no sulco de plantio de acordo com as doses estabelecidas em cada tratamento. Os fertilizantes foram incorporados no fundo dos sulcos de plantio e distribuíram-se manualmente as manivas - semente no espaçamento de 0,80 m entre manivas no sentido do comprimento do sulco, perfazendo uma população de 10.417 plantas por hectare. Como fonte de K e P foi utilizada o fertilizante cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente. Foram utilizadas manivas - semente com 0,20 m de comprimento, retiradas do terço médio de plantas saudáveis com 12 meses de idade. O plantio da mandioca, cultivar IAC - 14 foi realizado em 15/10/2015. Em 29/10/2015 (14 dias após o plantio – DAP) foram aplicados os herbicidas glifosato (1.920 g ha^{-1} do i.a.), trifluralina (1.080 g ha^{-1} do i.a.) e metribuzim (480 g ha^{-1} do i.a.). A emergência da mandioca ocorreu em 09/11/2015 aos 25 DAP.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada aos 40 dias após a emergência das plantas (19/12/2015) utilizando-se a dose de 40 kg ha^{-1} de N (LORENZI et. al., 1997), na forma de sulfato de amônio.

O controle fitossanitário e o controle de plantas daninhas na área experimental foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura na região, sempre que foi necessário.

3.5. Coleta de plantas e preparo das amostras

As coletas foram realizadas na parte da manhã e aos 2º, 3º, 5º, 7º, 9º, 11º, 13º, 15º, 17º, 19º e 21º mês após o plantio (MAP). Nas duas primeiras coletas como as plantas estavam menores foi coletado seis plantas por subparcela, mas nas demais coletas foram coletadas duas plantas por subparcela. As coletas foram realizadas seguindo alguns critérios, como: a) seleção de plantas que tinha de todos os lados plantas competitivas e b) seleção de plantas no padrão da parcela coletada c) plantas bem nutridas e com ausência de sintomas de ataque de pragas e doenças.

Depois de coletadas, as plantas foram separadas em folhas, caules, cepas e raízes de reserva (quando presentes) e mensurado o peso fresco. Em seguida, subamostras desse material foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Após a secagem, foi determinada a MS das amostras em balança analítica. As amostras foram então moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm e

armazenadas, para posterior análise. A última coleta foi realizada em julho de 2017, quando as plantas atingiram 21 meses de ciclo.

3.6. Avaliações

3.6.1. Diagnose limbo foliar

Na época recomendada para avaliação da diagnose foliar da cultura, ou seja, aos 4 meses após o plantio foram realizadas amostragens das folhas, retirando-se o limbo da folha mais jovem totalmente expandida (LORENZI et. al., 1997), de cada parcela experimental 20 folhas, sendo uma folha por planta, para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn de acordo com metodologia proposta por (MALAVOLTA et. al. 1997).

3.6.2. Número de hastes e de folhas por planta

Foram determinados em duas plantas da área útil da subparcela e em cada época de amostragem. O número de hastes e de folhas foi determinado mediante contagem.

3.6.3. Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

Em cada época de coleta foi contado o número de raízes por planta e medido o comprimento e o diâmetro das raízes tuberosas de duas plantas da área útil de cada subparcela. Em seguida, as raízes foram pesadas. O comprimento das raízes tuberosas foi medido de uma extremidade a outra das raízes e o diâmetro foi determinado na região do terço médio das raízes. O peso médio das raízes foi calculado mediante a relação entre o peso total e o número total de raízes de cada subparcela. Com os dados de peso fresco de raízes por planta e a população de plantas, foi calculada a produtividade de raízes tuberosas em cada época de coleta.

3.6.4. Acúmulo de MS nas folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita

Depois de colhidas, as plantas foram separadas em folhas (pecíolo + limbo), caules, cepas e raízes tuberosas. As amostras foram pesadas (peso fresco) e sub-amostras desse material foram retiradas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Após a secagem, as

sub-amostras foram pesadas para a obtenção da porcentagem de matéria seca (MS). Com os dados de matéria fresca e porcentagem de MS foi calculado o acúmulo de MS por área, em cada parte da planta e na planta inteira. O índice de colheita foi calculado dividindo-se as quantidades de MS acumuladas nas raízes tuberosas pela MS da planta inteira.

3.6.5. Teor e acúmulo de P

As sub-amostras usadas na determinação da MS (item 3.6.4), após a secagem foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm e submetidas à análise dos teores de P (MALAVOLTA et. al., 1997). As quantidades de P acumuladas nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas foram estimadas multiplicando-se o teor de P pela quantidade de MS acumulada. A quantidade de P absorvida pela cultura foi determinada pela soma das quantidades de P obtidas em cada parte da planta.

3.6.6. Teor e Produtividade de amido

Nas sub-amostras usadas na determinação da MS (item 3.6.4) foi determinado o teor de amido, segundo a metodologia de Somogyi, adaptada por (NELSON, 1944). Com os dados de teor de amido e acúmulo de MS foi determinado o acúmulo de amido nas partes da planta e na planta inteira.

3.6.7. Teor e exportação de P e amido

Nas amostras secas das raízes tuberosas obtidas na colheita final aos 21 MAP foram determinados os teores de P e amido de acordo com as metodologias de (MALAVOLTA et. al. 1997) e Somogyi, adaptada por (NELSON, 1944), respectivamente. A exportação de P e amido foram estimados mediante a multiplicação dos teores de P e amido pela MS das raízes tuberosas na colheita final (21 MAP).

3.7. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos com níveis de P foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Os efeitos das épocas de coletas de plantas para as variáveis analisadas foram submetidos à análise de regressão usando o programa

(Sigmaplot). As equações foram obtidas para descrever a variação, no tempo, das variáveis avaliadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diagnose foliar

Os tratamentos com P não afetaram os teores de nutrientes na folha diagnóstica da cultura da mandioca, inclusive os teores de P, provavelmente a época de avaliação da diagnose foliar para mandioca indústria não seja a mais adequada, pois a metodologia é para mandiocas colhidas com um ciclo vegetativo (Tabela 2). Os teores de N, P, K e Mg ficaram dentro da faixa considerada como adequada para a cultura por (LORENZI et. al.,1997) que é de 45 a 60 g kg⁻¹ para o N, 2,0 a 5,0 g kg⁻¹ para o P, 10 a 20 g kg⁻¹ para o K e 2,0 a 5,0 g kg⁻¹ para o Mg. Os teores de Ca e S nas folhas ficaram um pouco abaixo da faixa considerada como adequada por (LORENZI et. al., 1997) para esta cultura que é de 5,0 a 15 g kg⁻¹ para o Ca, e 3 a 4 g kg⁻¹ para o S. Mesmo com um teor de Ca no solo de 18 mmol_c dm⁻³ e uma saturação por bases de 71% os teores de Ca nas folhas ficaram abaixo da faixa de teores proposta por (LORENZI et. al.,1997).

Tabela 2 - Teores de nutrientes na folha diagnóstica da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P (120 DAP).

Nutrientes	Níveis de fornecimento de P		
	Controle	80 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	160 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅
	g kg ⁻¹		
N	49,3	49,0	50,5
P	2,9	2,9	3,1
K	12,8	11,7	12,3
Ca	4,3	4,6	4,8
Mg	2,6	2,5	2,7
S	2,2	2,1	2,2
	mg kg ⁻¹		
B	21,9	22,4	23,1
Cu	7,6	7,6	7,6
Fe	99,9	96,8	102,9
Mn	118,0	120,9	130,2
Zn	31,0	27,2	27,8

Médias seguidas sem letras nas linhas não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

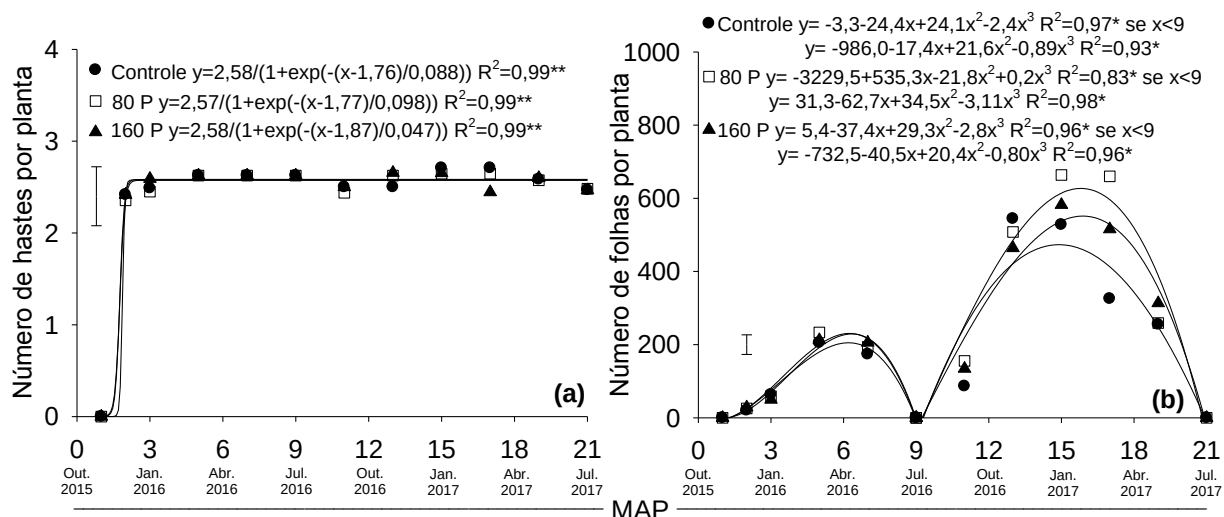
Para os micronutrientes B, Cu e Fe os teores foliares obtidos na folhas diagnóstica das plantas de mandioca cultivadas no presente experimento ficaram dentro da faixa proposta como adequada para a cultura da mandioca por (LORENZI et. al., 1997), que é de 15 a 50, 5 a 25 e 60 a 200 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Já os teores foliares de Mn ficaram acima da faixa de 25 a 100 mg kg⁻¹,

considerada como adequada para a cultura por (LORENZI et. al.,1997), enquanto os teores foliares de Zn ficaram abaixo da faixa proposta como adequada por esses autores, que é de 35 a 100 mg kg⁻¹. Esses resultados indicam que mesmo com teores de Zn no solo considerados altos por (LORENZI et. al., 1997) (> 1,2 mg dm⁻³) os teores desse nutriente nas folhas da mandioca não atingiram a faixa proposta como adequada por estes autores.

4.2. Números de hastes e de folhas por planta

O número de hastes por planta não foi alterado pelos diferentes níveis de fornecimento de P, o que indica que a adubação fosfatada não altera essa característica de crescimento das plantas de mandioca (Figura 2a). Após a emergência da cultura o número de hastes por planta se manteve inalterado durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas, sendo que em média as plantas da cultivar IAC - 14 produziram 2,6 hastes por planta. AGUIAR (2011) em estudo avaliando o efeito da poda sobre diferentes variedades de mandioca obteve para a cultivar IAC - 14 valores de número de hastes por planta variando de 2,2 a 2,3 quando a mesma não foi submetida a poda, valores estes, que são similares aos obtidos no presente estudo para a mesma cultivar. RÓS et. al. (2011) verificaram que a planta obteve o número máximo de haste por planta aos três meses após o plantio e após isso as hastes da planta somente aumentaram de tamanho.

Figura 2 – Número de hastes por planta (a) e número de folhas por planta (b) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle= sem aplicação de P; 80 P=aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P=aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



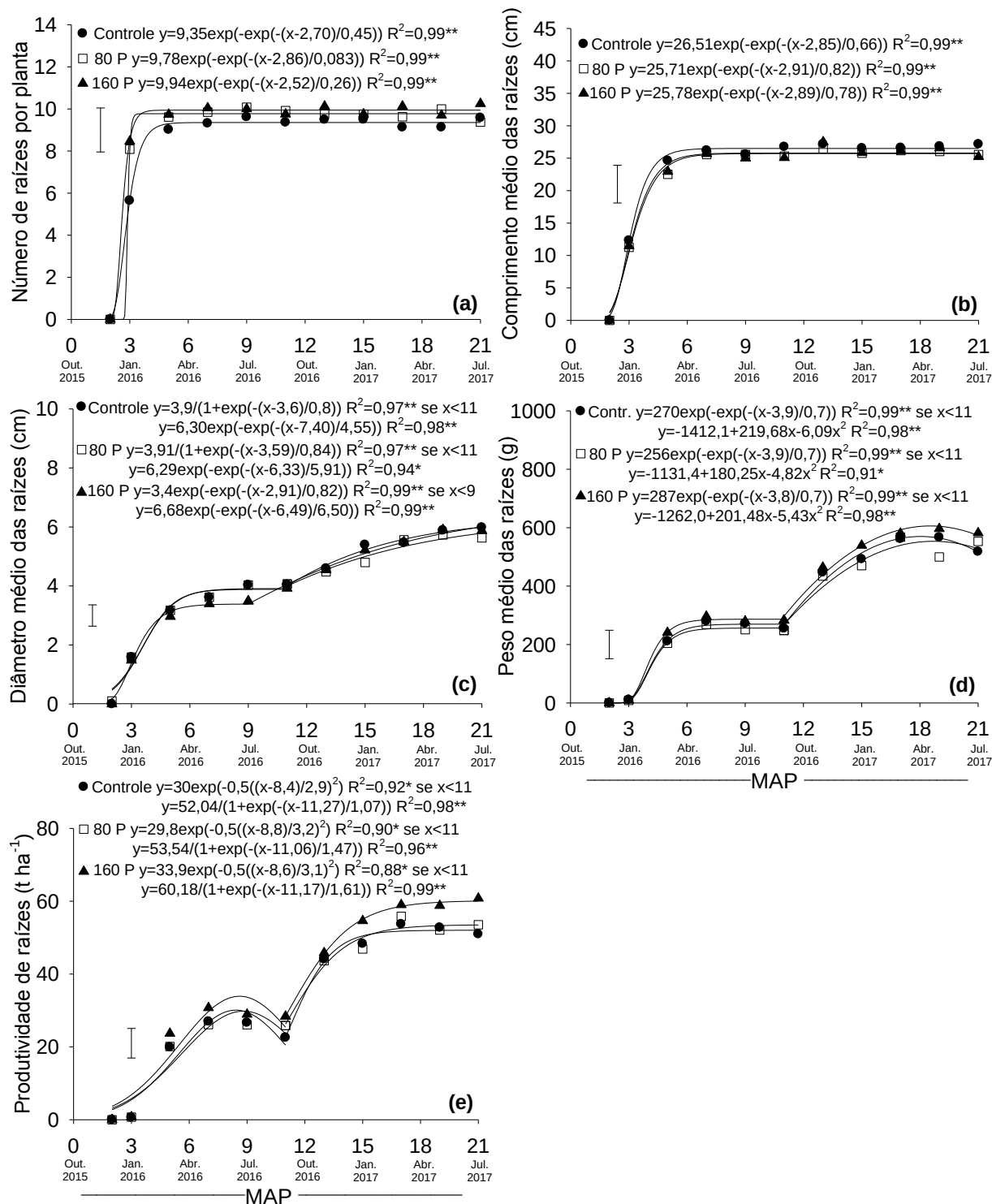
O número de folhas por planta não foi afetado pelos tratamentos nos primeiros 9 meses após o plantio, mas após o 9º mês onde a planta necessitou de energia para a retomada do crescimento, este resultado reforça a necessidade de P nesta fase planta (GRANT et. al., 2001). No segundo ano as plantas do tratamento que receberam 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em geral apresentaram maior número de folhas em relação as plantas do tratamento controle entre os 14 e 16 MAP (nov. 2016 e fev. 2017) (Figura 2b). No primeiro ciclo, o número de folhas por planta aumentou do segundo ao sexto MAP e diminuiu até os 9 MAP, quando as plantas perderam todas as folhas em função do comportamento vegetativo de perder todas as folhas quando as temperaturas forem menor que 17°C (ALVES, 2006). Com a retomada do crescimento vegetativo após os 9 MAP o número de folhas por planta aumentou até entre os 14 - 16 MAP dependendo do tratamento e depois reduziu significativamente até os 21 MAP (Figura 2b). As plantas que apresentavam maior reserva de P tiveram o maior número de folhas no estado de maior crescimento vegetativo, pois depois a planta entrou em repouso fisiológico novamente perdendo suas folhas no final do segundo ciclo vegetativo.

4.3. Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes

O número de raiz por planta não diferiu estatisticamente entre os tratamentos nos dois ciclos vegetativos e o número médio de raízes por planta foi de 9,7 raízes (Figura 3a). Aos 2 MAP as plantas ainda não apresentavam raízes de reserva, mas entre o 2º e o 5º MAP as plantas da variedade de mandioca IAC - 14 diferenciaram todas as raízes tuberosas, sendo que a partir do 5º MAP o número de raízes tuberosas por planta se manteve inalterado até a colheita final aos 21 MAP. Informações da literatura descrevem que até o 5º MAP a planta de mandioca forma o seu sistema radicular que irá dar origem as raízes de reservas, tanto em quantidade como em comprimento, e depois do 5º MAP as raízes começam a engrossar (FIGUEIREDO, 2014).

Os tratamentos com diferentes níveis de P não alteraram o crescimento das raízes tuberosas em comprimento, as quais cresceram em comprimento do 2º ao 6º MAP, e a partir do 6º MAP o crescimento das raízes em comprimento cessou e permaneceu ao redor de 26 cm (Figura 3b). Em estudo com a cultivar de mandioca de mesa IAC 576-70 também se verificou que o crescimento das raízes de reserva em comprimento atinge seu máximo entre o 5º e o 6º MAP (FIGUEIREDO, 2014).

Figura 3 – Número de raízes por planta (a), comprimento médio das raízes (b), diâmetro médio das raízes (c), peso médio das raízes (d) e produtividade de raízes (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



O diâmetro médio das raízes de reserva não foi afetado significativamente pelos tratamentos com diferentes níveis de P (Figura 3c). O crescimento das raízes tuberosas em diâmetro aumentou significativamente entre o 2º e o 6º MAP e depois se manteve inalterado até os 9 MAP no tratamento controle e até os 11 MAP nos demais tratamentos. (FIGUEIREDO, 2014) em estudo com a cultivar IAC 576 - 70 verificou que o aumento das raízes tuberosas em diâmetro ocorreu de forma mais expressiva até o 7º MAP e depois disso praticamente não variou durante o primeiro ciclo vegetativo da cultura. Como as plantas de mandioca perderam todas as folhas, em decorrência as baixas temperaturas no inverno (Figura 1), a planta busca recursos na raiz onde há uma grande quantia de energia acumulada em forma de amido (ZAMSKI, 1996), e como não havia área foliar nesse período não houve aumento no acúmulo de carboidratos nas raízes e o diâmetro das raízes não aumentou entre o 7º e o 11º MAP (Figura 3c). Com a recomposição da área foliar da cultura no início do segundo ano as plantas voltaram a acumular reservas nas raízes tuberosas e o diâmetro das raízes aumentou da fase de repouso fisiológico até a colheita final aos 21 MAP (Figura 3c).

O peso médio das raízes tuberosas não foi afetado pelos tratamentos (Figura 3d). Após a tuberização o peso médio das raízes tuberosas aumentou significativamente entre o 3º e o 6º MAP, mas depois se manteve estável até os 11 MAP. Com a retomada do crescimento vegetativo no segundo ciclo o peso médio das raízes aumentou significativamente a partir do 11º MAP até o 18º MAP e depois apresentou uma leve redução. No final do primeiro ciclo vegetativo o peso médio das raízes foi de 270 g e o valor máximo de peso médio de raízes no segundo ciclo vegetativo foi de 570 g. AGUIAR (2011) obteve para esta mesma cultivar valores de peso médio de raízes variando de 110 a 304 g numa condição de colheita com 22 MAP.

A produtividade de raízes frescas não foi afetada pelos tratamentos no primeiro ciclo vegetativo (Figura 3e). Em todos os tratamentos a produtividade de raízes aumentou do 3º ao 9º MAP e diminuiu do 9º ao 11º MAP, ou seja, durante a fase de restabelecimento do crescimento vegetativo. Após o 11º MAP a produtividade de raízes aumentou significativamente até o 19º MAP e manteve-se relativamente estável até a colheita final aos 21 MAP, sendo que nos últimos 3 meses de ciclo a produtividade de raízes do tratamento com alto nível de P foi maior que nos demais tratamentos. Esses resultados mostram que a máxima produtividade

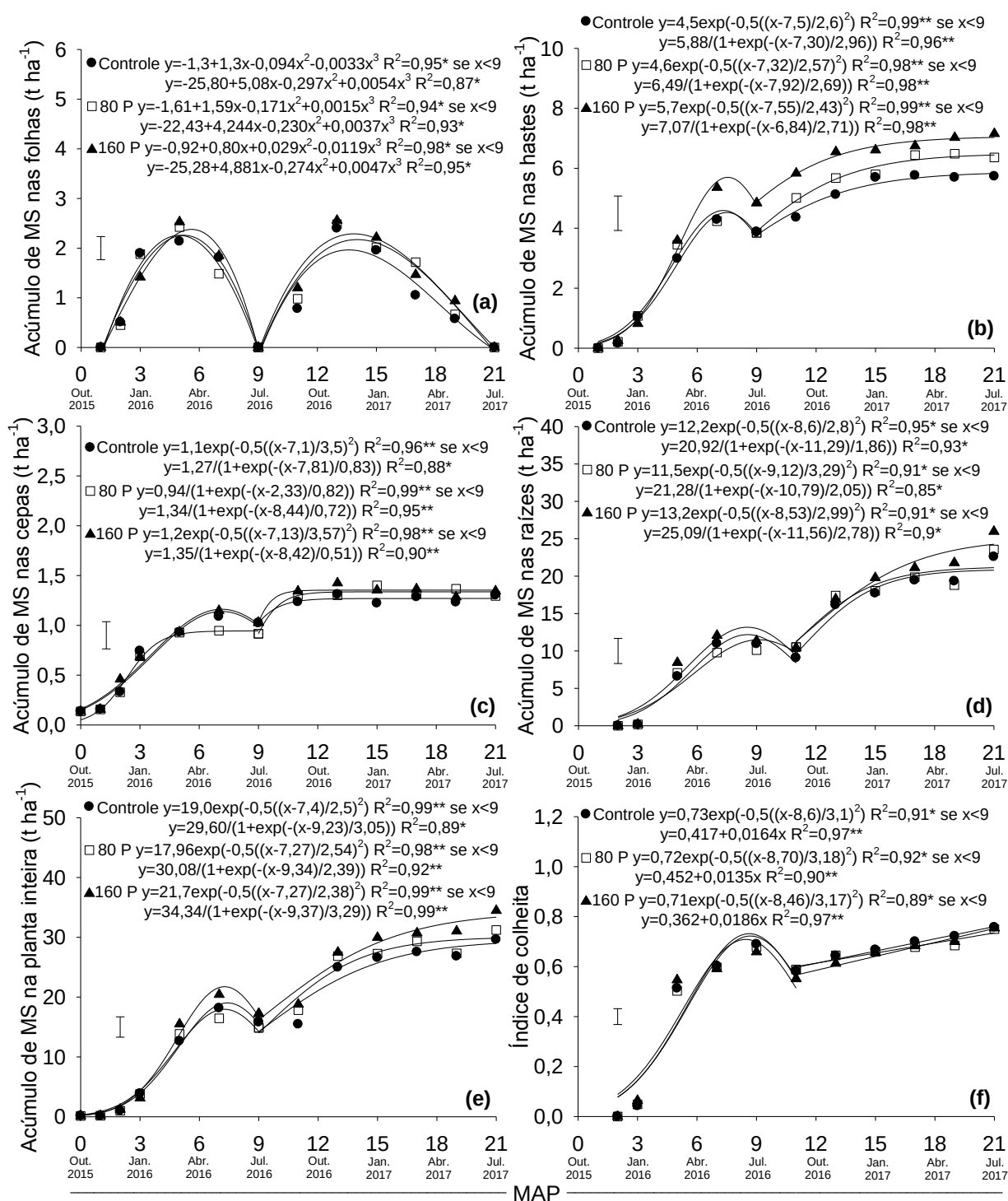
de raízes no primeiro ciclo é obtida aos 9 MAP, ou seja, durante a fase de repouso fisiológico da planta que ocorre em julho, quando obteve-se uma produtividade média de 31,9 t ha⁻¹. Entre julho e setembro (9 e 11 MAP) houve uma redução média de 19% na produtividade de raízes em função do gasto energético da planta para recompor a folhagem da parte aérea. A máxima produtividade de raízes no segundo ano foi obtida aos 19 MAP, ou seja, em maio do ano seguinte, quando a produtividade chegou a ser 72% maior do que a obtida com 9 meses de ciclo, ou seja, chegou a 54,9 t ha⁻¹ (Figura 3e).

4.4. Acúmulo de MS nas folhas, caules, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita

As quantidades de MS acumuladas nas folhas das plantas não foram afetadas pelos tratamentos em ambos os ciclos vegetativos da mandioca (Figura 4a). Após a emergência da cultura o acúmulo de MS nas folhas aumentou intensamente até entre o 5° e 6° MAP, mas após esse período a MS foliar reduziu drasticamente até os 9 MAP, quando as plantas entraram na fase de repouso fisiológico devido a redução da precipitação e temperatura (Figura 1). Durante o segundo ciclo vegetativo houve aumento na MS foliar dos 9 MAP até os 14 MAP e depois disso a MS de folhas reduziu significativamente até atingir a ausência total de folhas aos 21 MAP que ocorreu em julho de 2017 (Figura 4a). Vale destacar que em ambos os ciclos vegetativos as quantidades máximas de MS acumuladas nas folhas foram muito similares e ficaram próximas de 2,3 a 2,4 t ha⁻¹. Valores de acúmulo de MS nas folhas da mandioca de até 3,8 t ha⁻¹ foram obtidos por (FIGUEIREDO et. al. 2014) em estudo com a cultivar de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 6 MAP.

Nas hastes, o acúmulo de MS aumentou desde a emergência até os 7,5 MAP e apresentou uma leve redução nos próximos 1,5 MAP, mas depois dos 9 MAP a MS de hastes aumentou até o final do cultivo da cultura (Figura 4b). Da emergência até os 5 MAP o acúmulo de MS nas hastes das plantas de mandioca não diferiu entre os tratamentos, mas depois dessa época, em geral, as plantas que receberam a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ acumularam mais MS nas hastes que as plantas do tratamento controle, sem fornecimento de P. O acúmulo máximo de MS nas hastes foi de 5,7 e 7,0 t ha⁻¹ no 1° e 2° ano respectivamente.

Figura 4 – Acúmulo de MS nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d), na planta inteira (e) e índice de colheita (f) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



O acúmulo de MS nas cepas não foi alterado pelo fornecimento de P (Figura 4c). As quantidades de MS acumuladas nas cepas aumentaram desde o plantio até o 7º MAP e diminuíram entre o 7º e o 9º MAP. Após o 9º MAP a MS das cepas aumentou até os 11º MAP e manteve-se estável posteriormente até o final do cultivo da cultura. No 1º e no 2º ciclo vegetativo da mandioca, o acúmulo de MS nas cepas foi de no máximo 1,1 e 1,3 t ha⁻¹, respectivamente. Acúmulos de MS nas cepas variando de 1,4 e 1,8 t ha⁻¹ foram obtido sem mandioca de mesa cultivada sobre diferentes sistemas de preparo do solo e colhida com 12 meses (FIGUEIREDO et. al. 2017).

As quantidades de MS acumuladas nas raízes não foram alteradas pelos tratamentos (Figura 4d). Nas raízes, o acúmulo de MS começou a ser representativo a partir do 3º MAP, início da tuberização (COCK; ROSAS, 1975; CRUZ; PELACANI, 1993), e ele aumentou expressivamente até os 8,5º MAP atingindo, em média, 12 t ha⁻¹, mas o acúmulo de MS nas raízes reduziu posteriormente até os 11º MAP. No segundo ciclo vegetativo, após o 11º MAP a raiz acumulou MS de forma intensa até os 16º MAP e com menores incrementos a partir dessa época até o final do cultivo da cultura (Figura 4d). O acúmulo máximo de MS nas raízes foi de 12 e 22,5 t ha⁻¹ no primeiro e segundo ano, respectivamente.

O acúmulo de MS na planta inteira de mandioca não foi influenciado pelos tratamentos (Figura 4e). Do momento do plantio até os 3 MAP o crescimento das plantas de mandioca é lento com baixa acumulação de MS. Entre o 3 MAP e o 7,5 MAP o acúmulo de MS nas plantas de mandioca se intensificou e atingiu o valor máximo de 19,4 t ha⁻¹. Porém, dos 7,5 aos 9 MAP a MS das plantas de mandioca reduziu significativamente devido a senescência e abscisão foliar. No segundo ciclo vegetativo, o acúmulo de MS aumentou desde os 9 MAP até os 21 MAP, mas com incrementos mais expressivos dos 9 aos 17 MAP. No final do segundo ciclo vegetativo o acúmulo máximo de MS nas plantas de mandioca foi de 30,6 t ha⁻¹.

O índice de colheita (IC) não foi afetado pelo fornecimento de P (Figura 4f), portanto o que influenciou o IC foi o ambiente. Da emergência da cultura até os 8,5 MAP o IC aumentou significativamente e depois teve uma leve redução até os 11 MAP, provavelmente devido à perda de folhas e posterior recomposição da parte aérea das plantas. Após os 11 MAP o IC das plantas de mandioca aumentou

linearmente, mas em pequenas taxas, o que mostra que a partição de MS para as raízes tuberosas é maior durante o primeiro ciclo vegetativo da cultura, quando as plantas estão formando todo o seu sistema radicular tuberoso.

4.5. Teor e acúmulo de P

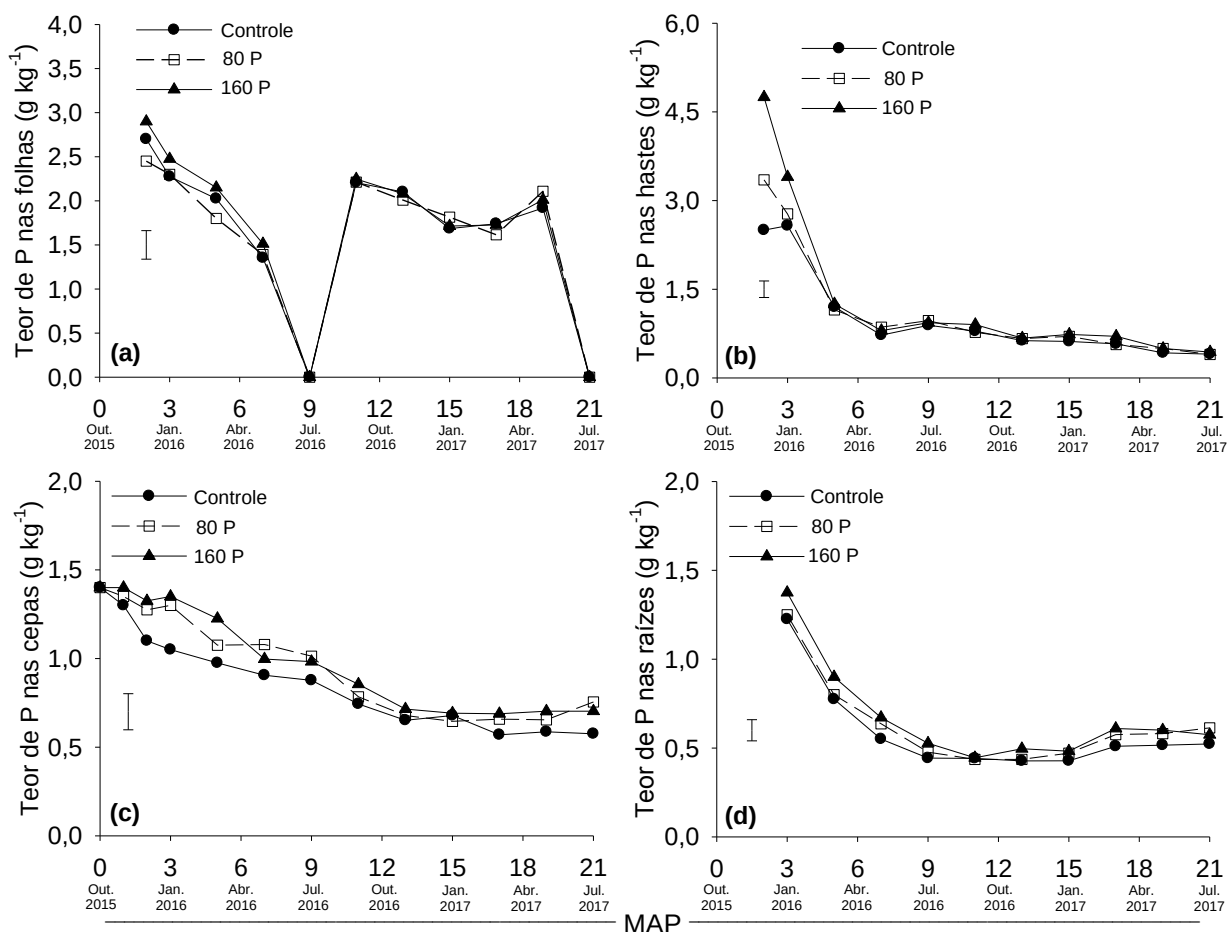
Nas folhas o teor de P não diferiu entre os tratamentos com diferentes níveis de fornecimento de P (Figura 5a). No primeiro ciclo vegetativo os teores de P nas folhas diminuíram desde a fase de emergência até a fase de repouso fisiológico que coincidiu com a perda total das folhas. Nas folhas emitidas a partir do início do segundo ciclo vegetativo os teores de P estavam acima de 2 g kg^{-1} e apresentaram uma leve redução com o passar do tempo, mas com as quedas das folhas na fase de repouso fisiológico no final do segundo ano (21 MAP) não se pode determinar novamente os teores desse nutriente.

Nas hastes os teores de P foram maiores no tratamento com aplicação de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 nos primeiros meses de desenvolvimento das plantas, mas depois do 3 MAP os teores de P nas hastes não diferiu entre os tratamentos (Figura 5b). O teor de P nas hastes na fase inicial de desenvolvimento da cultura estava elevado, devido no início as hastes serem herbáceas e com alta taxa metabólica para o crescimento de ramas, mas à medida que as hastes foram se lignificando o teor de P nas hastes diminuiu e atingiu 1 g kg^{-1} no 7º MAP e se manteve próximo deste valor até o final do cultivo.

Nas cepas os teores de P não diferiram entre os tratamentos do plantio até o 1 MAP (Figura 5c). A partir do 2º MAP até 5º MAP o teor de P nas cepas das plantas do tratamento sem fornecimento de P foi menor que no tratamento com o maior nível de P, mas nos meses seguintes os teores de P não diferiram entre os tratamentos. Porém, em todos os tratamentos os teores de P das cepas reduziram desde o momento do plantio até a colheita final que ocorreu aos 21 MAP.

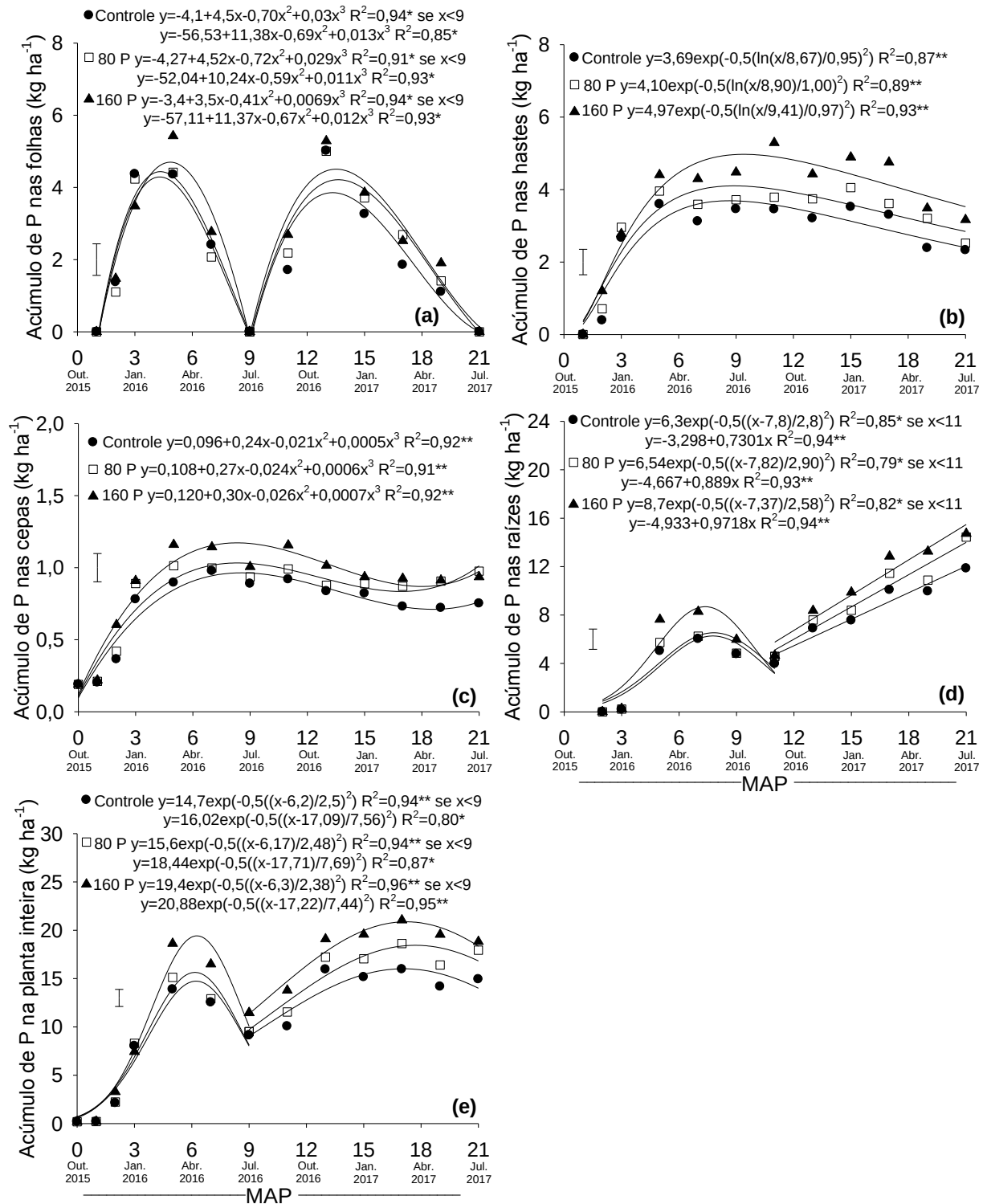
Nas raízes tuberosas não foi constatada diferença entre os tratamentos sobre os teores de P (Figura 5d). Da fase de tuberização até os 9 MAP os teores de P nas raízes tuberosas diminuíram significativamente, mas nas fases seguintes eles se mantiveram relativamente constantes até o final do cultivo.

Figura 5 – Teor de P nas folhas (a), hastes (b), cepas (c) e raízes tuberosas (d) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



O acúmulo de P na planta representa a quantidade extraída por hectare, isto dependerá muito do estágio vegetativo da planta, condições climáticas, sanidade da planta e disponibilidade do nutriente onde a planta se encontra (SALISBURY, 1978). Nas folhas o acúmulo de P não foi afetado pelos tratamentos (Figura 6a). O acúmulo de P nas folhas apresentou dois picos de acúmulo iguais, onde entre 4,5 - 5 MAP a planta acumulou nas folhas 4,5 kg ha⁻¹ de P, mas aos 9 MAP o acúmulo foliar de P foi zero. Isto ocorreu porque as plantas perderam todas as folhas nesse período, mas após os 9 MAP as plantas voltaram a acumular P nas folhas, uma vez que emitiram novas brotações e atingiram o pico máximo de acúmulo foliar de P no segundo ciclo aos 13,5 MAP, com acúmulos máximos de P 4,2 kg ha⁻¹.

Figura 6 – Acúmulo de P nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d) e na planta inteira (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



Com a senescência foliar na fase final do segundo ciclo vegetativo da mandioca as plantas reduziram significativamente as quantidades de P acumuladas nas folhas até zerar o acúmulo foliar desse nutriente, que coincidiu com a perda total da folhagem (Figura 6a).

O acúmulo de P nas hastes não diferiu estatisticamente entre os tratamentos até o 5º MAP, mas dessa fase em diante o acúmulo de P nas hastes das plantas do tratamento que recebeu 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi maior do que no tratamento controle, sem aplicação de P (Figura 6b). Nas hastes o acúmulo de P aumentou até os 9 MAP em todos os tratamentos e depois diminuiu até a época da colheita que ocorreu aos 21 MAP.

Nas cepas o acúmulo de P não diferiu entre os tratamentos até os 17 MAP, mas depois dessa época verificou-se que no tratamento controle o acúmulo de P nas cepas foi menor que nos outros tratamentos (Figura 6c). Nas cepas o acúmulo de P aumentou desde o plantio até os 8 MAP, mas depois dessa época as quantidades de P acumuladas nas cepas diminuíram até os 17 MAP e manteve-se estáveis nos últimos 4 meses antes da colheita final. Em média, o acúmulo máximo de P nas cepas foi de 1,0 kg ha⁻¹ de P, ou seja, o órgão da planta que apresentou o menor acúmulo de P.

O acúmulo de P nas raízes teve dois ciclos bem distintos, onde no primeiro ciclo vegetativo as plantas de mandioca aumentaram o acúmulo de P nas raízes desde a tuberização até entre 7,5 e 8 MAP, dependendo do tratamento, e nos meses seguintes o acúmulo de P nas raízes diminuiu até o 11º MAP (Figura 6d). Nessa fase as plantas priorizaram as brotações novas, pois as plantas tinham perdido todas as folhas no inverno. No primeiro ciclo vegetativo o acúmulo de P nas raízes das plantas do tratamento com o maior nível de P foi superior ao dos demais tratamentos entre o 5º e o 8º MAP. No segundo ciclo vegetativo o acúmulo de P nas raízes aumentou linearmente e as plantas do tratamento com o maior nível de P acumulou mais P que os demais tratamentos nos últimos 3 meses de ciclo da cultura. Assim, verificou-se que as raízes de mandioca acumularam no máximo 14,7 kg ha⁻¹ de P no tratamento com o maior nível de P e em média 13,1 kg ha⁻¹ de P nos tratamentos controle e com nível intermediário de P.

As quantidades de P acumuladas na planta inteira de mandioca foram afetadas pelos tratamentos (Figura 6e). O acúmulo de P nas plantas de mandioca teve aumento significativo a partir do 3º MAP, mas entre o 5º e o 7º MAP o acúmulo

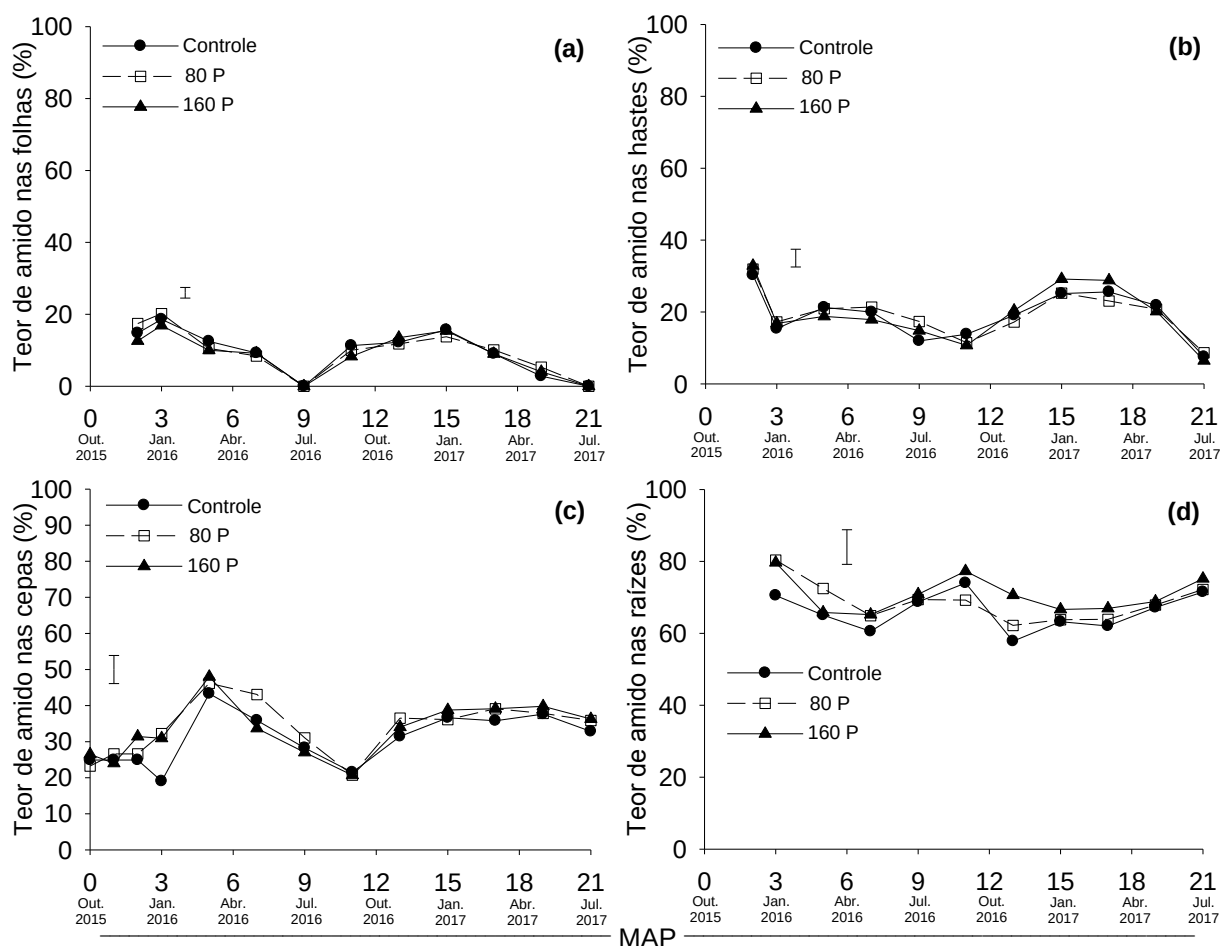
de P foi maior nas plantas do tratamento que recebeu 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 , enquanto nos outros tratamentos o acúmulo desse nutriente não diferiu. O acúmulo máximo de P nas plantas de mandioca durante o 1º ciclo vegetativo ocorreu aos 6,3 MAP e após essa época o acúmulo de P nas plantas reduziu significativamente até o 9º MAP. No segundo ciclo vegetativo o acúmulo de P nas plantas de mandioca aumentou dos 9 MAP até os 17,5 - 18,0 MAP, sendo que após esse período houve uma pequena redução nas quantidades de P acumuladas nas plantas de mandioca. De maneira geral, no 2º ciclo vegetativo as plantas do tratamento com 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 acumularam significativamente mais P que as plantas do tratamento controle. No tratamento com 80 kg ha^{-1} de P as quantidades de P acumuladas pelas plantas de mandioca foram intermediárias e na maioria das avaliações não diferiu significativamente dos demais tratamentos. No tratamento controle o acúmulo máximo de P nas plantas de mandioca foi de $14,7 \text{ kg ha}^{-1}$ no primeiro ano e $16,0 \text{ kg ha}^{-1}$ no segundo ano, enquanto que no tratamento com o maior nível de P o acúmulo máximo desse nutriente pelas plantas de mandioca foi de $19,3 \text{ kg ha}^{-1}$ no primeiro ciclo e $20,8 \text{ kg ha}^{-1}$ no segundo ciclo.

4.6 Teor e acúmulo de amido

Os teores de amido nas folhas das plantas de mandioca não diferiram entre os tratamentos (Figura 7a). O teor de amido nas folhas teve um comportamento decrescente nos primeiros 9 MAP, devido a planta ter uma alta taxa de crescimento vegetativo no começo e pouco acúmulo de amido. No segundo ciclo vegetativo o teor de amido nas folhas aumentou desde o 9º até o 15º MAP e depois diminuiu até a avaliação final aos 21 MAP, devido à perda de folhas no final do cultivo da cultura.

Nas hastes o teor de amido foi similar entre os tratamentos com diferentes níveis de P e apresentou redução significativa do 2º para o 3º MAP e depois se manteve relativamente estável até o 6º MAP, mas voltou a diminuir a partir de então até o 11º MAP, devido a planta ter entrado em repouso fisiológico e nesta condição todos grande parte dos assimilados foram transferidos para as raízes tuberosas (Figura 7b). Entre o 11º MAP e o 15º MAP o teor de amido nas hastes aumentou significativamente, sendo que do 15º ao 17º MAP eles permaneceram inalterados e voltaram a diminuir nos meses seguintes até a colheita final que ocorreu com 21 MAP.

Figura 7 – Teor de amido nas folhas (a), hastes (b), cepas (c) e raízes tuberosas (d) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



Nas cepas o teor de amido praticamente não diferiu significativamente entre os tratamentos e aumentou desde o plantio até 5° MAP, mas depois diminuiu até o 11° MAP (Figura 7c). Entre o 11° MAP e o 15° MAP o teor de amido nas cepas aumentou e manteve-se estável até o 18° MAP para depois apresentar uma leve redução nos meses seguintes.

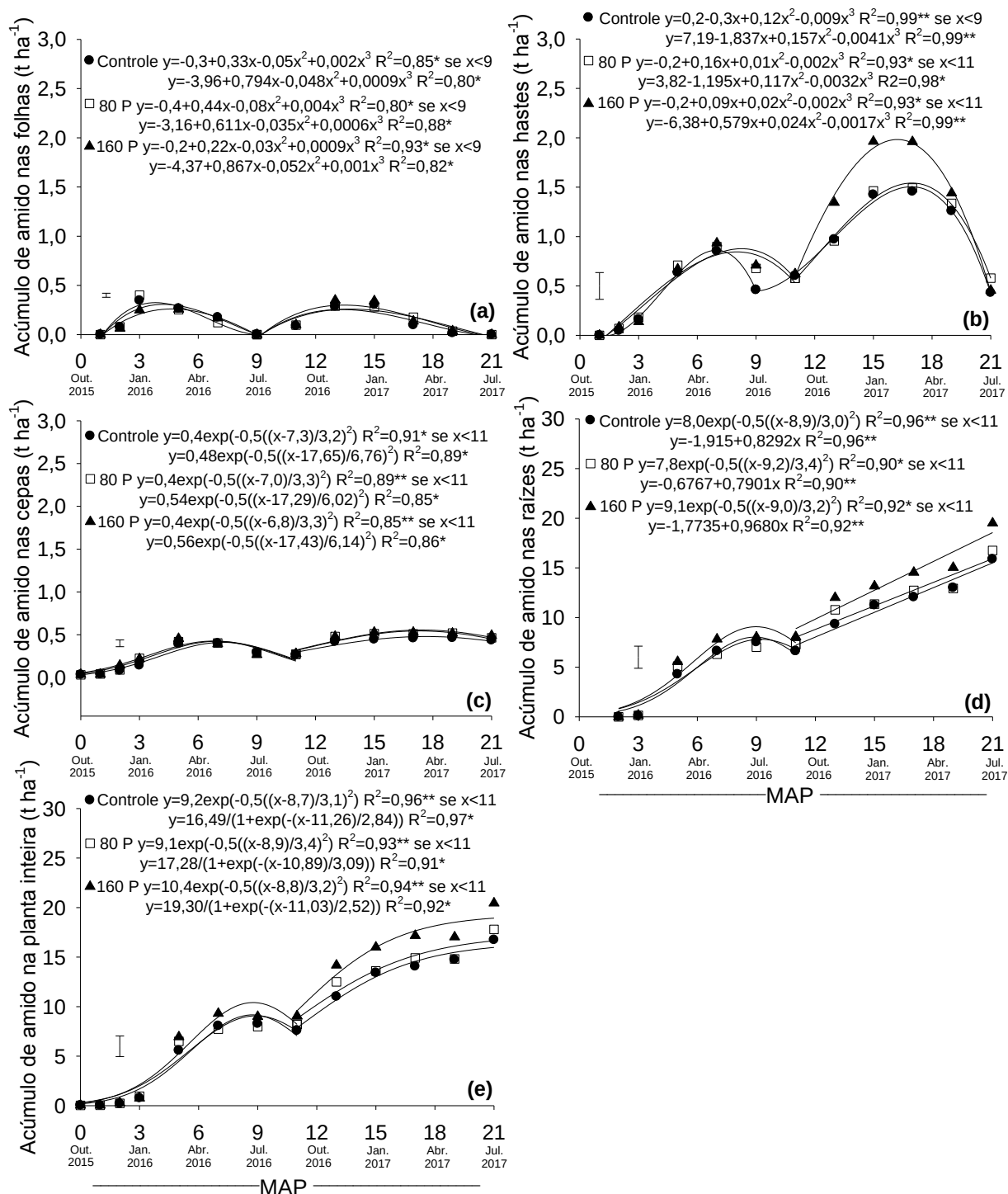
Nas raízes o teor de amido diminuiu do 3° ao 7° MAP e depois dessa época ele aumentou até o 11° MAP, passando a diminuir significativamente nos meses seguintes e atingindo os teores mais baixos durante o 2° ciclo vegetativo aos 17 MAP (Figura 7d). Após essa época os teores de amido das raízes voltaram a aumentar até o momento da colheita final, aos 21 MAP. Em geral, os tratamentos com diferentes níveis de fornecimento de P tiveram pouca influência sobre os teores

de amido nas raízes da mandioca ao longo dos dois ciclos vegetativos de desenvolvimento das plantas. Porém, fica nítido que no início do segundo ciclo vegetativo, aos 13 MAP, as raízes das plantas do tratamento controle apresentaram uma redução maior no teor de amido das raízes que as plantas do tratamento com o fornecimento do maior nível de P, o que indica que no tratamento controle houve um maior consumo das reservas deste carboidrato armazenadas nas raízes.

O amido é o principal carboidrato de reserva na planta de mandioca, representando grande parte da MS da planta. Assim, devido a esse acúmulo de amido na planta é de grande importância avaliar seu comportamento nas diferentes partes da planta. O acúmulo de amido nas folhas está dividido em dois picos e em ambos os picos praticamente não houve influência dos tratamentos sobre o acúmulo de amido (Figura 8a). No primeiro pico o acúmulo máximo de amido nas folhas ocorreu entre os 3,8 e 4,5 MAP dependendo dos tratamentos, mas no segundo pico o acúmulo máximo de amido nas folhas ocorreu aos 13 - 18 MAP em todos os tratamentos.

O acúmulo de amido nas hastes das plantas do tratamento controle aumentou até os 7 MAP durante o primeiro ciclo vegetativo e depois diminuiu até os 9 MAP, mas nos demais tratamentos o acúmulo de amido nas hastes aumentou até os 3 - 8 MAP e diminuiu posteriormente até os 11 MAP, porém sem apresentar diferença estatística entre os tratamentos (Figura 8b). No segundo ciclo vegetativo o acúmulo de amido nas hastes foi bem maior em relação ao primeiro ano da cultura e apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Dos 13 aos 18 MAP o acúmulo de amido nas hastes das plantas dos tratamentos com o maior nível de P superou o dos tratamentos controle e com nível intermediário de P. O acúmulo de amido nas hastes das plantas dos tratamentos controle e com o nível intermediário de P aumentou até os 17 MAP, mas no tratamento com o maior nível de P o acúmulo máximo de amido nas hastes ocorreu um mês antes. Após esses períodos de máximo acúmulo de amido nas hastes, as quantidades de amido acumuladas nas hastes das plantas de mandioca reduziram significativamente em todos os tratamentos a partir dos 19 MAP não houve mais diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 8 – Acúmulo de amido nas folhas (a), hastes (b), cepas (c), raízes tuberosas (d) e na planta inteira (e) da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P. ** e * são: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Controle = sem aplicação de P; 80 P = aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 160 P = aplicação de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.



Nas cepas o acúmulo de amido não diferiu entre os tratamentos em ambos os ciclos vegetativos da cultura (Figura 8c). No primeiro ciclo vegetativo houve incremento nas quantidades de amido acumuladas nas cepas das plantas de mandioca até o 7° MAP, mas depois disso houve uma pequena redução nas quantidades de amido acumuladas nesta estrutura da planta até por volta do 11° MAP. No segundo ciclo vegetativo o acúmulo de amido nas cepas voltou a aumentar e atingir o pico de máximo acúmulo aos 18 MAP, e após isso apresentou uma leve redução nas quantidades de amido acumuladas.

Nas raízes tuberosas o acúmulo de amido não diferiu entre os tratamentos durante o primeiro ciclo vegetativo (Figura 8d). Após a tuberização o acúmulo de amido nas raízes das plantas de mandioca aumentou até os 9 MAP, quando atingiu o valor máximo de $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ de amido. Entre o 9° e o 11° MAP, ou seja, entre julho e setembro de 2016 que compreende o final da fase de repouso fisiológico e início do segundo ciclo vegetativo houve uma redução média de 16% nas quantidades de amido acumuladas nas raízes tuberosas. Esses resultados indicam que parte do amido acumulado nas raízes tuberosas das plantas de mandioca nessa fase é utilizada para promover a recomposição da área foliar da cultura. A partir do 11° MAP o acúmulo de amido nas raízes tuberosas aumentou linearmente até o 21° MAP e somente nessa época, ou seja, em julho de 2017, as raízes do tratamento com maior nível de P acumulou mais amido que as raízes dos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. No final do segundo ciclo vegetativo o acúmulo máximo de amido nas raízes das plantas com o maior nível de P foi de $19,5 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto nos outros tratamentos ele não ultrapassou as $16,3 \text{ t ha}^{-1}$. Vale destacar que entre as partes da planta as raízes tuberosas foram as que acumularam as maiores quantidades de amido, seguidas das hastes (Figura 8). As folhas e as cepas acumulam quantidades pequenas e similares de amido, mas insignificantes se comparadas com as raízes e hastes. O início de acumulação de amido nas raízes tuberosas é um estágio de desenvolvimento importante durante o ciclo da mandioca, pois marca o início da translocação dos fotos - assimilados para o principal órgão de reserva dessa espécie, modificando a partir de então a relação fonte/dreno na planta (MATTHEWS; HUNT, 1994).

Na planta inteira o acúmulo de amido não diferiu entre os tratamentos no primeiro ciclo vegetativo, sendo que as quantidades acumuladas aumentaram desde o plantio até os 9 MAP e depois diminuiu até os 11 MAP (Figura 8e). A partir dos 11

MAP o acúmulo de amido nas plantas de mandioca aumentou até a colheita final que ocorreu com 21 MAP. Porém, no segundo ciclo vegetativo os acúmulos de amido nas plantas de mandioca foram mais expressivos do 11° ao 17° MAP. Apesar de não significativo durante o segundo ciclo vegetativo houve uma tendência de maior acúmulo de amido nas plantas dos tratamentos com alto nível de P em comparação com as plantas dos outros tratamentos.

O custo de produção da mandioca não é elevado em comparação às outras culturas, mas a condução da cultura da mandioca com dois ciclos vegetativos a um aumento significativo no custo de produção. Pode-se observar (Figura 8d) o acúmulo de amido no segundo ciclo vegetativo não apresenta um crescimento expressivo que compensa deixar a mandioca mais 12 meses no campo após o primeiro ciclo vegetativo, podendo ser colhida aos 15 MAP sem perda na produção e com redução no custo de produção.

4.7 Teor e exportação de P e amido

A produtividade de raízes tuberosas aos 21 MAP no tratamento com alto nível de P foi maior que no tratamento controle (sem P), mas não diferiu do tratamento com nível intermediário de P (Tabela 3). Porém, os teores de MS, P e amido nas raízes tuberosas não foram influenciados pelos tratamentos estudados. Em média, os teores de MS, P e amido nas raízes tuberosas foram de 13,6%, 0,57 g kg⁻¹ e 73,0 % em base seca (31,7% em base úmida), respectivamente.

A exportação de P no tratamento com maior nível de P foi superior a do tratamento controle, mas não diferiu do tratamento com o nível intermediário de P. Já a produtividade de amido no tratamento com o maior nível de P foi superior à dos demais tratamentos que não diferiram entre si. Esses resultados indicam que o fornecimento de alto nível de P aumentou a produtividade de amido em relação aos demais tratamentos, mas não refletiram em exportações de P superiores a do tratamento que utilizou um nível intermediário de P.

Tabela 3 – Produtividade de raízes, teor de MS nas raízes, teor de P nas raízes e exportação de P, teor de amido nas raízes e produtividade de amido da cultura da mandioca cultivada sob diferentes níveis de fornecimento de P e colhida aos 21 meses após o plantio.

Variáveis analisadas	Níveis de fornecimento de P		
	0	80	160
Produtividade de raízes (t ha ⁻¹)	50,9b	53,5ab	60,8a
Teor de MS nas raízes (%)	44,1a	43,9a	42,7a
Teor de P nas raízes (g kg ⁻¹)	0,52a	0,61a	0,57a
Teor de amido nas raízes (%) ¹	71,5a (31,5a)	72,2a (31,6a)	75,2a (32,1a)
Exportação de P (kg ha ⁻¹)	11,8b	14,4ab	14,7a
Produtividade de amido (t ha ⁻¹)	15,9b	16,8b	19,5a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. ¹Valores entre parênteses indicam os teores de amido expressos na matéria fresca.

5. CONCLUSÕES

O fornecimento de P teve pouca influência sobre o crescimento e produtividade da mandioca de indústria no primeiro ciclo vegetativo, mas no segundo ciclo vegetativo a biomassa das plantas e a produtividade de raízes foram maiores sob a maior dose de P.

Plantas de mandioca fertilizadas com 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 absorveram mais P que sob condição de menor ou nenhum fornecimento de P em ambos os ciclos vegetativos da cultura e o acúmulo de amido nas raízes e na planta inteira foi mais elevado com as doses mais elevadas de P durante o segundo ciclo vegetativo.

No primeiro ciclo vegetativo a absorção máxima de P e as produtividades máximas de raízes e amido ficaram entre $14,7 - 19,4 \text{ kg ha}^{-1}$, $29,7 - 33,9 \text{ t ha}^{-1}$ e $7,8 - 9,0 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. A absorção máxima de P e as produtividades máximas de raízes e amido no segundo ciclo vegetativo ficaram entre $15,8 - 20,8 \text{ kg ha}^{-1}$, $50,9 - 60,8 \text{ t ha}^{-1}$ e $15,9 - 19,5 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, E. B. et. al. Efeito da densidade populacional e época de colheita na produção de raízes de mandioca de mesa. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.561-569, 2011a. DOI: 10.1590/s0006-87052011000300011
- AGUIAR, E. B. et. al. Épocas de poda e produtividade da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p.1463-1470, 2011b. DOI: 10.1590/s0100-204x2011001100007.
- AGUIAR, E.B. **Estudo da poda da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da Mandioca. In: SOUZA, L. S. et al (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa, 2006. p. 138-169.
- ANDRADE, C. A. B. et al. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p.683-688. 2009. DOI: 10.4025/acta sciagron. v31i4.6397.
- ARAÚJO, A. P; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 254-280.
- BARCELOS, D. M.; GARCIA, A.; MACIEL JUNIOR, V. A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p.21-27. 2007. DOI; 10.1590/s1413-70542007000100003.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.

BIELESKI, R. L.; FERGUSON, I. B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition: Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. v. 15a. p. 422-449.

CARVALHO, R. et al. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 3, p.557-565. 2001. DOI: 10.1590/s0100-204x2001000300022.

CRUZ, J.L. & PELACANI, R. **Fisiologia da mandioca**. In: CURSO NACIONAL DE MANDIOCA, 8., 1993, Cruz das Almas. EMBRAPA-CNPMF, 1993. 38 p

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

COCK, J.H. & ROSAS, S. Ecophysiology of cassava. In: **SYMPOSIUM ON ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL CROPS**, 1975, Ilhéus. Anais. Ilhéus, CEPLAC, 1975. 1v. (paginação irregular)

EL-SHARKAWY, M. A. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, Prague, v. 44, p.481-512. 2006.

FABRES, A. S. et al. Níveis críticos de diferentes frações de P em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, n.1, p.51-57. 1987.

FAO (Roma, Itália). **FAOSTAT: Crops**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 20 Novembro. 2018.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de tubérculos de batata da cultivar 'Atlantic' afetada pela adubação fosfatada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p.1401-1407. 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20141530.

FERNANDES, A. M. et al. Qualidade de tubérculos frescos de cultivares de batata em função da nutrição fosfatada. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p.102-109. 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0330.

FERNANDES, A. M. et. al. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p.826-835. 2010. DOI: 10.1590/s0100-204x2010000800008

FERNANDES, L. A. et. al. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p.1191-1198. 2000a. DOI: 10.1590/s0100-204x2000000600016.

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

FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p.1353-1359. 1999. DOI: 10.1590/s0100-204x1999000800005.

FUKUDA, W. M. G. et. al. Variedades. In: SOUZA, L. S. et al (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 433-454.

FURTINI NETO, A. E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus spp.** 1994. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

FURTINI NETO, A. E. et. al. Frações fosfatadas em mudas de Eucalyptus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p.267-274. 1998. DOI: 10.1590/s0100-06831998000200012.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ DJ; SHEPPARD SC. 2001.

A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agronômicas 95**: 1-5

GOMES, J. C. Considerações sobre adubação e calagem para a cultivar de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 6, n. 2, p.99-107. 1987.

GOMES, J. C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L. S. et al (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 215-247.

HOUGUE, E.; WILCOX, G. E.; CANTLIFFE, D. J. Effect of soil phosphorus levels on phosphate fractions in tomato leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria. v. 95 n. 1 p. 174-176. 1970.

HOUGHLAND, G. V. C. The influence of phosphorus on the growth and physiology of the potato plant. **American Potato Journal**, Orono, v. 37, n. 4, p.127-138. 1960. Springer Science. DOI: 10.1007/bf02855950.

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**, Amsterdam, v. 7, p.123-139. 1983.DOI:10.1016/0378-4290(83)90017-5.

HOWELER, R.H.; SIEVERDING, E.; SAIF, R.S. Practical aspects of mycorrhizal technology tropical crops and pasture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.100, p.249-283, 1987.

JAUER, A. et al. Análise de crescimento da cultivar de feijão pérola em quatro densidades de semeadura. **Revista da Faculdade Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v.10, n.1, p.1-12. 2003.

LEONEL, M. et al. Mandioca (Manihot esculenta Crantz). In: LEONEL, M; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L (Ed.). **Culturas Amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa**. Botucatu: Cerat/Unesp, 2015. p. 183-326.

LÔBO, L. P. et al. Respostas da mandioca à adubação NPK em Neossolos Quartzarênicos. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2005, Recife. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 1. CD-ROM.

LORENZI, J. O. **Mandioca. Campinas**: CATI. 110 p, 2003. (Boletim técnico, n. 245)

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes por dois cultivares de mandioca. **Bragantia**, Campinas, v. 40, n. 1, p.145-156. 1981. DOI: 10.1590/s0006-87051981000100014.

LORENZI, J.O. et al. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van. et. al, (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100).

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G (Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Edusp, 1979. v.1, p. 331-349.

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

MARSOLA, T. **Mineralização de fósforo de adubo verde e sua absorção pela planta de arroz**. 2008. 112 f. Tese (Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente), Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.

MATTHEWS, R.B.; HUNT, L.A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (Manihot esculenta L. Crantz). **Field Crop Research**, v.36, p.69-84, 1994.
[http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90054-X](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(94)90054-X)

MATTOS, P. L. P.; BEZERRA, V. S. **Cultivo de mandioca para o estado do Amapá**. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/adubaco.htm>. Acesso em: 23 mar. 2016.

MENDONÇA, H. A.; MOURA, G. M.; CUNHA, E. T. Avaliação de genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no Estado do Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p.761-769. 2003. DOI:10.1590/s0100-204x2003000600013.

MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhizal research for Tropical Agriculture**. Hawaii: Hawaii Institute of Tropical Agricultura land Human Resources, University of Hawaii, 1981. 82p. (Research Bulletin, 194).

NELSON, N. A photo metric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, New York, v. 153, p.375-390. 1944.

NGUYEN, H. 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, v. 25, n. 3, p.425-442. 2002. DOI: 10.1081/pln-120003374.

NIELSEN, T. H. et al. Starch phosphorylation in potato tubers proceeds concurrently with de novo biosynthesis of starch. **Plant Physiology**, Rockville, v. 105, p.111-117. 1994.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, M. A.; MORAES, P. S. B. Características físico-químicas, cozimento e produtividade de mandioca cultivar IAC 576-70 em diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p.837-843. 2009. DOI:10.1590/s1413-70542009000300024.

OLIVEIRA, S. P. et al. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agrônômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p.99-108. 2010.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. **Cultivo da Mandioca na Região Centro-Sul do Brasil Dourados**: Embrapa Agropecuária Oeste. Cruz das Almas: IAC; Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 116 p.

PEREIRA, G. A. M. et al. Crescimento da mandioca e plantas daninhas em resposta à adubação fosfatada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p.716-722. 2012. DOI: 10.1590/s0034-737x2012000500019.

PERIN, S.; LOBATO, E.; COSTA, I. R. S. Efeito de níveis de fósforo no rendimento de mandioca em solo sob vegetação de cerrados. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 2, p.25-30. 1983.

POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. **VA mycorrhiza**. Boca Raton: CRC, 1984. 234p.

RAUSCH, C.; BUCHER, M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. **Planta**, Heidelberg, v. 216, n. 1, p.23-37. 2002. Springer Science. DOI: 10.1007/s00425-002-0921-3.

RÓS, A.B.; HIRATA, A.C.S.; ARAÚJO, H.S. NARITA, N. Crescimento, fenologia e produtividade de variedades de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 552-558, 2011.

SAGRILO, E. et al. Effect of harvest period on foliage production and dry matter distribution in five cassava cultivars during the second plant cycle. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 49, n. 6, p.1007-1018. 2006. DOI: 10.1590/s1516-89132006000700019.

SALISBURY, FRANK B., 1926- **Plant physiology** /Frank B. Salisbury, Cleon W. Ross. - Belmont : Wadsworth, c1978 xviii, 682 p.

SANTOS, H. G. et al (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, J. Z. L. et al. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p.799-807. 2008. DOI: 10.1590/s0100-67622008000500003.

SANTOS, L. A. et al. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p.107-116. 2015.DOI: 10.1590/0034-737x201562010014.

SIEVERDING, E. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.29, p.369-390, 1989.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn, Fed. Rep. Of Germany: Fried land Bremer, 1991. 371p

SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAF/ Embrapa-CNPSO, 1994. p.151-194.

SILVA, H. R. F. et al. Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p.15-23. 2014. DOI: 10.1590/s1983-40632014000100008.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2.ed. San Diego, California: Academic, 1997. 605p

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

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D. Manejo e conservação do solo. In: SOUZA, L. S. et al.(Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. p. 248-290.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKAHASHI, M. Cultivo comercial na região centro-sul do Brasil. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. v.2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 258-273.

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

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p.497-506. 2000. DOI: 10.1590/s0100-204x2000000300004.

VARMA, A.; HOCK, B. (Eds.). **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 747p

ZAMSKI, E. na distribuição de Photo assimilate em plantas e culturas. Relacionamentos fonte-afundamento, **Características anatômicas e fisiológicas de células afundadas**, eds Zamski E. , Schaffer A.A. (Marcel Dekker , Nova Iorque), p 283 – 310. 1996