



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



JASON GETER DA SILVA NUNES

**EFEITOS DAS ÉPOCAS DE PLANTIO E DAS DOSES DE FÓSFORO SOBRE A
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE**

Botucatu

2019

JASON GETER DA SILVA NUNES

**EFEITOS DAS ÉPOCAS DE PLANTIO E DAS DOSES DE FÓSFORO SOBRE A
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE**

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

Orientadora: Prof. Dra. Magali Leonel

Coorientador: Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu

2019

N972e

Nunes, Jason Geter da Silva

Efeitos das épocas de plantio e das doses de fósforo sobre a produtividade e qualidade de cultivares de batata-doce / Jason Geter da Silva Nunes. -- Botucatu, 2019

76 p. : il., tabs.

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

Orientadora: Magali Leonel

Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Ipomoea batatas. 2. Fósforo. 3. Nutrição Mineral. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: “EFEITO DAS ÉPOCAS DE PLANTIO E DAS DOSES DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE”

AUTOR: JASON GETER DA SILVA NUNES

ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

COORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

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



Dr.^a MAGALI LEONEL

Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) / UNESP / Câmpus de Botucatu



Prof.^a Dr.^a THAÍS PAES RODRIGUES DOS SANTOS

Pós-Doutoranda - CERAT / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP



Prof. Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

Produção Vegetal / Universidade do Oeste Paulista

Botucatu, 02 de agosto de 2019.

Aos meus pais, **Maria das Graças da Silva e
Nilton Nunes**, pelo amor incondicional, por
acreditarem em mim, estarem sempre ao
meu lado e me apoiarem.

Dedico,

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, podendo assim cumprir mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais, Maria da Graças da Silva e Nilton Nunes, pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Jesion Geibel e Talita Eliata, pelo apoio, amor e carinho.

A minha namorada Camila Zanon, pela paciência, compreensão, amor, carinho, e incentivos a mim dedicados.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

A Prof. Dra. Magali Leonel, pela excelente orientação, ensinamentos e conselhos, os quais permitiram o desenvolvimento deste estudo.

Ao professor Dr. Adalton Mazetti Fernandes, pela excelente coorientação.

Aos amigos de pós-graduação, Jesion, Bruno, Adilson, Luan, Ricardo, Emerson, Nathane, Jessica, Gyslane, Nathália, Rudieli, Thaís, Natalia e Hebert pelo apoio nas avaliações de campo e laboratoriais.

Aos funcionários do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), Elder, Luiz, Juliana, Danilo, Débora e Pâmela pelo apoio e amizade.

Aos professores da graduação e pós-graduação, pelos conhecimentos transmitidos em aulas e pessoalmente.

Aos professores membros da banca, Dra. Thaís Paes Rodrigues dos Santos, Dr. Pablo Forlan Vargas e Dr. Fábio Rafael Echer pelas sugestões e contribuições propostas para a realização da dissertação.

Aos amigos de graduação, Victor Targino, Eduardo, Everton, Brenda, João Paulo, João Carlos, Fernando, Sergio, Cesar, Gustavo, Daniel, Anderson, Plínio, Vitor, Douglas, José Francisco e Ronney (In memoriam).

Aos amigos, Jesion, Bruno, Adilson, Juan, Carlos, Sergio, Talis, André, Natan e Mauro pelo apoio e momentos de lazer.

À minha família, pelos momentos de alegria e apoio.

A todos os demais que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A batata-doce é uma cultura que possui alta capacidade de adaptabilidade às diferentes condições climáticas, de solos e resistência às pragas, por isso tem sido cultivada em várias regiões do mundo. Contudo, no seu cultivo ainda há déficit tecnológico, devido à falta de informações e conhecimentos adequados, principalmente, sobre a nutrição mineral das plantas, o que pode resultar em baixas produtividades e qualidade das raízes. O fósforo (P) é um nutriente essencial às plantas e tem atuação na respiração, produção e processos de transformação de energia pela planta, contribuindo para o desenvolvimento radicular. Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito da adubação fosfatada sobre a produtividade e qualidade de raízes tuberosas de batata. Foram conduzidos quatro ensaios, ambos com delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial 2 x 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em duas cultivares (Uruguaiana e Canadense); cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) e duas épocas de cultivo (primeira época: outubro a abril e segunda época: março a outubro). A cultivar Canadense é mais produtiva do que a Uruguaiana, independentemente da época cultivada. Para ambas as cultivares, a época de cultivo entre os meses de outubro e abril proporciona maior produtividade do que a época entre os meses de março a outubro. A produtividade de raízes tuberosas da cultivar Canadense aumenta cerca de 6 toneladas ha⁻¹ com o incremento das doses de fósforo, atingindo uma produção de 28 toneladas ha⁻¹, mas não ocorre o mesmo com a Uruguaiana. Em solo de baixo teor de fósforo, doses do nutriente entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 são suficientes para promover o crescimento das plantas e aumentar a produtividade. Em relação as características físico químicas, a cultivar Uruguaiana tem melhor qualidade de raízes tuberosa em relação a Canadense. A segunda época proporcionou melhor qualidade de raízes tuberosas, independentemente das cultivares. As doses de fósforo interferem nas propriedades físico química das raízes tuberosas.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*, fósforo, nutrição mineral.

ABSTRACT

Sweet potato is a crop that has high adaptability to different climatic conditions, soil and pest resistance, so it has been cultivated in various regions of the world. However, in its cultivation there is still a technological deficit, due to the lack of adequate information and knowledge, especially about the mineral nutrition of the plants, which may result in low yields and root quality. Phosphorus (P) is an essential nutrient for plants and acts on respiration, production and energy transformation processes by the plant, contributing to root development. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of phosphate fertilization on potato tuber yield and quality. Four trials were conducted, both with a randomized block design, with a 2 x 5 x 2 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of two cultivars (Urugaiana and Canadense); five doses of P_2O_5 (0, 50, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹) and two growing seasons (first season: October to April and second season: March to October). The Canadense cultivar is more productive than the Urugaiana cultivar, regardless of the growing season. For both cultivars, the growing season between October and April provides higher productivity than the season between March and October. The yield of tuberous roots of the Canadense cultivar increases about 6 tons ha⁻¹ with increasing phosphorus doses, reaching a production of 28 tons ha⁻¹, but not the same with Urugaiana. In low phosphorus soil, nutrient doses between 100 and 150 kg ha⁻¹ of P_2O_5 are sufficient to promote plant growth and increase yield. Regarding the physicochemical characteristics, the cultivar Urugaiana has better quality of tuberous roots than Canadense. The second season provided better quality of tuberous roots, regardless of the cultivars. Phosphorus doses interfere with the physical chemical properties of tuberous roots.

Keywords: *Ipomoea batatas*, phosphorus, mineral nutrition.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - (■) Precipitação pluvial, (—) temperaturas máxima e (—) mínima do ar registrados na área dos experimentos nos anos de 2017, 2018 e 2019. São Manuel, SP. Exp.: experimento..... 26
- Figura 2 - Teor de P na folha diagnose (A); teores de P na parte aérea (B) e nas raízes tuberosas (C) de plantas de batata-doce afetadas por doses de fósforo..... 34
- Figura 3 - Matéria seca (MS) de raízes tuberosas (A) e da planta inteira (B) de batata-doce afetadas por doses de fósforo..... 37
- Figura 4 - Acúmulo de P nas raízes tuberosas (A) e na planta inteira (B) de batata-doce afetadas por doses de fósforo..... 38
- Figura 5 - Número total (A) e número comercial (B) de raízes tuberosas por planta e índice de raízes tuberosas com defeito, de plantas de batata-doce, afetadas por épocas de cultivo e doses de fósforo..... 41
- Figura 6 - Produtividade das classes de raízes tuberosas de 80-150 g (A), 151-250 g (B) e 251-500 g (C), de cultivares de batata-doce, afetadas por doses de fósforo..... 43
- Figura 7 - Produtividade comercial (A), produtividade não comercial (B) e produtividade total (C) de raízes tuberosas, de cultivares de batata-doce, afetadas por doses de fósforo..... 46
- Figura 8 - Eficiência de uso do P_2O_5 aplicado (A) afetado por doses de adubo fosfatado; porcentagem de recuperação do P aplicado afetado por: cultivar e doses de adubo fosfatado (B) e por épocas de cultivo e doses do adubo fosfatado..... 48
- Figura 9 - (■) Precipitação pluvial, (—) temperaturas máxima e (—) mínima do ar registrados na área dos experimentos nos anos de 2017, 2018 e 2019. São Manuel, SP. Exp.: experimento..... 57
- Figura 10 - Teores de matéria graxa (A), cinzas (B), fibras (C) e proteína (D), de cultivares de batata, afetadas por doses de fósforo..... 64
- Figura 11 - Teor de açúcares redutores (A) e amido (B) em raízes tuberosas de batata-doce, afetadas por cultivares e doses de fósforo..... 67

- Figura 12 - Diagrama de cromaticidade para interpretação dos parâmetros a^* e b^* de cor da casca e da polpa das raízes tuberosas de batata-doce..... 68
- Figura 13 - Parâmetros de cor da casca das raízes tuberosas de batata-doce: luminosidade (L^*) (A) afetada por doses de fósforo e cromaticidade (b^*) (B) afetada por épocas de cultivo e doses de fósforo; parâmetro de cor da polpa das raízes tuberosas de batata-doce: cromaticidade (a^*) (C) afetada por doses de fósforo..... 69

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 - | Datas das atividades realizadas nos quatro experimentos que foram realizados..... | 25 |
| Tabela 2 - | Atributos químicos dos solos na profundidade de 0-0,20 m das áreas dos experimentos..... | 28 |
| Tabela 3 - | Quantidades de nitrogênio e potássio que foram aplicadas na adubação de plantio dos experimentos..... | 29 |
| Tabela 4 - | Teor de P na folha diagnose; teores de P na parte aérea e raízes tuberosas no final do ciclo de cultivo, de cultivares de batata-doce, em função da época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 33 |
| Tabela 5 - | Acúmulo de matéria seca na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira de cultivares de batata-doce em função da época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 36 |
| Tabela 6 - | Quantidade de P acumulada na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira de cultivares de batata-doce em função da época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 38 |
| Tabela 7 - | Número total e número comercial de raízes tuberosas por planta e incidência de raízes tuberosas com defeito, de plantas de batata-doce, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 40 |
| Tabela 8 - | Produtividade classificada de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 43 |
| Tabela 9 - | Produtividade comercial, produtividade não comercial e produtividade total de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 45 |
| Tabela 10 - | Eficiência de uso do P_2O_5 aplicado (EU) e porcentagem de recuperação do P aplicado (RPA) em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 47 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela 11 - | Datas das atividades realizadas nos quatro experimentos que foram realizados..... | 56 |
| Tabela 12 - | Atributos químicos dos solos na profundidade de 0-0,20 m das áreas dos experimentos..... | 59 |
| Tabela 13 - | Quantidades de nitrogênio e potássio que foram aplicadas na adubação de plantio dos experimentos..... | 59 |
| Tabela 14 - | Teores de matéria graxa, cinzas, fibras e proteína, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 63 |
| Tabela 15 - | Teores de açúcares redutores, açúcares solúveis totais e amido; e umidade, de raízes tuberosas de batata-doce, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 65 |
| Tabela 16 - | Parâmetros L*, a* e b* para cor da casca e da polpa de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019..... | 68 |

SUMÁRIO

| | |
|--|---|
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 19 |
| CAPÍTULO 1: EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E DA ÉPOCA DE PLANTIO EM CULTIVARES DE BATATA-DOCE..... | 22 |
| 1.1 | INTRODUÇÃO..... 23 |
| 1.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... 24 |
| 1.2.1 | Localização da área experimental..... 24 |
| 1.2.2 | Delineamento experimental e tratamentos..... 27 |
| 1.2.3 | Caracterização das cultivares utilizadas..... 27 |
| 1.2.3.1 | Cultivar Canadense..... 27 |
| 1.2.3.2 | Cultivar Uruguaiana..... 27 |
| 1.2.4 | Instalação e condução dos experimentos..... 27 |
| 1.2.5 | Avaliações..... 29 |
| 1.2.5.1 | Teor de P na folha diagnose..... 29 |
| 1.2.5.2 | Quantidade de matéria seca acumulada, teor e exportação de P..... 29 |
| 1.2.5.3 | Número total de raízes tuberosas por planta, número de raízes tuberosas comerciais por planta; e produtividade classificada, total, comercial e não comercial de raízes tuberosas..... 30 |
| 1.2.5.4 | Incidência de raízes tuberosas com defeitos..... 30 |
| 1.2.5.5 | Eficiência de uso do P ₂ O ₅ aplicado (EU)..... 31 |
| 1.2.5.6 | Porcentagem de recuperação do P aplicado..... 31 |
| 1.2.6 | Análise estatística..... 31 |
| 1.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 31 |
| 1.3.1 | Teor de P na folha diagnose; e teores de P na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas no final do ciclo de cultivo..... 31 |
| 1.3.2 | Acúmulo de matéria seca e extração de P..... 35 |
| 1.3.3 | Número total e comercial de raízes tuberosas por planta e incidência de raízes tuberosas com defeito..... 39 |
| 1.3.4 | Produtividade classificada de raízes tuberosas..... 42 |
| 1.3.5 | Produtividade comercial, produtividade não comercial e produtividade total de raízes tuberosas..... 44 |
| 1.3.6 | Eficiência de uso e porcentagem de recuperação do P ₂ O ₅ aplicado..... 47 |

| | | |
|---------|---|-----------|
| 1.4 | CONCLUSÕES..... | 49 |
| | REFERÊNCIAS..... | 50 |
| | CAPÍTULO 2: VARIAÇÕES NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE RAÍZES TUBEROSAS DE BATATA-DOCE COM O MANEJO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA..... | 53 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO..... | 54 |
| 2.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 56 |
| 2.2.1 | Localização da área experimental..... | 56 |
| 2.2.2 | Delineamento experimental e tratamentos..... | 58 |
| 2.2.3 | Caracterização das cultivares utilizadas..... | 58 |
| 2.2.3.1 | Cultivar Canadense..... | 58 |
| 2.2.3.2 | Cultivar Uruguaiana..... | 58 |
| 2.2.4 | Instalação e condução dos experimentos..... | 58 |
| 2.2.5 | Avaliações: Composição físico-química das raízes tuberosas..... | 60 |
| 2.2.5.1 | Matéria Graxa..... | 60 |
| 2.2.5.2 | Cinzas..... | 60 |
| 2.2.5.3 | Fibras..... | 60 |
| 2.2.5.4 | Proteína..... | 61 |
| 2.2.5.5 | Açúcares redutores..... | 61 |
| 2.2.5.6 | Açúcares totais..... | 61 |
| 2.2.5.7 | Amido..... | 61 |
| 2.2.5.8 | Umidade..... | 62 |
| 2.2.5.9 | Cor..... | 62 |
| 2.2.6 | Análise estatística..... | 62 |
| 2.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 63 |
| 2.4 | CONCLUSÕES..... | 70 |
| | REFERÊNCIAS..... | 71 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 74 |
| | REFERÊNCIAS..... | 75 |

INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) está entre as culturas alimentares mais importantes no mundo, com produção mundial de 112,8 milhões de toneladas em uma área de 9,2 milhões de hectares em 2017. Essa cultura vem sendo produzida em todos os continentes, com 70,56% produzidos na Ásia; com a China como maior produtor mundial (71,7 milhões de toneladas) (WANG et al., 2016, FAO, 2019).

No Brasil, a produção de batata-doce em 2017 foi de 776, 28 mil toneladas, com os estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná com as maiores produções (186,2; 163,5 e 57,8 mil toneladas, respectivamente) (IBGE, 2019).

Esta cultura é considerada importante fonte de energia, com produção de grande quantidade de matéria seca. Além disso, é adaptável a climas tropicais e subtropicais, tolerante à seca e cresce sob condição marginal de baixa fertilidade e pH (KAREEM, 2013).

Comparada a outras tuberosas amiláceas, como a batata e a mandioca, a batata-doce apresenta elevada eficiência por unidade de área e tempo, produzindo grande quantidade de carboidratos em curto ciclo de produção, com baixo custo (SILVA et al., 2002; SILVA et al., 2015).

Apesar de ser considerada uma cultura rústica, estudos realizados nas condições brasileiras mostram que a nutrição mineral adequada da batata doce é essencial para aumentar a produtividade e a qualidade das raízes de reserva (OLIVEIRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; BRITO et al., 2006).

Nesse sentido, o fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas e é importante na respiração, produção de energia e processos de transformação pela planta, bem como, na divisão celular. Este nutriente é rapidamente mobilizado nas plantas e, quando há uma deficiência, é translocado de tecidos mais antigos para regiões meristemáticas ativas (HERMANS et al., 2006).

O fornecimento adequado de P é essencial a partir dos estágios iniciais de crescimento das plantas e a aplicação de doses adequadas de P permite o desenvolvimento radicular, além de aumentar a absorção de água e nutrientes (CAI et al., 2013).

A batata-doce é bastante eficiente na absorção do fósforo, mas devido à deficiência comum dos solos brasileiros nesse nutriente, é necessário aplicá-lo na forma prontamente disponível e em época adequada. Na cultura da batata doce a

aplicação de adubos fosfatados aumenta a produtividade e esses incrementos têm sido atribuídos ao efeito benéfico do fósforo sobre a ativação da fotossíntese e do metabolismo de compostos orgânicos, aumentando o crescimento das plantas (HASSAN et al., 2005; EL-SAYED et al. 2011; KAREEM, 2013; ABEL-RAZZAK et al., 2013).

Todas as partes da planta de batata doce podem ser utilizadas como fonte de nutrientes, contudo, a raiz é o principal produto dessa cultura. A composição química das raízes de batata-doce é bastante variável e isto está relacionado à genética, condições climáticas e de cultivo, bem como, colheita e pós-colheita. Entre os componentes das raízes de batata doce predominam os carboidratos (42,4 a 77,3 g 100 g⁻¹ da matéria seca). As fibras, proteína, matéria graxa e cinzas têm teores variáveis de 1,9 a 6,4, 1,3 a 9,5, 1,1 a 4,9 e 0,2 a 3,0 g 100 g⁻¹ de matéria seca, respectivamente (WANG et al., 2016).

Frente a sua composição química, os principais destinos da produção agrícola de raízes de batata-doce são o mercado *in natura* e como matéria-prima industrial para a produção de diversos produtos alimentícios e não alimentícios (RÓS et al., 2015).

Um mercado em ascensão constante é o de amido com prospecções de vendas de amidos e derivados para US\$ 65,42 bilhões até 2020. Aproximadamente 60 milhões de toneladas são extraídas anualmente de várias culturas como milho, trigo, arroz, batata, mandioca e batata-doce, das quais aproximadamente 60% são usadas nas indústrias de alimentos e 40% para outros fins, como farmacêuticos, papel, adesivos, têxtil, bioplásticos, materiais de construção, e na perfuração de petróleo (BURRELL, 2003, COPELAND et al., 2009). Esta ampla aplicabilidade é justificada pela grande disponibilidade, baixo custo de obtenção e não requer purificação intensa, como outros polímeros naturais, como celulose e gomas (SANTANA e MEIRELES, 2014).

O amido difere muito em suas características estruturais e propriedades físico-químicas entre as espécies e, também dentro da mesma espécie. As fontes comerciais desse polímero no Brasil são o milho e a mandioca, contudo, a batata-doce pode ser considerada uma matéria prima potencial para este setor. Contudo, incrementos na produtividade agrícola de amido é determinante para a inserção dessa cultura na agro industrialização viando a obtenção de amido.

Além das funções já mencionadas do fósforo na produção agrícola, este nutriente desempenha um papel importante na biossíntese do amido e nas propriedades

funcionais desse carboidrato. Foi demonstrado que a fotossíntese e os genes relacionados à síntese de sacarose modificam sua expressão após deficiência de fósforo (CAI et al. 2013) e que ésteres de fosfato ligados covalentemente à grânulos de amido, levam a alterações nas características estruturais e propriedades dos amidos e, assim, tornando-os mais adequados para algumas aplicações industriais (XU et al., 2017).

Diante da importância da batata-doce como fonte de energia alimentar e de sua potencialidade como matéria prima industrial, em conjunto, com a funcionalidade do fósforo na planta e no amido, este trabalho objetivou avaliar os efeitos do manejo da adubação fosfatada sobre os parâmetros da produção agrícola e composição das raízes de batata-doce.

CAPÍTULO 1

EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E DA ÉPOCA DE PLANTIO EM CULTIVARES DE BATATA-DOCE

Resumo

A nutrição adequada com fósforo melhora muitos aspectos da fisiologia das plantas, incluindo o processo de fotossíntese. Este estudo objetivou avaliar os efeitos de doses de adubo fosfatado na cultura de batata doce, sobre parâmetros de produção. Os experimentos foram conduzidos em condições de campo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5 x 2, com quatro repetições. Os fatores consistiram em: duas cultivares de batata-doce (Canadense e Uruguaiana); cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹); e duas épocas de cultivo (primeira época: março a outubro e segunda época: outubro a abril). Os resultados evidenciaram superioridade produtiva da cultivar Canadense em relação à cv Uruguaiana independente da época de cultivo. Para a variável época, o cultivo de outubro a março proporcionou melhores condições de produção agrícola para ambas as cultivares. Com relação ao efeito dos níveis de adubação fosfatada, independente da época, foi observado incremento na produtividade da cv Canadense, produzindo em média 25 toneladas ha⁻¹ porém o mesmo não foi verificado para a cv Uruguaiana, que produziu em média 19 toneladas ha⁻¹. Em solo de baixo teor de fósforo, doses do nutriente entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 são suficientes para promover o crescimento das plantas e aumentar a produtividade.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*, fósforo, nutrição mineral.

Abstract

Proper phosphorus nutrition improves many aspects of plant physiology, including the photosynthesis process. This study aimed to evaluate the effects of phosphate fertilizer doses on sweet potato crop on production parameters. The experiments were conducted under field conditions. The experimental design was a randomized complete block in a 2 x 5 x 2 factorial scheme with four replications. The factors consisted of: two sweet potato cultivars (Canadense and Uruguaiana); five doses of P_2O_5 (0, 50, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹); and two growing seasons (first season: March to October and second season: October to April). The results showed yield superiority

of the Canadense cultivar in relation to Uruguaiiana cv regardless of the cultivation time. For the variable season, October to March cultivation provided better conditions of agricultural production for both cultivars. Regarding the effect of phosphate fertilization levels, regardless of the season, there was an increase in Canadense cv yield, producing an average of 25 tons ha⁻¹, but not the same for Uruguaiiana cv, which produced an average of 19 tons ha⁻¹. In low phosphorus soil, nutrient doses between 100 and 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ are sufficient to promote plant growth and increase yield.

Keywords: *Ipomoea batatas*, phosphorus, mineral nutrition.

1.1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é componente de moléculas chaves como ácidos nucleicos, fosfolipídios e adenosina trifosfato (ATP), e, conseqüentemente, as plantas não podem crescer sem o fornecimento adequado deste nutriente. O fósforo é encontrado no solo nas formas orgânica e inorgânica, sendo o P inorgânico a forma mais acessível para as plantas (SCHACHTMAN et al., 1998, ZHU et al., 2018).

Embora a quantidade total de P no solo possa ser alta, muitas vezes ele está presente em formas indisponíveis por causa da adsorção, precipitação ou conversão para a forma orgânica (GUSTAFSSON et al., 2012, BÜNEMANN, 2015, ROBERTS e JOHNSTON, 2015, ZHU et al., 2018). A concentração de P na solução do solo é controlada principalmente pelo equilíbrio da adsorção/dessorção entre Pi lábil na fase sólida (associado a minerais carregados positivamente tais como óxidos de Fe e Al) definido por razões de concentração de equilíbrio (HAYNES e MOKOLOBATE, 2001).

A batata doce (*Ipomoea batatas*) é uma das mais importantes fontes de energia alimentar no mundo, sendo produzida principalmente na Ásia e África, com a China como o maior produtor mundial, 71,7 milhões de toneladas em 2017, representando 63,6% da produção mundial (112,8 milhões de toneladas). O Brasil destaca-se como maior produtor na América do Sul, com produção de 776,28 mil toneladas, seguido pela Argentina e Peru (342,83 e 256,43 mil toneladas, respectivamente) (FAO, 2019).

A nutrição adequada com fósforo melhora muitos aspectos da fisiologia das plantas, incluindo o processo de fotossíntese, fixação de nitrogênio, floração, frutificação, produção de sementes e maturação. O crescimento das raízes, particularmente o desenvolvimento de raízes laterais e radículas fibrosas, é também incentivado pelo fósforo (AKINJOBA, 2014).

O sistema radicular absorvente da batata doce é ramificado, amplo e desenvolvido, podendo atingir 90 cm de profundidade, com associação com fungos micorrízicos, o que favorece a absorção de nutrientes. Contudo, a resposta da cultura à adubação fosfatada é variável (OLIVEIRA et al., 2005, OLIVEIRA et al., 2006, HAMEDA et al., 2011, SILVA et al., 2013, AKINJOBA, 2014, DUMBUYA et al., 2016, CAVALCANTE et al., 2017).

As raízes de batata doce apresentam elevados teores de carboidratos, além de terem importantes quantidades de proteínas, fibras, minerais e vitaminas (ANTONIO et al., 2011). Estas características, aliadas à facilidade de produção em diferentes condições de solo e clima, vêm incrementando a produção agrícola mundial e brasileira (7,24% e 31,78% na produção mundial e brasileira, respectivamente, entre 2007 e 2017) (FAO, 2019), visando principalmente uso como fonte de alimentos, bem como, usos industriais.

Considerando os aspectos abordados anteriormente e, a importância de estudos com nutrição mineral em batata doce para atender a demanda por maior rendimento agrícola, este estudo objetivou avaliar os efeitos de doses de adubo fosfatado, cultivar e época de cultivo na cultura de batata doce.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em condições de campo, em área experimental do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), localizada na Fazenda Experimental de São Manuel - UNESP, no município de São Manuel - SP (22° 77' S; 48° 34' W e 740 m de altitude). O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa, que se caracteriza como tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso. O solo do local é classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa.

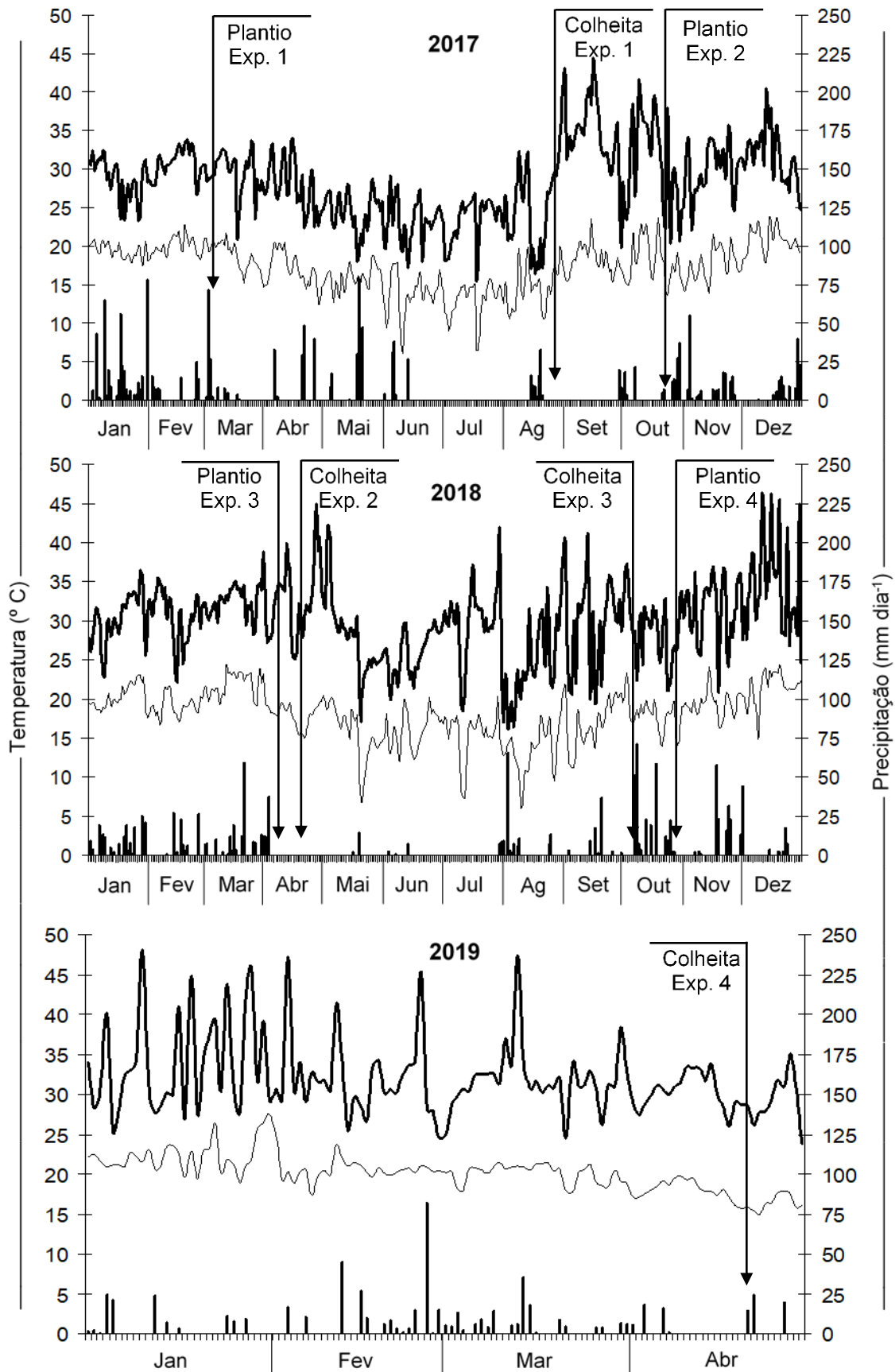
Foram conduzidos quatro experimentos, em anos e épocas diferentes, sendo dois em 2017/18 e dois em 2018/19. As duas épocas em 2017/18 compreendem os períodos de março a setembro de 2017 (Primeira época/experimento 1) e outubro de 2017 a maio de 2018 (Segunda época/experimento 2). Em 2018/19 os períodos foram: abril a setembro de 2018 (Primeira época/experimento 3) e outubro de 2018 a maio de 2019 (Segunda época/experimento 4). Na tabela 1 estão descritas as datas de plantio, adubação de cobertura, coleta de folha diagnose e colheita dos experimentos.

Tabela 1 – Datas das atividades realizadas nos quatro experimentos que foram realizados

| Atividades | Anos | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2017/18 | | 2018/19 | |
| | 1ª época Exp. 1 | 2ª época Exp. 2 | 1ª época Exp. 3 | 2ª época Exp. 4 |
| | (Data) | | | |
| Plantio | 05/03/2017 | 21/10/2017 | 11/04/2018 | 30/10/2018 |
| Adubação de cobertura | 07/04/2017 | 21/11/2017 | 09/05/2018 | 03/12/2018 |
| Coleta de folha diagnose | 05/05/2017 | 22/12/2017 | 12/06/2018 | 03/01/2019 |
| Colheita | 24/08/2017 | 20/04/2018 | 05/10/2018 | 22/04/2019 |

As informações climáticas, como precipitação pluvial, temperaturas máxima e mínima do ar foram monitoradas por uma estação meteorológica localizada próxima a área dos experimentos (Figura 1).

Figura 1 – (■) Precipitação pluvial, (—) temperaturas máxima e (—) mínima do ar registrados na área dos experimentos nos anos de 2017, 2018 e 2019. São Manuel, SP. Exp.: experimento



1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi o de blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 20 tratamentos. Os fatores consistiram em: duas cultivares de batata-doce (Canadense e Uruguaiana); cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹); e duas épocas de cultivo (primeira época: março a outubro e segunda época: outubro a abril).

As parcelas experimentais foram compostas por quatro fileiras de plantas de cinco metros de comprimento, espaçadas em 1,00 metro entre fileiras e 0,30 m entre plantas. Considerou-se como área útil da parcela as duas fileiras centrais de plantas, desconsiderando 0,50 m nas extremidades de cada fileira.

1.2.3 Caracterização das cultivares utilizadas

1.2.3.1 Cultivar Canadense

A batata-doce 'Canadense' (ou 'Londrina') é a principal cultivar utilizada pelos produtores da região de Presidente Prudente, que é a principal região produtora de batata-doce do Estado de São Paulo (GOLLA et al., 2010; YONEYA, 2003). A cultivar Canadense apresenta película externa rosada e polpa branca. O formato da raiz tuberosa é alongado, uniforme e possui boa aceitação comercial, tanto industrial como para a mesa. O ciclo é considerado médio (150 a 180 dias) quando o plantio ocorre de setembro a fevereiro e longo (180 a 220 dias) nas demais épocas do ano (GOLLA et al., 2010).

1.2.3.2 Cultivar Uruguaiana

A cultivar Uruguaiana apresenta película externa roxa e polpa de cor amarela, formato ovoide, muito comercializada no âmbito industrial. Por ter polpa mais seca e menos doce que a Canadense, possui baixa aceitação culinária. Apresenta ciclo médio de produção, de 150 a 180 dias, podendo ser precoce (120 dias) quando plantada nos meses mais quentes, de setembro a fevereiro (GOLLA et al., 2010).

1.2.4 Instalação e condução dos experimentos

Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm. Determinou-se as características químicas dos solos (Tabela 2) seguindo os procedimentos descritos por Rajj et al. (2001).

Tabela 2 - Atributos químicos dos solos na profundidade de 0-0,20 m das áreas dos experimentos

| Atributos | 2017/18 | | 2018/19 | |
|--|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 1ª época Experimento | 2ª época Experimento 2 | 1ª época Experimento 3 | 2ª época Experimento 4 |
| pH (CaCl ₂) | 4,8 | 5,0 | 5,1 | 5,2 |
| M.O. (g dm ⁻³) | 13,0 | 14,0 | 17,0 | 21,0 |
| P _{resina} (mg dm ⁻³) | 12,0 | 13,0 | 5,0 | 13,0 |
| K (mmol _c dm ⁻³) | 2,90 | 1,19 | 0,91 | 0,57 |
| Ca (mmol _c dm ⁻³) | 11,0 | 6,0 | 10,0 | 9,0 |
| Mg (mmol _c dm ⁻³) | 4,0 | 4,0 | 6,0 | 6,0 |
| H+Al (mmol _c dm ⁻³) | 26,0 | 11,0 | 15,0 | 13,0 |
| CTC (mmol _c dm ⁻³) | 43,0 | 22,0 | 32,0 | 29,0 |
| V% | 41,0 | 49,0 | 52,0 | 54,0 |
| B (mg dm ⁻³) | 0,10 | 0,17 | 0,12 | 0,07 |
| Cu (mg dm ⁻³) | 1,0 | 0,40 | 1,0 | 1,0 |
| Fe (mg dm ⁻³) | 30,0 | 11,0 | 26,0 | 33,0 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 15,2 | 5,4 | 16,3 | 14,0 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 1,5 | 1,3 | 1,9 | 1,1 |

O preparo do solo foi realizado com as seguintes operações em série: uma aração e uma gradagem. Posteriormente foram levantadas leiras de aproximadamente 30 cm de altura, de forma mecanizada.

Com as leiras já construídas, realizou a adubação de plantio, onde foram aplicados potássio (K) e nitrogênio (N), conforme recomendações de Lorenzi et al. (1997). A quantidade de potássio aplicada foi com base no teor de K no solo determinado individualmente para cada experimento, enquanto o N foi aplicado 20 kg ha⁻¹ em todos os experimentos. Na Tabela 3 encontram-se as quantidades de N e K que foram aplicados no plantio. Como fontes de N e K foram empregados os fertilizantes sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. Na adubação de plantio, os adubos foram distribuídos a 15 cm de profundidade em sulco contínuo, abertos no topo das leiras; na adubação de cobertura, o fertilizante foi distribuído cerca de 10 cm ao lado das fileiras de plantas.

Tabela 3 – Quantidades de nitrogênio e potássio que foram aplicadas na adubação de plantio dos experimentos

| Nutriente | Ano | | | |
|------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2017/18 | | 2018/19 | |
| | 1ª época Exp. 1 | 2ª época Exp. 2 | 1ª época Exp. 3 | 2ª época Exp. 4 |
| | (kg ha ⁻¹) | | | |
| Nitrogênio | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Potássio | 60 | 90 | 90 | 120 |

O P também foi aplicado no plantio, de acordo com as doses de P₂O₅ descritas anteriormente, utilizando como fonte o superfosfato triplo. A adubação de cobertura foi realizada de acordo com o recomendado por Lorenzi et al. (1997), aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, aproximadamente aos 30 dias após o plantio (DAP).

As ramas das duas cultivares foram retiradas de plantio jovem e cortadas com um dia de antecedência ao plantio, e seccionadas em pedaços de aproximadamente 40 cm de comprimento, contendo em média oito entrenós. As ramas foram enterradas manualmente, sempre pela base, na profundidade de 10 a 12 cm, sobre a linha de distribuição dos adubos.

O manejo fitossanitário das plantas foi realizado sempre que necessário, através de aplicações preventivas e corretivas de defensivos agrícolas. Sempre foram utilizados produtos recomendados para a cultura.

1.2.5 Avaliações

1.2.5.1 Teor de P na folha diagnose

A amostragem de folhas para a diagnose nutricional de P foi realizada aos 60 DAP em todos os experimentos. Coletou-se a folha mais nova totalmente expandida de todas as plantas localizadas na área útil de cada unidade experimental (LORENZI et al., 1997). Posteriormente as amostras foram acondicionadas em estufas de circulação de ar a 65 °C, por 72 horas, e analisado o teor de fósforo de acordo com a metodologia descrita por Malavolta (1997).

1.2.5.2 Quantidade de matéria seca acumulada, teor e extração de P

Para determinar o acúmulo de MS foram coletadas 5 plantas sequenciais em duas linhas, totalizando 10 plantas de cada unidade experimental. Após colhidas, as plantas foram separadas em parte aérea (ramas e folhas) e raízes tuberosas. Posteriormente as partes foram lavadas, pesadas, retiradas subamostras e submetidas à secagem

em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h. Após a secagem, as subamostras foram pesadas separadamente e os valores foram relacionados com os valores das amostras. Dessa forma, determinou-se a MS da parte aérea e das raízes tuberosas. A MS da planta inteira foi calculada pela soma da MS da parte aérea e das raízes tuberosas. Com os valores da população final de plantas (dados não apresentados), os valores de MS foram extrapolados para kg ha⁻¹.

As amostras de MS, da parte aérea e das raízes tuberosas, foram moídas, separadamente, em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. A porção triturada foi utilizada para a determinação do teor de P na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas, através da metodologia descrita por Malavolta (1997).

A extração de P foi obtida através do produto entre o teor de P e a quantidade de MS acumulada em cada parte da planta. Desta forma, determinou-se a extração de P na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira.

1.2.5.3 Número total e comercial de raízes tuberosas por planta; e produtividades classificada, total, comercial e não comercial de raízes tuberosas

Para estas avaliações, todas as raízes tuberosas das plantas coletadas (descritas no item 1.2.5.2) foram contadas e pesadas individualmente. As raízes tuberosas lisas de formato alongado e uniforme foram classificadas de acordo com Miranda et al. (1995) nas seguintes classes de tamanho: > 800 g (Diversos), 800 a 501 g (Graúda), 500 a 251 g (Extra A), 250 a 151 g (Extra) e 150 a 80 g (Diversos). A produtividade comercial foi obtida a partir do somatório de todas as classes de raízes tuberosas com peso entre 80 g e 800 g (MIRANDA et al., 1995; SILVA et al., 2002). As raízes tuberosas deformadas e com tamanho maior que 800 g ou menor que 80 g foram contabilizadas como raízes não comercializáveis; o número dessas raízes foi subtraído do número total de raízes tuberosas e, assim, obteve-se o número de raízes comerciais por planta. A produtividade total foi obtida a partir do somatório de todas as classes de raízes, inclusive as deformadas e àquelas com peso menor que 80 g e maior que 800 g.

1.2.5.4 Incidência de raízes tuberosas com defeitos

A incidência foi avaliada mediante a contagem do número de raízes tuberosas com incidência de rachaduras salientes, deformações e esverdeamento (MIRANDA et

al., 1995). A incidência de defeitos foi obtida pela relação entre o número de raízes tuberosas defeituosas e o número total de raízes tuberosas, sendo os valores expressos em porcentagem (%).

1.2.5.5 Eficiência de uso do P_2O_5 aplicado (EU)

A eficiência de uso do P_2O_5 aplicado foi determinada por meio da relação entre o incremento na produtividade de raízes tuberosas ($kg\ ha^{-1}$) e a quantidade de P_2O_5 aplicada ($kg\ ha^{-1}$), de acordo com a equação 1:

$$EU = \frac{(\text{Produtividade observada por tratamento} - \text{Produtividade observada no controle})}{\text{Quantidade de } P_2O_5 \text{ aplicada por tratamento}} \times 100 \quad (1)$$

1.2.5.6 Porcentagem de recuperação do P aplicado

A porcentagem de recuperação do P aplicado (PRPA) foi determinada segundo Procópio et al. (2005), de acordo com a equação 2:

$$PRPA = \frac{(\text{Conteúdo de P nas plantas fertilizadas} - \text{Conteúdo de P nas plantas do controle})}{\text{Quantidade de P aplicada via fertilizante}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada considerando-se os valores médios entre os anos estudados. Os dados foram submetidos a análise de variância e testou-se a significância de F ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste t (DMS, $p < 0,05$) para os fatores qualitativos (cultivares e épocas de cultivo) e regressão para o fator quantitativo (doses de fósforo). Na análise de regressão, a escolha do modelo foi definida com base na magnitude dos coeficientes significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Teor de P na folha diagnose e teores de P na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas no final do ciclo de cultivo

Constataram-se interações significativas apenas entre os fatores cultivares e épocas de cultivo para o teor de P na folha diagnose e para os teores de P na parte

aérea e raízes tuberosas no final do ciclo de cultivo (Tabela 4). De forma isolada, as doses de fósforo também influenciaram estas variáveis.

Os teores de P na folha diagnose das plantas da cultivar Canadense foram maiores em relação a Uruguaiana em 31% e 9%, respectivamente, para a primeira e segunda época de cultivo (Tabela 4). A época de cultivo não alterou o teor de P na folha diagnose da cultivar Canadense, mas na cultivar Uruguaiana, na segunda época de cultivo, o teor de P foi 16% mais elevado em relação a primeira época.

As doses de P influenciaram de forma exponencial o teor de P na folha diagnose, proporcionando aumento até a dose máxima estimada de 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, estabilizando-se até a dose máxima estudada (Figura 2A). Em relação ao controle (sem aplicação de fósforo), a dose de 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou aumento de 16% no teor de P na folha diagnose. Nascimento (2013) e Cruz et al. (2016) estudaram o efeito de doses de fósforo (0 a 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na cultura da batata-doce, cultivar *Beauregard*, e observaram que o teor de fósforo na folha diagnose aumentou linearmente até a maior dose estudada, com incremento de 21% em relação ao tratamento controle. Thumé et al. (2013) também estudaram doses de fósforo que variaram de 0 a 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e observaram aumento de aproximadamente 24% no teor de P na folha diagnose até a dose máxima estimada de 175 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Embora as doses de fósforo tenham aumentado significativamente o teor de P na folha diagnose, o valor médio verificado no tratamento controle (2,92 g kg⁻¹) encontra-se dentro dos intervalos adequados considerados por Lorenzi et al. (1997) e O'Sullivan et al. (1997), que são de 2,3 a 5,0 g kg⁻¹ e 2,6 e 4,5 g kg⁻¹, respectivamente.

O teor de fósforo na folha diagnose dentro do intervalo considerado adequado mesmo quando não houve a aplicação de fósforo (Figura 2A), indica que a cultura da batata-doce tem certa eficiência em aproveitar o fósforo que já encontra-se no solo, mesmo quando o teor deste nutriente no solo é considerado baixo, tal como foram as condições do presente estudo (Tabela 2), considerando os limites de interpretação propostos por Raij et al. (1997). Entretanto, pesquisas recentes apontam que mesmo quando o teor de P na folha diagnose já se encontra dentro do intervalo considerado adequado pela literatura (LORENZI et al., 1997; O'SULLIVAN et al., 1997), a cultura ainda continua respondendo ao aumento das doses de fósforo, como observado por Cruz et al. (2016) em estudos com a cultivar de batata-doce *Beauregard*.

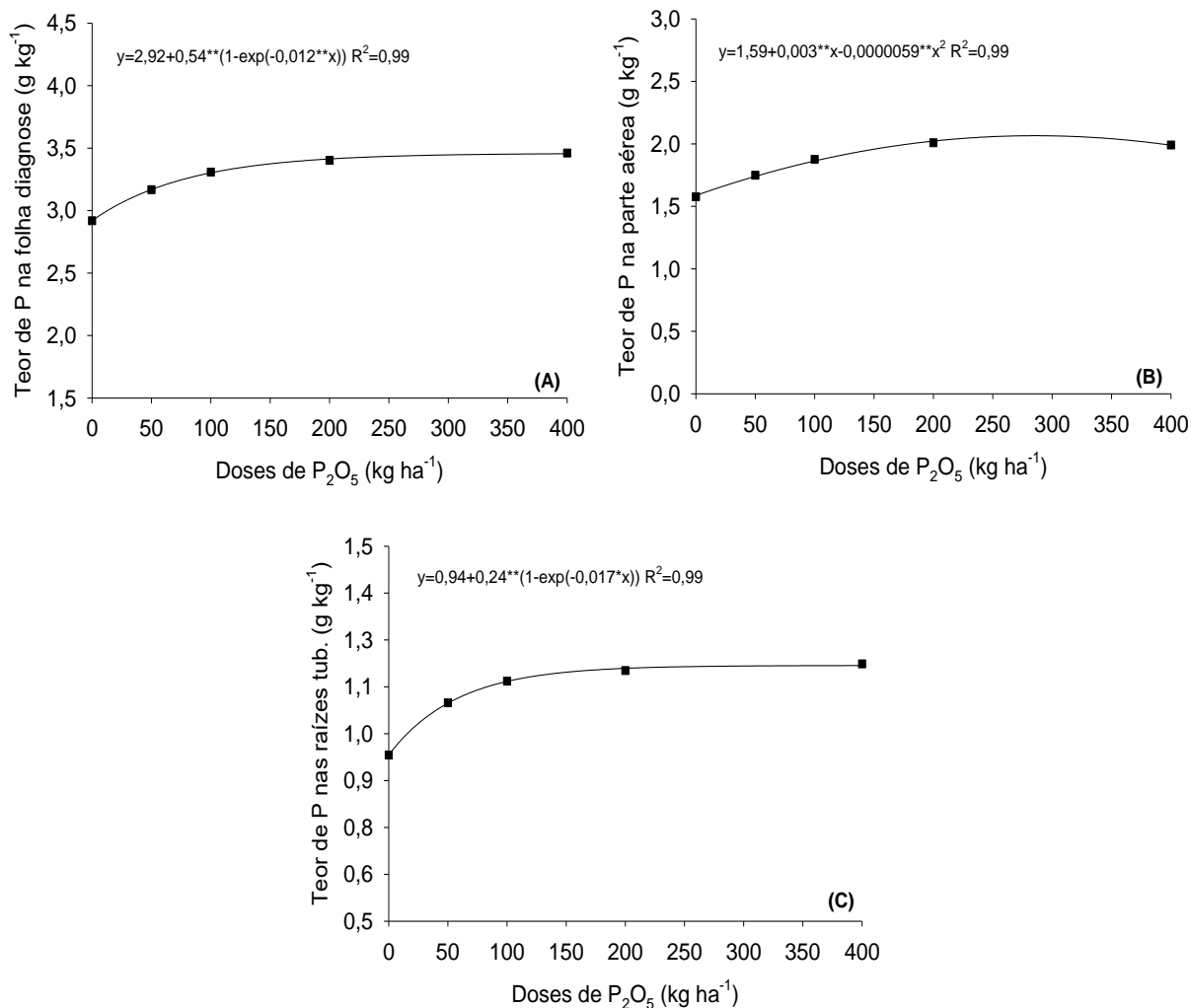
Tabela 4 – Teor de P na folha diagnose; teores de P na parte aérea e raízes tuberosas no final do ciclo de cultivo, de cultivares de batata-doce, em função da época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Cultivar | Época de cultivo | | |
|--------------|---|-------------|------------------|
| | Primeira | Segunda | |
| | Teor de P na folha diagnose (g kg ⁻¹) | | |
| Uruguaiana | 2,70b* | 3,22a* | |
| Canadense | 3,54a | 3,53a | |
| | Teor de P na parte aérea (g kg ⁻¹) | | |
| Uruguaiana | 1,41b* | 2,00a | |
| Canadense | 1,91b | 2,05a | |
| | Teor de P nas raízes tuberosas (g kg ⁻¹) | | |
| Uruguaiana | 1,11a | 0,98b* | |
| Canadense | 1,08b | 1,25a | |
| | (Probabilidade de F) | | |
| | Teor de P | | |
| ANOVA | Folha diagnose | Parte aérea | Raízes tuberosas |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 | ns |
| C × E | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Doses (D) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × D | ns | ns | ns |
| E × D | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns |
| CV (%) | 6,5 | 6,1 | 6,8 |

Valores seguidos por letras minúsculas diferentes dentro da linha indicam diferença significativa entre as épocas na mesma cultivar, enquanto o asterisco (*) indica diferença significativa entre as cultivares na mesma época, de acordo com o teste t (DMS, $p < 0,05$). ns: não significativo.

Analisando-se o efeito da interação cultivar e época para o teor de P na parte aérea das plantas, verificou-se que na segunda época os teores foram superiores em relação a primeira época em ambas as cultivares (Tabela 4). Apenas na primeira época houve diferença significativa entre as cultivares, situação em que o teor de P na parte aérea das plantas da cultivar Canadense foi cerca de 35% mais elevado em comparação à Uruguaiana.

Figura 2 – Teor de P na folha diagnose (A); teores de P na parte aérea (B) e nas raízes tuberosas (C) de plantas de batata-doce afetadas por doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



As doses de P influenciaram de forma quadrática o teor de P na parte aérea das plantas, proporcionando aumento até a dose máxima estimada de 254 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 2B). Comparado ao controle, onde não houve aplicação de fósforo, a dose de 254 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou aumento de 26% no teor de P na parte aérea das plantas.

O desdobramento dos resultados da interação cultivar e épocas de cultivo para o teor de P nas raízes tuberosas mostra que apenas na segunda época houve diferença entre as cultivares, circunstância em que a Canadense resultou em teor de P nas raízes tuberosas 27% mais elevado em relação à Uruguaiana (Tabela 4). O efeito das épocas de cultivo para cada cultivar foi diferente, uma vez que para a cultivar Uruguaiana a primeira época proporcionou maior teor de P nas raízes tuberosas, enquanto para a Canadense isso foi observado na segunda época.

Em geral, nota-se que o teor de P na folha diagnose, na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas foram maiores na cultivar Canadense, o que indica diferenças entre cultivares de batata-doce quanto ao teor de fósforo na planta (Tabela 4). Esse comportamento pode estar atribuído a variabilidade genética entre cultivares quanto a capacidade de absorver e/ou utilizar o P, o que também tem sido observado em outros estudos com batata-doce (SILVA et al., 2013) e outras tuberosas como a batata (SORATTO; FERNANDES, 2017).

1.3.2 Acúmulo de matéria seca e extração de P

Não houve interações significativas entre os fatores estudados para acúmulo de matéria seca (MS) da parte aérea, raízes tuberosas e da planta inteira (Tabela 5). Para a MS da parte aérea, verificou-se apenas efeito isolado do fator épocas de cultivo, situação em que a segunda época proporcionou acúmulo de MS 110% mais elevado quando comparado à primeira época, efeito que certamente está relacionado com as condições climáticas de cada época (Figura 1).

Observaram-se efeitos isolados de todos fatores estudados para a MS de raízes tuberosas e da planta inteira (Tabela 5; Figura 3A e 3B). Analisando-se o efeito de cultivar para a MS de raízes tuberosas e da planta inteira, a cultivar Canadense foi superior, respectivamente, em 9% e 7% quando comparada à Uruguaiana. Tal como foi observado para a MS da parte aérea, a segunda época também promoveu maior acúmulo de MS nas raízes tuberosas e na planta inteira, superior em 57% e 66%, respectivamente, em relação a primeira época.

Na segunda época de cultivo, período compreendido entres os meses de outubro a abril, a quantidade média de chuva acumulada neste período (média dos anos) foi de 884 mm, enquanto na primeira época (março a outubro) a quantidade foi de 396 mm (Figura 1), ou seja, na segunda época as plantas receberam 488 mm a mais de chuva. Além da maior quantidade de chuva, as temperaturas mais elevadas da segunda época (Figura 1) também colaboraram para o maior acúmulo de MS (Tabela 5), uma vez que a batata-doce é uma planta de ambiente tropical que: exige relativamente altas temperaturas, alta luminosidade, fotoperíodo longo e suficiente umidade do solo (EMBRAPA, 1995); características estas que, nas condições do presente estudo, geralmente são proporcionadas pela segunda época de cultivo.

Tabela 5 – Acúmulo de matéria seca na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

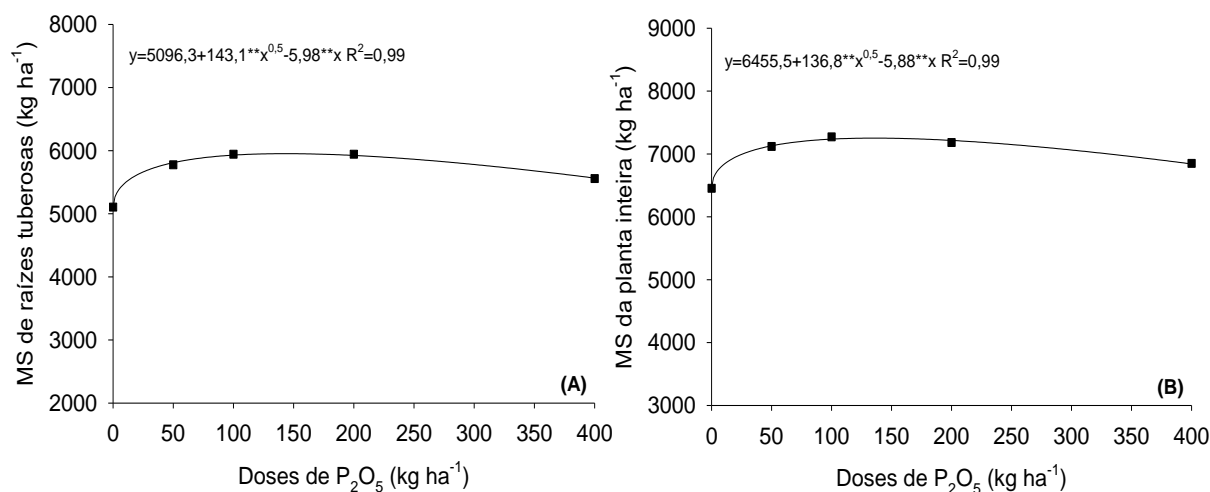
| Tratamentos | Acúmulo de matéria seca | | |
|--------------|-------------------------|------------------|----------------|
| | Parte aérea | Raízes tuberosas | Planta inteira |
| | (kg ha ⁻¹) | | |
| Cultivar | | | |
| Uruguaiana | 1352a | 5411b | 6763b |
| Canadense | 1270a | 5918a | 7187a |
| Época | | | |
| Primeira | 842b | 4410b | 5252b |
| Segunda | 1779a | 6919a | 8699a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | |
| Cultivar (C) | ns | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns |
| Doses (D) | ns | <0,001 | 0,001 |
| C × D | ns | ns | ns |
| E × D | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns |
| CV (%) | 28,3 | 7,9 | 8,4 |

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Os efeitos de doses de fósforo nas variáveis de acúmulo de MS foram observados apenas para MS de raízes tuberosas e MS da planta inteira, com valores médios das cultivares e das épocas de cultivo (Tabela 5; Figura 3A e 3B). Em geral, o aumento significativo do acúmulo de MS das raízes tuberosas e da planta inteira foram máximos até a dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de máxima resposta, a MS de raízes tuberosas e da planta inteira atingiram aproximadamente 5810 e 7106 kg ha⁻¹, sendo, respectivamente, 14% e 10% mais elevado em relação ao tratamento controle, que não recebeu adubação fosfatada. O efeito das doses de fósforo que foi observado para a MS da planta inteira certamente foi determinado pelo efeito causado na MS de raízes tuberosas, dado que as doses não influenciaram significativamente a MS da parte aérea (Tabela 5; Figura 3A e 3B). Cruz et al. (2016) também observaram que o incremento nas doses de fósforo culminou em aumento da MS de raízes tuberosas de batata-doce, cultivar Beauregard, até a dose máxima estimada de aproximadamente 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O fósforo é um nutriente que, além da sua função estrutural na planta, também é constituinte de fosfolipídios, ácidos nucleicos (MALAVOLTA, 1980); atua na transferência de energia nas plantas e regula os processos de fotossíntese e fotorrespiração, portanto, influencia o crescimento da planta (VANCE et al., 2003; ABEL-RAZZAK et al., 2013; KAREEM, 2013).

Figura 3 – Matéria seca (MS) de raízes tuberosas (A) e da planta inteira (B) de batata-doce afetadas por doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Para a absorção de P na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira, não houve interações significativas entre os fatores estudados (Tabela 6). Para o acúmulo de P na parte aérea, observou-se apenas efeito isolado do fator época de cultivo, circunstância em que a segunda época proporcionou acúmulo de fósforo 162% mais elevado quando comparado à primeira época, cujo efeito se deve a maior quantidade de MS acumulada na parte aérea das plantas nesta mesma época (Tabela 5).

Sobre o acúmulo de fósforo nas raízes tuberosas e na planta inteira, observaram-se efeitos isolados de todos os fatores estudados (Tabela 6; Figura 4A e 4B). Quanto ao efeito do cultivar para o acúmulo de fósforo nestas partes da planta, a cultivar Canadense foi superior em 27% e 22% para o acúmulo de fósforo nas raízes tuberosas e na planta inteira, respectivamente, em relação a cultivar Uruguaiana (Tabela 5). A segunda época proporcionou aumento de 59% e 84%, no acúmulo de P nas raízes tuberosas e na planta inteira, respectivamente, em comparação à primeira época.

Os efeitos de cultivar e de época de cultivo para o acúmulo de fósforo na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira foram análogos àqueles observados para o acúmulo de MS (Tabela 5). Esse efeito era esperado, pois a quantidade acumulada de um nutriente na planta é o produto do teor e da quantidade de MS acumulada. Apesar do teor de P na parte aérea ter sido maior na segunda época de cultivo em

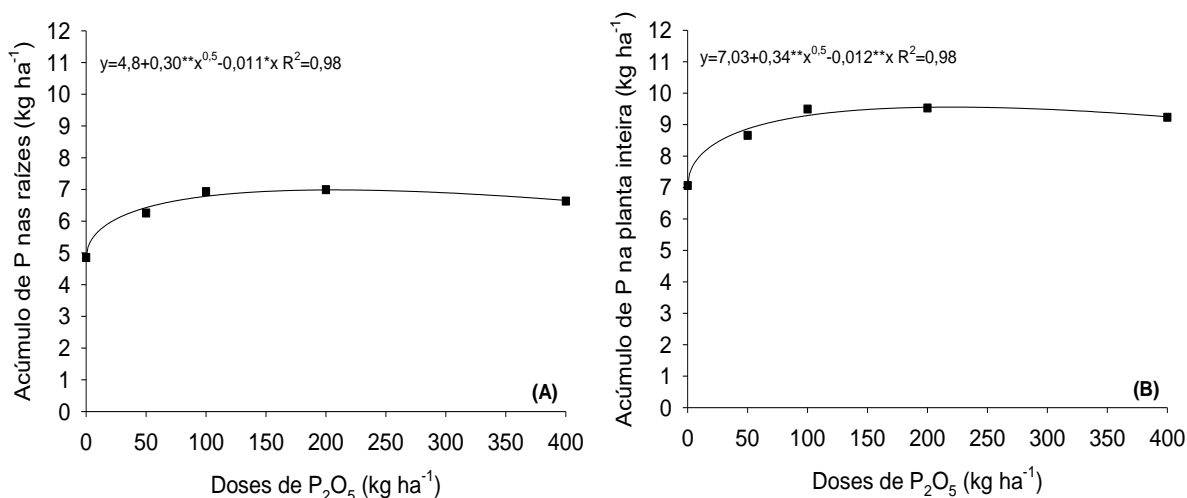
ambos os cultivares estudados (Tabela 4), o que também deve ter colaborado para o maior acúmulo de fósforo pela planta na segunda época de cultivo (Tabela 6), o que mais contribuiu para os efeitos observados foi a quantidade de MS acumulada.

Tabela 6 – Quantidade de fósforo acumulada na parte aérea, raízes tuberosas e na planta inteira, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Tratamentos | Acúmulo de fósforo | | |
|--------------|------------------------|------------------|----------------|
| | Parte aérea | Raízes tuberosas | Planta inteira |
| | (kg ha ⁻¹) | | |
| Cultivar | | | |
| Uruguaiana | 2,4a | 5,6b | 7,9b |
| Canadense | 2,5a | 7,1a | 9,6a |
| Época | | | |
| Primeira | 1,3b | 4,9b | 6,2b |
| Segunda | 3,4a | 7,8a | 11,4a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | |
| Cultivar (C) | ns | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns |
| Doses (D) | ns | <0,001 | <0,001 |
| C × D | ns | ns | ns |
| E × D | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns |
| CV (%) | 28,2 | 11,2 | 10,5 |

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Figura 4 – Acúmulo de P nas raízes tuberosas (A) e na planta inteira (B) de batata-doce afetadas por doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Analisando-se os efeitos das doses para o acúmulo de fósforo nas raízes tuberosas e na planta inteira, verificou-se que, em geral, os aumentos significativos ocorreram até a dose máxima estimada de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 4A e 4B). Na dose de máxima resposta, o acúmulo de P nas raízes tuberosas e na planta inteira foram de 6,8 e 9,4 kg ha⁻¹, respectivamente, correspondendo a 42% e 34% mais elevados em relação a dose controle. Os efeitos das doses para os acúmulos de fósforo na planta também estão relacionados àqueles observados para o acúmulo de MS (Figura 3A e 3B). Cruz et al. (2016) observaram para a cultivar de batata-doce *Beauregard* acúmulo máximo de fósforo na planta inteira (12,0 kg ha⁻¹) foi obtido com a dose máxima estimada de 173 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dose esta que está próxima daquela observada no presente estudo para o acúmulo de P na planta inteira (Figura 4B).

1.3.3 Número total e comercial de raízes tuberosas por planta e incidência de raízes tuberosas com defeito

Para o número total de raízes tuberosas por planta, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados e, quanto aos efeitos de interações entre os fatores, observou-se apenas entre época de cultivo e dose de fósforo (Tabela 7). A cultivar Canadense produziu maior número total de raízes tuberosas por planta em relação a Uruguaiana. O aumento observado foi de aproximadamente 1 raiz tuberosa por planta.

Analisando-se os efeitos da interação entre época de cultivo e dose de fósforo para o número total de raízes tuberosas por planta, verificou-se que, independente da dose de fósforo utilizada, a segunda época de cultivo proporcionou maior número total de raízes tuberosas por planta (Figura 5A). Na primeira época de cultivo não houve efeito significativo das doses de fósforo sobre o número total de raízes tuberosas por planta, entretanto, na segunda época as doses de adubo fosfatado aumentaram aproximadamente 1,4 unidades por planta até a dose máxima estimada de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Verificaram-se apenas efeitos isolados dos fatores estudados para o número comercial de raízes tuberosas por plantas (Tabela 7). A cultivar Canadense foi superior a Uruguaiana quanto ao número comercial de raízes por planta. Comparando-se o efeito de época de cultivo, observou-se que na segunda época o número comercial de raízes tuberosas por planta foi maior do que na primeira. As doses de fósforo aumentaram o número comercial de raízes tuberosas por planta até a dose máxima estimada de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 5B).

Tabela 7 – Número total e número comercial de raízes tuberosas por planta e incidência de raízes tuberosas com defeito, de plantas de batata-doce, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Tratamentos | Número total de raízes tuberosas por planta (n ^o planta ⁻¹) | Número comercial de raízes tuberosas por planta | Incidência de raízes tuberosas com defeito (%) |
|--------------|---|---|---|
| Cultivar | | | |
| Uruguaiana | 3,68b | 2,47b | 3,37b |
| Canadense | 4,50a | 3,09a | 4,33a |
| Época | | | |
| Primeira | 3,27b | 2,27b | 6,54a |
| Segunda | 4,90a | 3,29a | 1,16b |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns |
| Doses (D) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × D | ns | ns | ns |
| E × D | 0,003 | ns | <0,001 |
| C × E × D | ns | ns | ns |
| CV (%) | 12,2 | 12,7 | 13,2 |

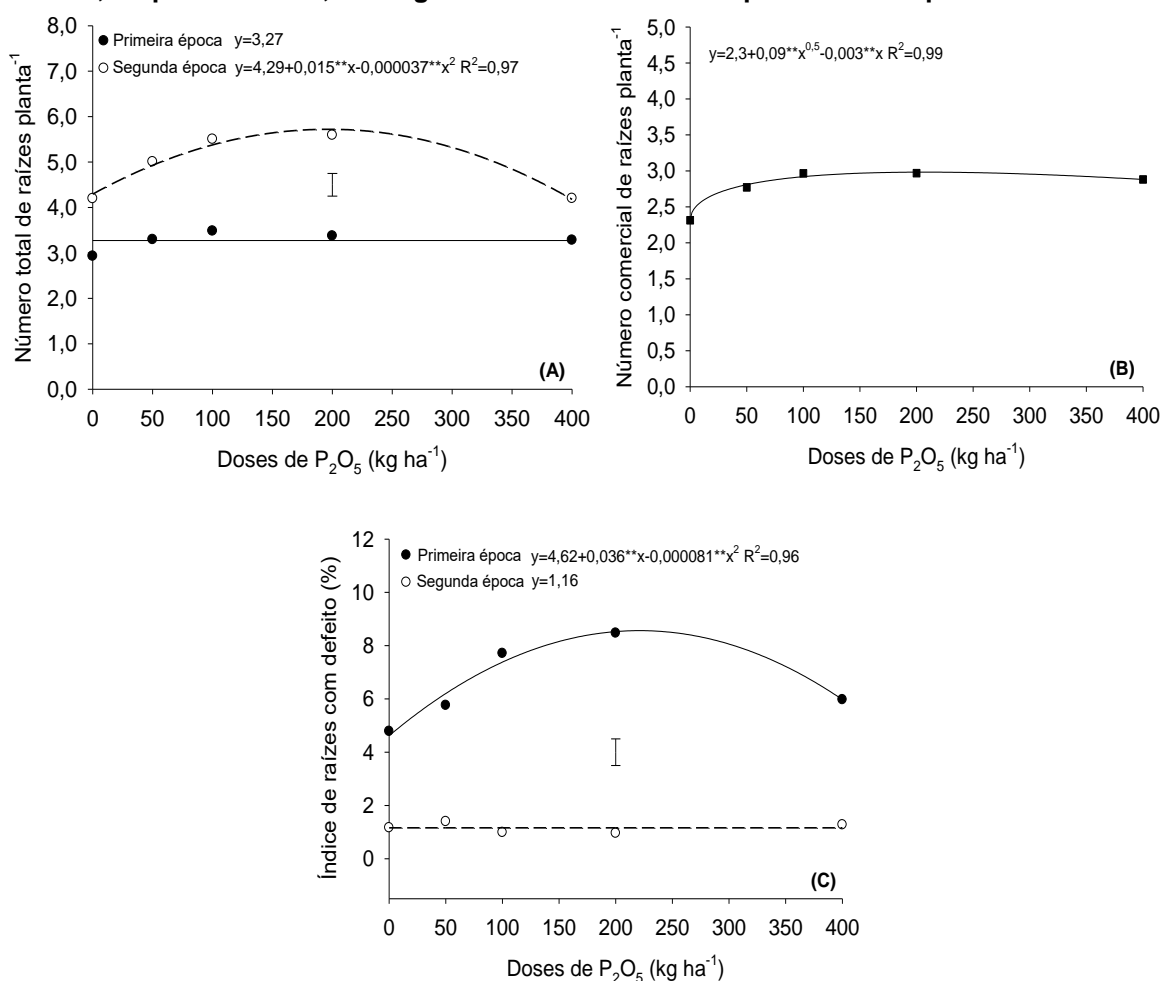
Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Em geral, observa-se que o número total e o número comercial de raízes tuberosas foram superiores na cultivar Canadense em relação a Uruguaiana, enquanto a segunda época de cultivo proporcionou valores mais elevados destas variáveis (Tabela 7). Na literatura, vários trabalhos relatam diferenças entre cultivares quanto ao número de raízes tuberosas por planta (SILVA et al., 2015; AMARO et al., 2017). Segundo Silva et al. (2013) e Silva et al. (2015), este caráter pode ser um indicativo do potencial produtivo da cultivar. Quanto aos efeitos de época de cultivo sobre o número de raízes tuberosas por planta (total e comercial), nota-se que na segunda época as condições climáticas (Figura 1) certamente favoreceram o crescimento das plantas, o que pode ter contribuído para o aumento no número de raízes (Tabela 7).

Analisando-se a incidência de raízes tuberosas com defeito, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados e, quanto aos efeitos de interações, observou-se apenas entre época de cultivo e dose de fósforo (Tabela 7). Comparando-se os efeitos isolados de cultivar, verificou-se que a cultivar Canadense resultou em maior índice de raízes tuberosas com defeito quando comparada à Uruguaiana, enquanto o desdobramento dos resultados da interação época de cultivo e dose de fósforo mostraram que, para todas as doses estudadas, o cultivo na primeira época resultou em um índice de defeitos das raízes bem mais elevado em relação ao cultivo em

segunda época (Figura 5C). As doses de fósforo não afetaram significativamente o índice de defeitos nas raízes tuberosas na segunda época de cultivo, porém na primeira época o incremento nas doses de adubo fosfatado aplicada elevou o índice de defeitos, alcançando o máximo na dose estimada de 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 5C). Comercialmente, o efeito provocado pelas doses de fósforo para o índice de raízes com defeito na primeira época de cultivo é negativo, ou seja, aumentou a porcentagem de raízes tuberosas que não atendem os padrões exigidos pelo mercado (Figura 5C). Por outro lado, sobretudo para a cultivar Canadense, as doses de fósforo aumentaram a produtividade de raízes tuberosas com padrão comercial (Tabela 6; Figura 7A), o que pode acabar compensando os efeitos negativos citados quanto ao índice de raízes tuberosas com defeito (Figura 5C).

Figura 5 – Número total (A) e número comercial (B) de raízes tuberosas por planta e índice de raízes tuberosas com defeito, de plantas de batata-doce, afetadas por épocas de cultivo e doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t.



1.3.4 Produtividade classificada de raízes tuberosas

Para a produtividade de raízes tuberosas da classe de peso de 80-150 g, verificou-se interação significativa apenas entre os fatores cultivar e dose de fósforo (Tabela 8). Para essa classe de raiz tuberosa, não houve efeito isolado da época de cultivo. Comparando-se os efeitos da interação cultivar e dose de fósforo para a classe de 80-150 g, nota-se que a cultivar Canadense foi superior a Uruguaiana em todas as doses estudadas (Figura 6A). Para a cultivar Canadense as doses de fósforo aumentaram linearmente a produtividade de raízes tuberosas da classe de 80-150 g até a maior dose de P_2O_5 estudada, enquanto para cultivar Uruguaiana não houve efeito significativo das doses de fósforo.

Analisando-se a produtividade da classe de raízes tuberosas de 151-250 g, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados, e interação significativa apenas entre o fator cultivar e dose de fósforo (Tabela 8). Comparando-se o efeito de época de cultivo, observou-se que a produtividade da classe 151-250 g na segunda época (5229 kg ha⁻¹) foi 7% superior à verificada na primeira época. No desdobramento da interação cultivar e dose de fósforo, verificou-se, com exceção da dose controle que não houve diferença, que a cultivar Canadense foi maior em todas as outras doses quando comparada a cultivar Uruguaiana (Figura 6B). Para a cultivar Canadense, que obteve produtividade na dose controle de 4575 kg ha⁻¹ na classe de raízes de 151-250 g, a dose máxima estimada de 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 aumentou a produtividade desta classe em 42%, ao passo que na cultivar Uruguaiana não houve efeito das doses de fósforo.

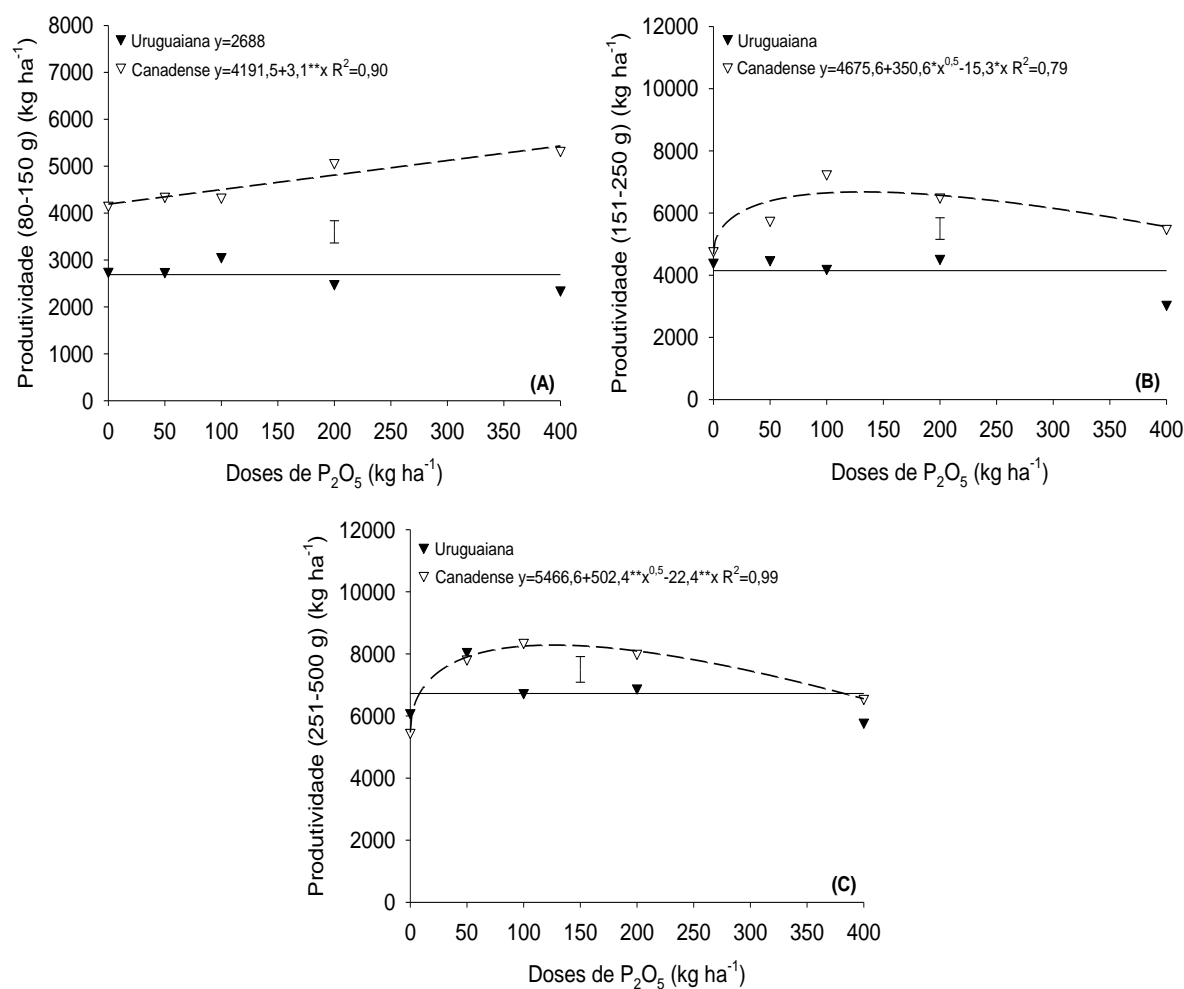
A produtividade da classe de raízes tuberosas de 251-500 g foi afetada pelos fatores isolados, e houve interação significativa apenas entre o fator cultivar e dose de fósforo (Tabela 8). Quanto ao efeito de época de cultivo, verificou-se que a produtividade da classe 251-500 g (8496 kg ha⁻¹) na segunda época foi 55% superior à verificada na primeira época. Contrastando-se os resultados da interação cultivar e dose de fósforo para a produtividade de raízes da classe de 251-500 g, nota-se que a cultivar Canadense foi superior à Uruguaiana apenas nas doses de 100 e 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Figura 6C). Sobre os efeitos de dose em cada cultivar para a produtividade de raízes da classe 251-500 g, na Uruguaiana não houve efeito significativo, enquanto para a cultivar Canadense a dose máxima estimada de aproximadamente 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 aumentou 46% em relação a dose controle que produziu 5467 kg ha⁻¹ de raízes da classe de 251-500 g.

Tabela 8 – Produtividade classificada de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Tratamentos | Produtividade de raízes tuberosas por classe | | | |
|--------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | 80-150 g | 151-250 g | 251-500 g | 501-800 g |
| | (kg ha ⁻¹) | | | |
| Cultivar | | | | |
| Uruguaiana | 2688b | 4147b | 6726b | 2800b |
| Canadense | 4656a | 5967a | 7252a | 3165a |
| Época | | | | |
| Primeira | 3676a | 4885b | 5482b | 1821b |
| Segunda | 3668a | 5229a | 8496a | 4144a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | 0,006 | 0,013 |
| Época (E) | ns | 0,030 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns | ns |
| Doses (D) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | ns |
| C × D | <0,001 | <0,001 | <0,001 | ns |
| E × D | ns | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 12,9 | 13,7 | 11,8 | 21,4 |

Valores seguidos por letras minúsculas diferentes dentro da linha indicam diferença significativa entre as épocas na mesma cultivar, enquanto o asterisco (*) indica diferença significativa entre as cultivares na mesma época, de acordo com o teste t (DMS, $p < 0,05$). ns: não significativo.

Figura 6 – Produtividade das classes de raízes tuberosas de 80-150 g (A), 151-250 g (B) e 251-500 g (C), de cultivares de batata-doce, afetadas por doses de fósforo. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Para a classe de raízes tuberosas de 501-800 g, constatou-se que não houve interação significativa entre os fatores estudados, mas houve efeitos isolados de cultivar e época de cultivo (Tabela 8). A produtividade de raízes da classe de 501-800 g observada para a cultivar Canadense (3165 kg ha⁻¹) foi 13% mais elevada à verificada para Uruguaiana. A segunda época de cultivo (4144 kg ha⁻¹) proporcionou aumento de 128% quando comparada a primeira época (1812 kg ha⁻¹).

1.3.5 Produtividade comercial, produtividade não comercial e produtividade total de raízes tuberosas

Para a produtividade comercial, produtividade não comercial e produtividade total, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados e interação significativa apenas entre os fatores cultivar e dose de fósforo (Tabela 9). A produtividade comercial e a produtividade total de raízes tuberosas na segunda época de cultivo (comercial: 21538 kg ha⁻¹ e total: 25787 kg ha⁻¹) foram, respectivamente, 36% e 33% superiores às averiguadas na primeira época. A produtividade não comercial na segunda época também foi cerca de 37% mais elevada em comparação à primeira, muito próximo às diferenças verificadas entre as épocas para a produtividade comercial, o que indica certa proporcionalidade entre as duas variáveis, ou seja, à medida que a produtividade de raízes tuberosas foi elevada, a quantidade de raízes não comerciais também aumentou.

Verificou-se que em todas as doses de fósforo aplicadas a produtividade comercial da cultivar Canadense foi maior à constatada para a Uruguaiana (Figura 7A). O aumento nas doses de fósforo não afetou significativamente a produtividade comercial da cultivar Uruguaiana. Por outro lado, para a cultivar Canadense a dose de máxima resposta estimada em 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou aumento aproximado de 4240 kg ha⁻¹ na produtividade comercial quando comparada a dose controle.

Em geral, a produtividade não comercial de raízes tuberosas da cultivar Canadense foi superior à observada na Uruguaiana (Figura 7B). As doses de fósforo influenciaram significativamente a produtividade não comercial da cultivar Canadense, situação em que aumentou cerca de 2300 kg ha⁻¹ até a dose máxima estimada de 330 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, para a cultivar Uruguaiana não houve influência significativa das doses na produtividade não comercial.

Para a produtividade total, verificou-se que a cultivar Canadense foi superior a Uruguaiana em todas as doses (Figura 7C). Observou-se que para cultivar Uruguaiana as doses de fósforo não afetaram significativamente essa variável. Entretanto, houve influência das doses para a cultivar Canadense, circunstância em que a produtividade total na dose de máxima resposta estimada (130 kg ha^{-1} de P_2O_5) aumentou aproximadamente 6670 kg ha^{-1} em relação a dose controle.

Tabela 9 – Produtividade comercial, produtividade não comercial e produtividade total de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

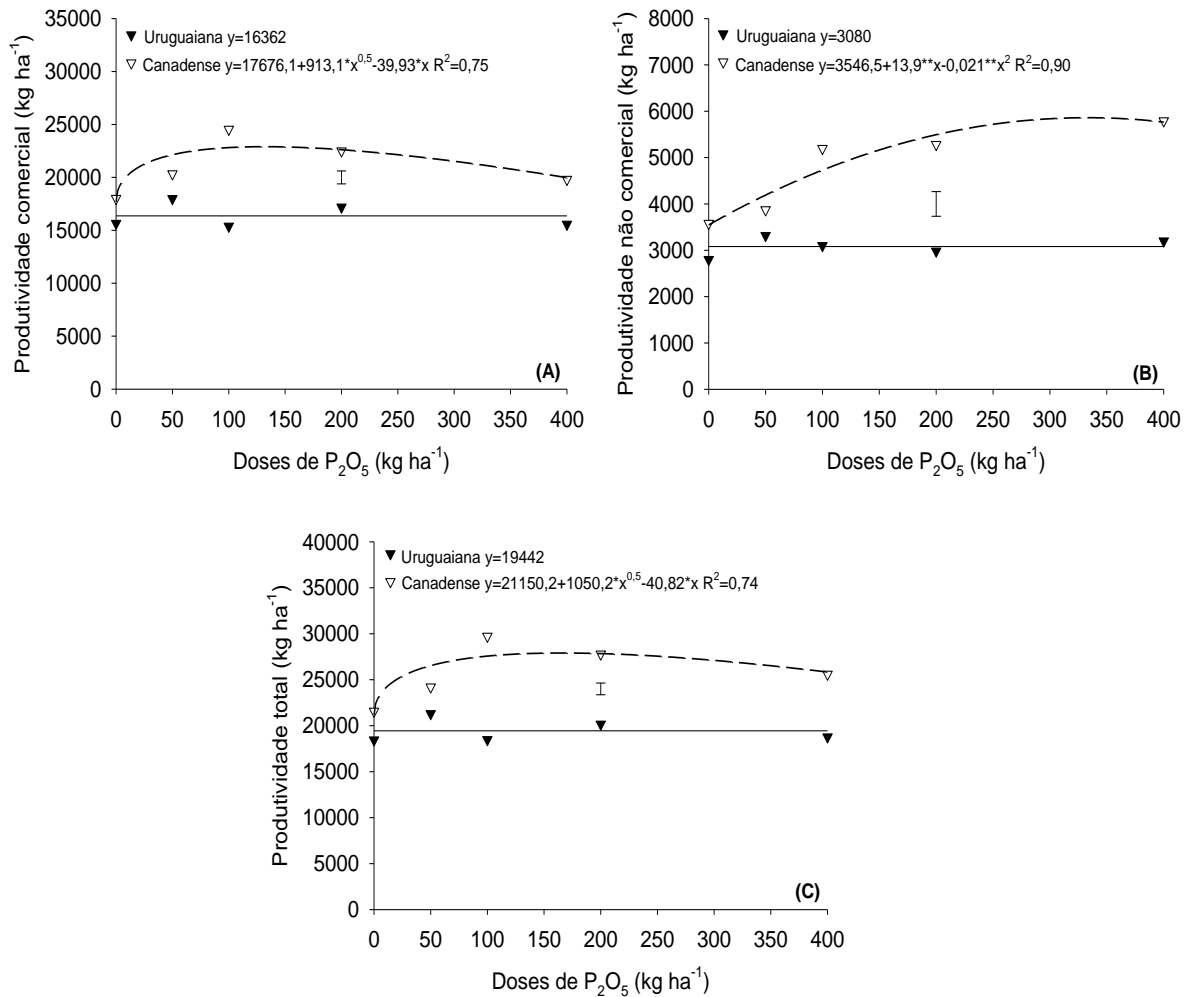
| Tratamentos | Produtividade comercial | Produtividade não comercial | Produtividade total |
|--------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | (kg ha ⁻¹) | | |
| Cultivar | | | |
| Uruguaiana | 16362b | 3080b | 19442b |
| Canadense | 21039a | 4745a | 25784a |
| Época | | | |
| Primeira | 15863b | 3305b | 19168b |
| Segunda | 21538a | 4521a | 26058a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns |
| Doses (D) | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × D | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| E × D | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns |
| CV (%) | 6,5 | 13,6 | 5,6 |

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Analisando-se os efeitos gerais que foram observados para as variáveis de produtividade de raízes tuberosas (produtividades classificada, comercial e total), nota-se que a cultivar Canadense foi superior a Uruguaiana em todas as situações, à medida que a segunda época de cultivo também foi superior a primeira (Tabela 8 e 9). Isso indica que, nas condições do presente estudo, a cultivar Canadense é mais produtiva do que a Uruguaiana e, ainda, ambas expressam mais o seu potencial produtivo quando cultivadas no período de outubro a abril (segunda época), o que certamente está relacionado com as melhores condições climáticas (Figura 1). Em geral, analisando-se os efeitos das doses de fósforo sobre as variáveis de produtividade de raízes tuberosas (Tabela 8 e 9) Figura 6A, B e C; Figura 7A, B e C), é notável que as respostas da cultivar Canadense foram superiores àquelas

verificadas na Uruguaiana. Diferenças de respostas a aplicação de fósforo entre cultivares de batata-doce é mostrada na literatura (SILVA et al., 2013).

Figura 7 – Produtividade comercial (A), produtividade não comercial (B) e produtividade total (C) de raízes tuberosas, de cultivares de batata-doce, afetadas por doses de fósforo. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



1.3.6 Eficiência de uso e porcentagem de recuperação do P₂O₅ aplicado

Para a eficiência de uso do fósforo aplicado, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados e interação significativa apenas entre cultivar e época de cultivo (Tabela 8). Na primeira época de cultivo, verificou-se que a cultivar Canadense teve eficiência de uso do fósforo muito superior a Uruguaiana, apresentando 72,5 kg de raízes tuberosas a cada 1 kg de P₂O₅ aplicado, frente a Uruguaiana que produziu 11,8 kg de raízes tuberosas. Na segunda época a maior eficiência de uso do fósforo foi observada para a cultivar Uruguaiana, apesar das diferenças serem bem menores. O efeito da época de cultivo foi diferente entre as cultivares. A cultivar Canadense teve maior eficiência de uso do fósforo na primeira época, enquanto a Uruguaiana teve maior eficiência de uso na segunda época.

O aumento nas doses de adubo fosfatado fornecidas reduziu a eficiência de uso do fósforo aplicado (Figura 8A). A maior eficiência de uso do fósforo aplicado foi observada na dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, reduzindo acentuadamente até a dose máxima estimada de 350 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 10 – Eficiência de uso do P₂O₅ aplicado (EU) e porcentagem de recuperação do P aplicado (RPA) em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

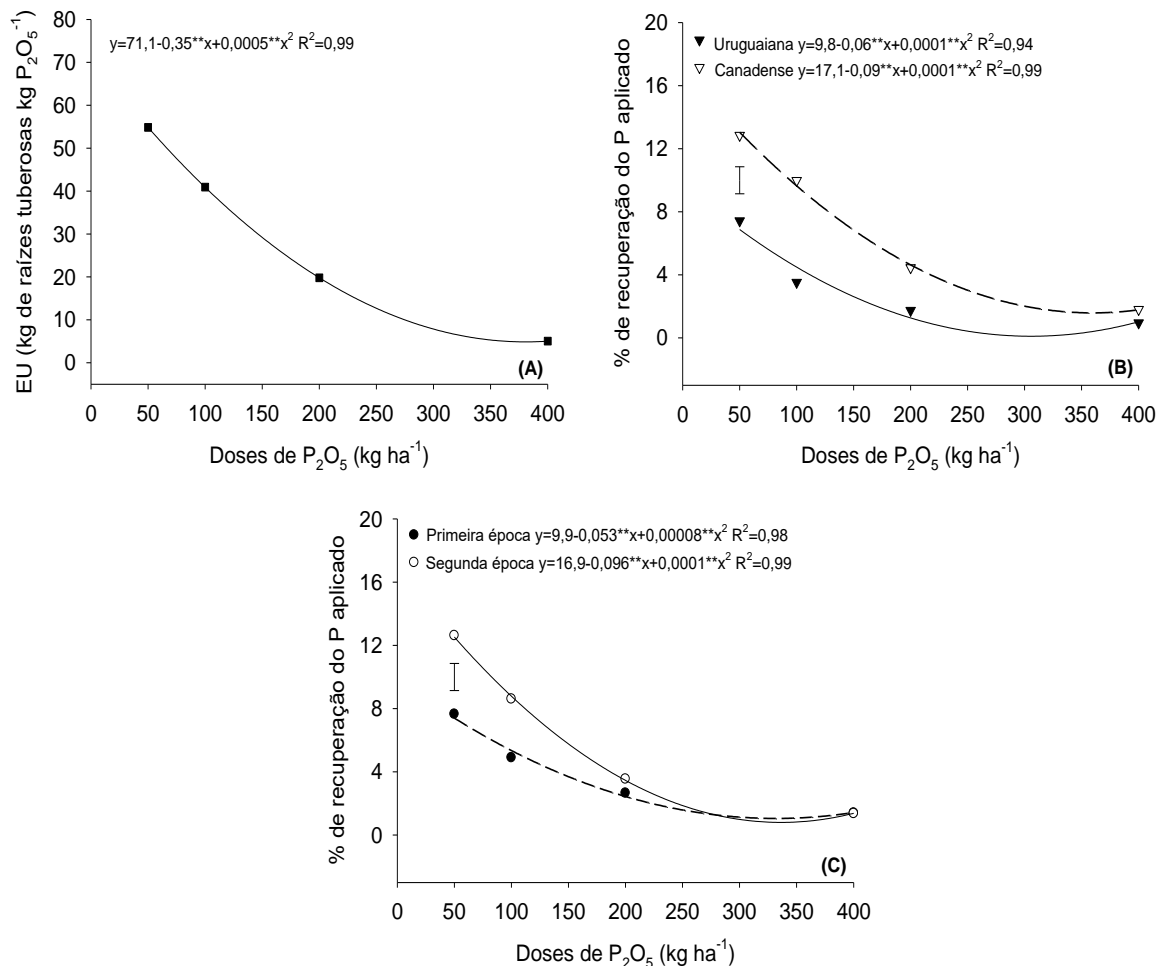
| Cultivar | Época de cultivo | |
|--------------|---|---------|
| | Primeira | Segunda |
| | Eficiência de uso do P ₂ O ₅ aplicado (EU) | |
| | (kg de raiz tuberosa kg P ₂ O ₅ ⁻¹) | |
| Uruguaiana | 11,8b* | 21,2a* |
| Canadense | 72,5a | 15,1b |
| | Porcentagem de recuperação do P | |
| | (%) | |
| Uruguaiana | 3,2a* | 3,7a* |
| Canadense | 5,1b | 9,4a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | |
| | EU | RPA |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | <0,001 |
| C × E | <0,001 | <0,001 |
| Doses (D) | <0,001 | <0,001 |
| C × D | ns | <0,001 |
| E × D | ns | <0,001 |
| C × E × D | ns | ns |
| CV (%) | 22,3 | 31,8 |

Valores seguidos por letras minúsculas diferentes dentro da linha indicam diferença significativa entre as épocas na mesma cultivar, enquanto o asterisco (*) indica diferença significativa entre as cultivares na mesma época, de acordo com o teste t (DMS, $p < 0,05$). ns: não significativo.

As produtividades de raízes tuberosas (produtividades por classes, comercial e total) e o acúmulo de fósforo na planta responderam a doses máximas de fósforo que estiveram entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 7C), ou seja, relativamente baixa se comparado as altas que foram estudadas. A redução na eficiência de uso do fósforo aplicado pode ser em decorrência disso.

Silva et al. (2013) estudaram a eficiência de uso e resposta ao fósforo aplicado em nove genótipos de batata-doce. Os autores observaram que quatro genótipos foram classificados como “não eficientes e responsivos”, quatro como “eficientes e não responsivos”, e apenas um foi “eficiente e responsivo” (genótipo “Amanda”). Ou seja, isso mostra que existem diferenças entre genótipos de batata-doce quanto a eficiência de uso do fósforo, tal como foram observados entre as cultivares utilizadas no presente estudo (Tabela 10).

Figura 8 – Eficiência de uso (EU) do P₂O₅ aplicado (A) afetado por doses de adubo fosfatado; porcentagem de recuperação do P aplicado afetado por: cultivar e doses de adubo fosfatado (B) e por épocas de cultivo e doses do adubo fosfatado. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Para a eficiência de uso do fósforo aplicado, verificou-se efeito isolado dos fatores estudados e interações significativas de cultivar x doses e de épocas x doses (Tabela 10). Analisando-se os efeitos do desdobramento cultivar e doses, verifica-se, em geral, que a cultivar Canadense teve maior porcentagem de recuperação do fósforo aplicado em relação a Uruguaiana, com exceção da maior dose de fósforo aplicada, onde não houve diferença entre as cultivares (Figura 8B). A maior recuperação do P aplicado pela cultivar Canadense é resultado da maior absorção apresentada por esta cultivar (Tabela 6). A porcentagem de recuperação do fósforo aplicado reduziu à medida que as doses do adubo fosfatado aumentaram.

Quanto aos efeitos do desdobramento da interação época de cultivo e dose de fósforo para porcentagem de recuperação do fósforo aplicado, nota-se que a segunda época, em doses mais baixas (50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅), resultou em maior recuperação do fósforo aplicado em relação a primeira época (Figura 8C). Em doses mais elevadas não houve diferenças entre as épocas de cultivo. A maior recuperação do P aplicado observado na segunda época é resultado da maior absorção verificada nesta mesma época (Tabela 6). O incremento nas doses de adubo aplicadas reduziu a porcentagem de recuperação do P aplicado.

1.4 CONCLUSÕES

A cultivar Canadense é mais produtiva do que a Uruguaiana. A melhor época de cultivo é entre os meses de outubro e abril. Em solo de baixo teor de fósforo, doses do nutriente entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ são suficientes para promover o crescimento das plantas e aumentar a produtividade.

REFERÊNCIAS

AKINJOBA, U. Outcome of phosphorus fertilizer on tuber yields vegetative growth and phosphorus uptake of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **International Journal of Manures and Fertilizers**, v.3, n.7, p. 558-560, 2014.

BÜNEMANN, E.K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus – a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.89, p.82–98, 2015.

CAVALCANTE, R.R., NASCIMENTO, I.R., ROCHA, R.N.C. Características produtivas de genótipos de batata doce em função de doses de fósforo em solos de terra firme no município de Careiro, AM. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.11, n.6, p.17-23, 2017.

COSTA CRUZ, S.M., CECÍLIO FILHO, A.B., NASCIMENTO, A.S., VARGAS, P.F. Mineral nutrition and yield of sweet potato according to phosphorus doses. **Comunicata Scientiae**, v.7(2), p.183-191, 2016.

DUMBUYA, G., SARKODIE-ADDO, J., DARAMY, M. A., JALLOH, M. Growth and yield response of sweet potato to different tillage methods and phosphorus fertilizer rates in Ghana. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v.4(5), p.475-783, 2016.

GOLLA, A. R. et al. Multiplicação de material vegetativo de batata-doce em diferentes bandejas e produção de raízes. **Pesquisa & Tecnologia**, v.7, n.1, 7p. 2010.

GUSTAFSSON, J.P., MWAMILA, L.B., KERGOAT, K., 2012. The pH dependence of phosphate sorption and desorption in Swedish agricultural soils. **Geoderma**, v.189, p.304–311.

HAMEDA, S.E.A. E.L.; DEAN, S.A. EL; EZZAT, S.; MORSY, A. H. A. EL. Responses of productivity and quality of sweet potato to phosphorus fertilizer rates and application methods of the humic acid. **International Research Journal of Agricultural Science and soil Science**, v.1, n.9, p. 383-389, 2011.

HAYNES, R.J., MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, 59, 47–63, 2001.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

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

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. 1995. 94p. (Coleção Plantar).

NASCIMENTO, S. M. C. **Nutrição mineral e produtividade da batata-doce biofortificada em função de doses de fósforo e potássio**. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Ciência do solo, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal 2013.

OLIVEIRA, A.P.; SILVA, J.E.L.; PEREIRA, W.E.; BARBOSA, L.J.N.; OLIVEIRA, A.N.P. Características produtivas da batata doce em função de doses de P₂O₅, de espaçamento e de sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.4, p.611-617, 2006.

OLIVEIRA, A.P.; SILVA, J.E.L.; PEREIRA, W.E.; BARBOSA, L.J.N. Produção de batata doce e teor de amido nas raízes em função de doses de P₂O₅. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, n.4, p.747-751, 2005.

O'SULLIVAN, J. N.; ASHER, C. J.; BLAMEY, F. P. C. Nutrient disorders of sweet potato. ACIAR, Monograph nº48, **Australian Centre for International Agricultural Research**, Canberra, 136 p, 1997.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, p.911-921, 2005.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 285, 2001.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. (Boletim Técnico, 100).

ROBERTS, T. L., JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v.105 (Part B), p.275–281, 2015.

SANTOS, J.F.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; BRITO, C. H.; NÓBREGA, J. P. R. Produção de batata-doce adubada com esterco bovino em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.103-106, 2006.

SCHACHTMAN, D.P., REID, R.J., AYLING, S.M. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant Physiol**, v.116, p.447–453, 1998.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Cultura da batata-doce. In: Cereda, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002.

SILVA, L.L.; SILVEIRA, M.A.; FIDELIS, R.R.; TAVARES, R.C.; MOMENTÉ, V.G.; NASCIMENTO, I.R. Seleção de genótipos de batata doce quanto à eficiência ao uso do fósforo em solos da região de cerrado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.4, n.4, p.356-364, 2013.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M. Resposta da cultura da batata a adubação fosfatada no Brasil. **Informações agrônômicas n. 157**, 2017

THUMÉ, M. A.; DIAS, L. E.; SILVEIRA, M. A.; RODRIGUES DE ASSIS, I. Níveis críticos foliares de nutrientes de três cultivares de batata-doce, selecionados para a produção de etanol, **Revista Ceres**, v. 60, n.6, 2013.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p.423-447, 2003.

YONEYA T, ISHIBASHI K, HIRONAKA K, YAMAMOTO K, Influence of cross-linked potato starch treated with POCI₃ on DSC, rheological properties and granule size. **Carbohydr Polym**, v.53, p.447–457, 2003.

ZHU, J., LI, M., WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. **Science of the Total Environment**, v.612, p.522–537, 2018.

CAPÍTULO 2

VARIAÇÕES NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE RAÍZES TUBEROSAS DE BATATA-DOCE COM O MANEJO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA

Resumo

O fósforo é um elemento essencial nos processos de transferência de energia, e considerado um dos principais fatores limitantes de crescimento para as plantas. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação fosfatada aplicada no cultivo de dois cultivares de batata-doce em duas épocas de plantio sobre a composição química das raízes. Os experimentos foram conduzidos em condições de campo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema fatorial 2 x 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram representados por duas cultivares de batata-doce (Canadense e Uruguaiana); cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) e duas épocas de cultivo (primeira época: março a outubro e segunda época: outubro a abril). Observou efeito do fósforo para maioria das características estudadas, exceto para açúcares totais e umidade, onde o fósforo não influenciou os teores dessas variáveis nas raízes tuberosas, a cultivar Uruguaiana foi a que apresentou maiores teores de matéria seca, amido e açúcares. Em relação a época, ficou evidente que a segunda época proporcionou melhores condições para a cultura desenvolver seu potencial. Conclui-se que a cultivar Uruguaiana tem melhor qualidade de raízes tuberosas, produzindo raízes com maior rendimento de matéria seca e amido. A segunda época proporcionou produção de raízes tuberosas com maior qualidade. As doses de fósforo entre 50 e 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ é o suficiente para proporcionar produção de raízes de boa qualidade.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*, fósforo, nutrição mineral.

Abstract

Phosphorus is an essential element in energy transfer processes and is considered one of the main limiting factors for plant growth. The objective of this work was to evaluate the effects of phosphate fertilization applied on the cultivation of two sweet potato cultivars in two planting seasons on the chemical composition of the roots. The experiments were conducted under field conditions. The experimental design was a

randomized complete block design, in a 2 x 5 x 2 factorial scheme, with four replications. The treatments were represented by two sweet potato cultivars (Canadense and Uruguaiana); five doses of P₂O₅ (0, 50, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹) and two growing seasons (first season: March to October and second season: October to April). Phosphorus effect was observed for most of the studied characteristics, except for total sugars and humidity, where phosphorus did not influence the contents of these variables in the tuberous roots. Uruguaiana cultivar presented the highest dry matter, starch and sugars contents. Regarding the epoch, it was evident that the second epoch provided better conditions for culture to develop its potential. It was concluded that the cultivar Uruguaiana has better quality of tuberous roots, producing roots with higher yield of dry matter and starch. The second season provided higher quality tuberous root production. Phosphorus doses between 50 and 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ is sufficient to provide good quality root production.

Keywords: *Ipomoea batatas*, phosphorus, mineral nutrition.

2.1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) pertence à família *Convolvulacea* e tem sido classificada como uma das culturas alimentares mais importantes mundialmente, após o arroz, trigo, batata, milho e mandioca (WOOLFEE, 1992, SHEKHAR et al., 2015).

Dados de produção mundial mostram a presença dessa cultura em todos os continentes, com a maior produção agrícola no continente asiático, sendo a China o maior produtor mundial (71,7 milhões de toneladas). Nas Américas os EUA é o maior produtor (1,61 milhões de toneladas), apresentando aumento de 50,69% nos últimos 10 anos. O Brasil é o segundo maior produtor (776,28 mil toneladas) nas Américas, com produções mais expressivas da cultura nas regiões Sul e Sudeste (FAO, 2019, IBGE, 2019).

O aumento considerável da produção agrícola da batata-doce em algumas regiões do mundo (principalmente na África) deve-se a sua composição química, o que a posiciona como cultura de importância mundial para a segurança alimentar e nutricional e fonte de energia renovável (FAO, 2019; LEE et al., 2012).

As raízes, caules e folhas da batata-doce são partes comestíveis da planta e que apresentam composição variada de nutrientes. Carboidratos bioativos, proteínas,

lipídios, carotenóides, antocianinas, ácidos fenólicos e minerais estão presentes em diferentes partes da planta. Esta composição torna a batata-doce uma planta com capacidade de proporcionar vários benefícios para a saúde, tais como ação antioxidante, hepatoprotetora, antiinflamatória, antitumoral, antidiabética, antimicrobiana, antiobesidade, e com efeito antienvhecimento (WANG et al., 2016, AKOETHEY et al., 2017).

As raízes são a parte comercial mais importante da cultura e apresentam variações de 18 a 37% de matéria seca, das quais os carboidratos são a principal fração. Além da diversidade genética, composições químicas variáveis nas raízes são atribuídas às condições de cultivo, condições de colheita e pós-colheita, bem como, métodos analíticos aplicados nas análises (WANG et al., 2016).

A ampliação da produção agrícola da batata-doce no Brasil é dependente de melhorias nos rendimentos agrícolas, o que proporciona a produção em larga escala e a ampliação da comercialização como matéria-prima industrial.

Na produção agrícola intensiva, tem sido dado ênfase para o aumento da produtividade com aplicação mínima de fertilizantes. Para isto, as plantas devem apresentar eficiência de absorção e de utilização. Apesar do grande potencial da batata-doce para o atendimento aos princípios da produção agrícola sustentável, o rendimento médio da cultura no Brasil é baixo, devido à baixa fertilidade dos solos, e ao pouco investimento em tecnologias (RÓS et al., 2015).

Dos nutrientes, o fósforo é um elemento crítico nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento da planta de batata-doce. À medida que os tubérculos de batata-doce começam a tuberizar na fase inicial de crescimento (cerca de 40 dias após o plantio), ocorre por um longo período de tempo o crescimento em paralelo da parte aérea. Assim, considera-se que a parte aérea pode competir com os tubérculos por fotoassimilados e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, durante a maior parte do período de crescimento da planta. Além disso, como o fósforo é um elemento essencial nos processos de transferência de energia, formação de gordura, transformação do amido em açúcar, floração e frutificação, ele é considerado um dos principais fatores limitantes de crescimento (BAILEY et. al., 2009, KAREEM, 2013, COSTA CRUZ et al., 2016).

Somada a importância do fósforo na planta, o acúmulo de fósforo nas raízes é bastante interessante sob o aspecto da nutrição humana, pois na composição de uma dieta o fósforo é obtido principalmente das fontes de proteína animal, o que é limitante

por diversos aspectos econômicos e culturais para uma parcela importante da população. O fósforo é um nutriente essencial na saúde humana e tem uma variedade de papéis fisiológicos, pois tem a função de tamponar sistemas ácidos ou alcalinos, auxiliando na manutenção do pH, no armazenamento temporário de energia derivada do metabolismo de macronutrientes, na forma de adenosina trifosfato (ATP), sendo responsável pela ativação através da fosforilação de várias cascatas enzimáticas (VORLAND et al., 2017).

Frente ao exposto, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação fosfatada aplicada no cultivo de dois cultivares de batata-doce em duas épocas de plantio sobre a composição química das raízes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização da área experimental

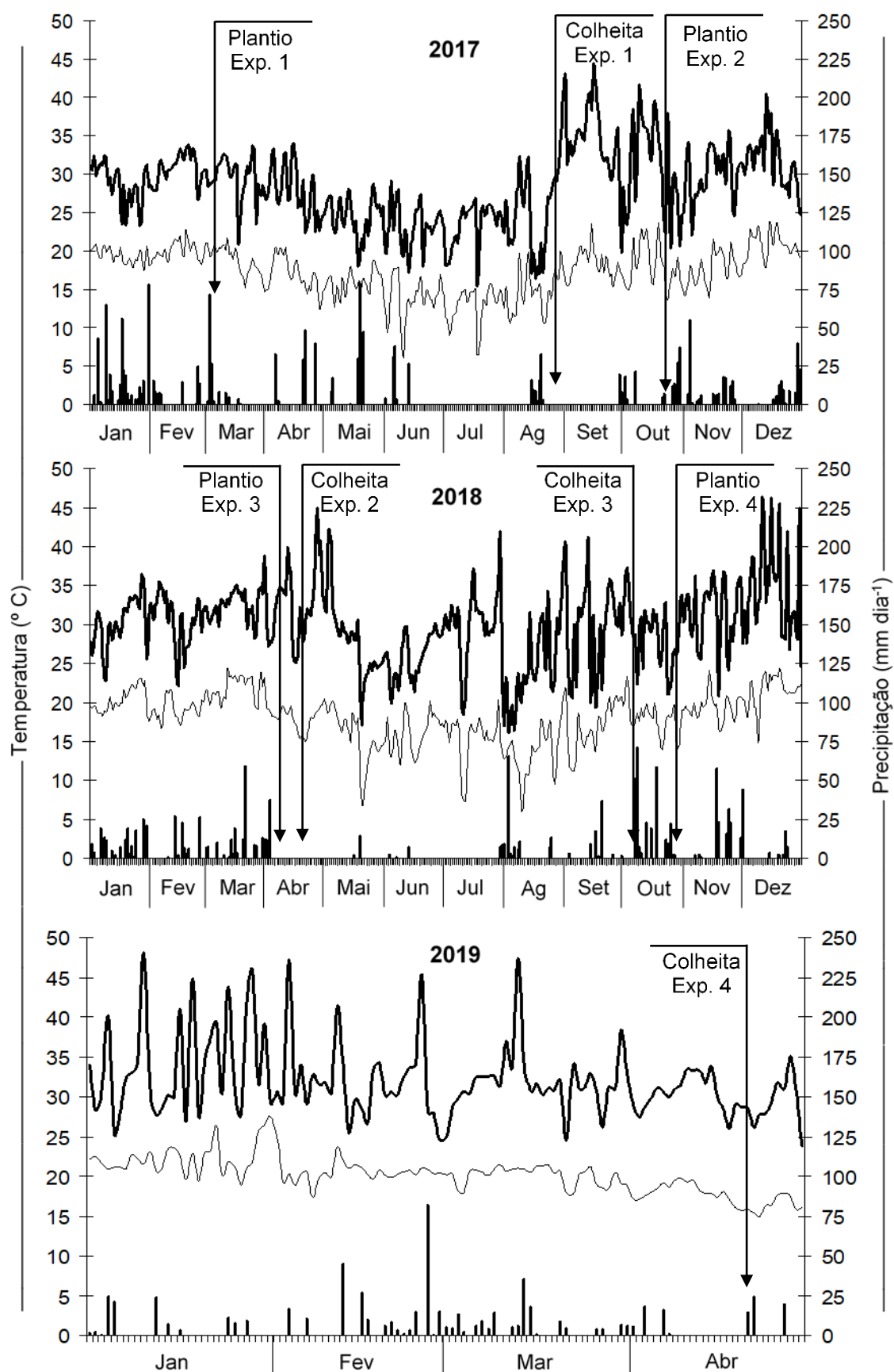
Os experimentos foram conduzidos em condições de campo, em área experimental do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), localizada na Fazenda Experimental de São Manuel - UNESP, no município de São Manuel - SP (22° 77' S; 48° 34' W e 740 m de altitude). O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa, que se caracteriza como tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso. O solo do local é classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa (SANTOS H et al., 2006).

Foram conduzidos quatro experimentos, em anos e épocas diferentes, sendo dois em 2017/18 e dois em 2018/19. As duas épocas em 2017/18 compreendem os períodos de março a setembro de 2017 (1ª época); e outubro de 2017 a maio de 2018 (2ª época). Em 2018/19 os períodos foram: março a setembro de 2018 (1ª época); e outubro de 2018 a maio de 2019 (2ª época). Na tabela 1 estão descritas as datas de plantio, adubação de cobertura, coleta de folha diagnose e colheita dos experimentos.

Tabela 11 – Datas das atividades realizadas nos quatro experimentos que foram realizados

| Atividades | Anos | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2017/18 | | 2018/19 | |
| | 1ª época Exp. 1 | 2ª época Exp. 2 | 1ª época Exp. 3 | 2ª época Exp. 4 |
| | (Data) | | | |
| Plantio | 05/03/2017 | 21/10/2017 | 11/04/2018 | 30/10/2018 |
| Adubação de cobertura | 07/04/2017 | 21/11/2017 | 09/05/2018 | 03/12/2018 |
| Coleta de folha diagnose | 05/05/2017 | 22/12/2017 | 12/06/2018 | 03/01/2019 |
| Colheita | 24/08/2017 | 20/04/2018 | 05/10/2018 | 22/04/2019 |

Figura 9 – (■) Precipitação pluvial, (—) temperaturas máxima e (—) mínima do ar registrados na área dos experimentos nos anos de 2017, 2018 e 2019. São Manuel, SP. Exp.: experimento



2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi o de blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 20 tratamentos. Os fatores consistiram em: duas cultivares de batata-doce (Canadense e Uruguaiana); cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹); e duas épocas de cultivo (primeira época: março a outubro e segunda época: outubro a abril).

As parcelas experimentais foram compostas por quatro fileiras de plantas de cinco metros de comprimento, espaçadas em 1,00 metro entre fileiras e 0,30 m entre plantas. Considerou-se como área útil da parcela as duas fileiras centrais de plantas, desconsiderando 0,50 m nas extremidades de cada fileira.

2.2.3 Caracterização das cultivares utilizadas

2.2.3.1 Cultivar Canadense

A batata-doce 'Canadense' (ou 'Londrina') é a principal cultivar utilizada pelos produtores da região de Presidente Prudente, que é a principal região produtora de batata-doce do Estado de São Paulo (GOLLA et al., 2010; YONEYA, 2013). A cultivar Canadense apresenta película externa rosada e polpa branca. O formato da raiz tuberosa é alongado, uniforme e possui boa aceitação comercial, tanto industrial como para a mesa. O ciclo é considerado médio (150 a 180 dias) quando o plantio ocorre de setembro a fevereiro e longo (180 a 220 dias) nas demais épocas do ano (GOLLA et al., 2010).

2.2.3.2 Cultivar Uruguaiana

A cultivar Uruguaiana apresenta película externa roxa e polpa de cor amarela, formato ovoide, muito comercializada no âmbito industrial. Por ter polpa mais seca e menos doce que a Canadense, possui baixa aceitação culinária. Apresenta ciclo médio de produção, de 150 a 180 dias, podendo ser precoce (120 dias) quando plantada nos meses mais quentes, de setembro a fevereiro (GOLLA et al., 2010).

2.2.4 Instalação e condução dos experimentos

Nos dois anos, antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm. Determinou-se as características químicas dos solos (Quadro 2), de acordo com a metodologia descrita por Raj et al. (2001).

Tabela 12 - Atributos químicos dos solos na profundidade de 0-0,20 m das áreas dos experimentos

| Atributos | 2017/18 | | 2018/19 | |
|--|-------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1ª época | 2ª época | 1ª época | 2ª época |
| | Experimento | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| pH (CaCl ₂) | 4,8 | 5,0 | 5,1 | 5,2 |
| M.O. (g dm ⁻³) | 13,0 | 14,0 | 17,0 | 21,0 |
| P _{resina} (mg dm ⁻³) | 12,0 | 13,0 | 5,0 | 13,0 |
| K (mmol _c dm ⁻³) | 2,90 | 1,19 | 0,91 | 0,57 |
| Ca (mmol _c dm ⁻³) | 11,0 | 6,0 | 10,0 | 9,0 |
| Mg (mmol _c dm ⁻³) | 4,0 | 4,0 | 6,0 | 6,0 |
| H+Al (mmol _c dm ⁻³) | 26,0 | 11,0 | 15,0 | 13,0 |
| CTC (mmol _c dm ⁻³) | 43,0 | 22,0 | 32,0 | 29,0 |
| V% | 41,0 | 49,0 | 52,0 | 54,0 |
| B (mg dm ⁻³) | 0,10 | 0,17 | 0,12 | 0,07 |
| Cu (mg dm ⁻³) | 1,0 | 0,40 | 1,0 | 1,0 |
| Fe (mg dm ⁻³) | 30,0 | 11,0 | 26,0 | 33,0 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 15,2 | 5,4 | 16,3 | 14,0 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 1,5 | 1,3 | 1,9 | 1,1 |

O preparo do solo foi realizado com as seguintes operações em série: uma aração e uma gradagem. Posteriormente foram levantadas leiras de aproximadamente 30 cm de altura, de forma mecanizada.

A adubação de plantio com potássio (K) foi realizada com base na análise de solo e nas recomendações de Lorenzi et al. (1997), adubação de plantio com nitrogênio (N) nas recomendações de Lorenzi et al. (1997) separadamente para cada um dos quatro experimentos que foram conduzidos. No Quadro 3 encontram-se as quantidades de N e K que foram aplicados no plantio. Como fontes de N e K foram empregados os fertilizantes sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. Na adubação de plantio, os adubos foram distribuídos a 15 cm de profundidade em sulco contínuo, abertos no topo dos canteiros; na adubação de cobertura, foram distribuídos cerca de 10 cm ao lado das fileiras de plantas.

Tabela 13 – Quantidade de nitrogênio e potássio que foram aplicados na adubação de plantio dos experimentos

| Nutriente | Ano | | | |
|------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2017/18 | | 2018/19 | |
| | 1ª época Exp. 1 | 2ª época Exp. 2 | 1ª época Exp. 3 | 2ª época Exp. 4 |
| | (kg ha ⁻¹) | | | |
| Nitrogênio | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Potássio | 60 | 90 | 90 | 120 |

O fósforo também foi aplicado no plantio, de acordo com as doses de P_2O_5 descritas anteriormente, utilizando como fonte o superfosfato triplo. A adubação de cobertura foi realizada de acordo com o recomendado por Lorenzi et al. (1997), aplicando-se 30 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, aproximadamente aos 30 dias após o plantio (DAP).

As ramas das duas cultivares foram retiradas de plantio jovem e cortadas com um dia de antecedência ao plantio, e seccionadas em pedaços de aproximadamente 40 cm de comprimento, contendo em média oito entrenós. As ramas foram enterradas manualmente, sempre pela base, na profundidade de 10 a 12 cm.

O manejo fitossanitário das plantas foi realizado sempre que necessário, através de aplicações preventivas e corretivas de defensivos agrícolas. Sempre foram utilizados produtos recomendados para a cultura.

2.2.5 Avaliações: Composição físico-química das raízes tuberosas

2.2.5.1 Matéria Graxa

Para o teor de matéria graxa, foram utilizadas três repetições de aproximadamente 3 g de cada amostra e realizadas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, seguindo a metodologia da AOAC (2005). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.2 Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, conteúdo que representa o total de sais minerais na amostra (substâncias não voláteis até $550 \text{ }^\circ\text{C}$), utilizou três repetições de aproximadamente 3 g de amostra submetida em mufla a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas até a calcinação completa. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2005). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.3 Fibras

A fibra total foi obtida por hidrólise ácida (H_2SO_4 1,25 %) seguida de hidrólise alcalina (NaOH 1,25 %). Para determinação foram utilizadas 3 g de amostra processadas em digestor de fibras, obedecendo à metodologia proposta pela AACCI (2016). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.4 Proteína

Para o teor de proteína bruta, que representa o conteúdo total de protídeos na amostra, foram utilizadas três repetições de aproximadamente 200 mg de amostra, as quais foram submetidas em bloco digestor de proteína e posteriormente a destilação (Micro-Kjeldahl), seguindo a metodologia da AOAC (2005), cujo fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta foi de 6,25. Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.5 Açúcares redutores

Para determinar o teor de açúcares redutores, que representa o conteúdo total de açúcares livres na amostra, utilizou triplicata de aproximadamente 1 g de cada amostra em erlenmeyer de 125 mL. Em seguida foi acrescentado 50 mL de água destilada e aquecidos em banho-maria à temperatura de 65 °C durante 30 minutos, com agitação constante. Após esse procedimento, foi esfriado até a obtenção da temperatura ambiente e transferida para um balão volumétrico de 100 mL, no qual foi completado seu volume com água destilada. Após a homogeneização, foi filtrado em filtro de papel e determinado os açúcares redutores seguindo o método de Somogy (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.6 Açúcares totais

Para determinar o teor de açúcares totais, que representa o conteúdo total de açúcares redutores, mais a sacarose e outros possíveis açúcares solúveis presentes na amostra, foram utilizadas três repetições de aproximadamente 500 mg de cada amostra. Foram colocadas em um erlenmeyer de 250 mL onde acrescentou 30 mL de etanol absoluto P.A. e 30 ml de água destilada, levando ao banho-maria com temperatura entre 60-65 °C por 1 hora. Em seguida, acrescentou-se 1mL de HCl P.A. concentrado e posteriormente agitou, retornando ao banho-maria por mais 1 hora na mesma faixa de temperatura, em seguida determinou-se os açúcares totais seguindo o método proposto por Somogy (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

2.2.5.7 Amido

A determinação do amido foi realizada pelo método enzimático. Após a passagem pela peneira de abertura de 0,180 mm, amostras de aproximadamente 200 mg foram

colocadas em erlenmeyers, em seguida acrescentou 42 mL de água destilada e 100 μ L de solução comercial da enzima liquozyme (Supra 2.2 x, Novozymes). Logo, foi agitada suavemente em banho-maria à temperatura de 90 °C, durante 120 minutos, acompanhada de uma prova em branco. Em seguida adicionou 100 μ L de solução comercial da enzima amiloglicosidae (AMG 300L, Novozymes), e agitada suavemente em banho-maria à temperatura de 60 °C, durante 120 minutos. Após essas etapas, a solução foi filtrada em papel simples e no material filtrado foi dosado o teor de açúcares redutores, seguindo a metodologia descrita por Somogy (1945) e Nelson (1944) e AOAC (2005), utilizando o fator de conversão de 0,9, os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.2.5.8 Umidade

A porcentagem de umidade foi determinada utilizando três repetições de aproximadamente 3 g de cada amostra e secas em estufa a 105 °C até a obtenção de peso constante. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e novamente pesadas, seguindo o método da AOAC (2005).

2.2.5.9 Cor

Para determinação da cor das raízes in natura foi utilizado o colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing). As coordenadas utilizadas foram “L” [indicando a luminosidade (valor zero para cor preta e 100 para cor branca)], “a” [indicando a faixa que é de verde (-60) até vermelho (+60)] e “b” [indicando a faixa que é de azul (-60) até amarelo (+60)]. Após a calibração do equipamento, procedeu a leitura da cor da polpa das raízes e os resultados foram expressos como média de 2 leituras para cada repetição.

2.2.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada considerando-se os valores médios entre os anos estudados. Os dados foram submetidos a análise de variância e testou-se a significância de F ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste t (DMS, $p < 0,05$) para os fatores qualitativos (cultivares e épocas de cultivo) e regressão para o fator quantitativo (doses de fósforo). Na análise de regressão, a escolha do modelo foi definida com base na magnitude dos coeficientes significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de matéria graxa nas raízes tuberosas não foi influenciado pela interação dos fatores estudados, mas houve efeito isolado de cultivares e de doses de fósforo (Tabela 14). Em média a cultivar Uruguaiana resultou em teor de matéria graxa 38% mais elevado quando comparado com a cultivar Canadense. O incremento nas doses de fósforo reduziu o teor de matéria graxa em cerca de 34% até a dose máxima estimada de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 10A). Os teores de matéria graxa obtidos pelas cultivares estudadas ficam próximos dos teores obtidos por Daron et. al. (2017), trabalhando com caracterização físico química da farinha de diferentes cultivares de batata-doce, encontraram teor de 0,222 g 100g⁻¹ para a cultivar BRS Beaugard. Quando comparado com os resultados obtidos por Leonel et. al. (1998), os teores obtidos neste trabalho estão mais elevados. Segundo Andrade e Martins, (2002), materiais com baixo teor de matéria graxa apresentam maior dissolução no meio utilizado, qualificando o material como matéria-prima de melhor qualidade, assim sendo a cultivar canadense se mostra uma melhor matéria prima, quando se leva em consideração esse parâmetro.

Tabela 14 – Teores de matéria graxa, cinzas, fibras e proteína, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

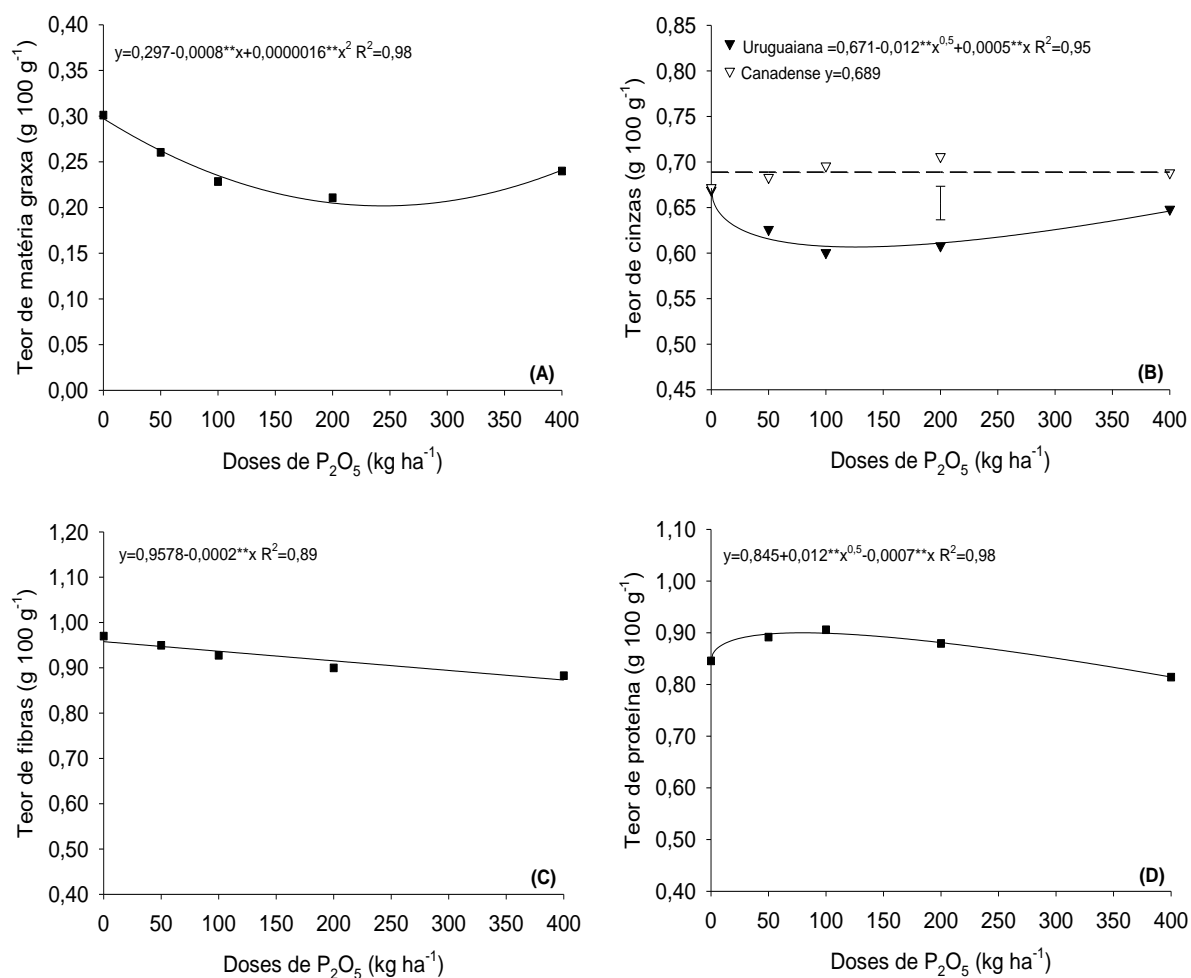
| Tratamentos | Matéria graxa | (g 100 g ⁻¹) | | |
|--------------|----------------------|--------------------------|--------|----------|
| | | Cinzas | Fibras | Proteína |
| Uruguaiana | 0,288a | 0,630b | 1,099a | 0,808b |
| Canadense | 0,208b | 0,689a | 0,753b | 0,927a |
| Época | | | | |
| Primeira | 0,247a | 0,591b | 0,764b | 0,857a |
| Segunda | 0,249a | 0,729a | 1,088a | 0,878a |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | ns | <0,001 | <0,001 | ns |
| C × E | ns | ns | ns | ns |
| Doses (D) | <0,001 | 0,003 | 0,013 | <0,001 |
| C × D | ns | 0,002 | ns | ns |
| E × D | ns | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 9,4 | 5,6 | 8,3 | 6,7 |

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Constatou-se interações significativas apenas entre os fatores cultivares e doses de fósforo para o teor de cinzas nas raízes tuberosas (Tabela 14). De forma isolada, a época de cultivo também influenciou esta variável. A segunda época foi superior, resultando em teor de cinzas 23% maior em relação a primeira. Para a cultivar

Uruguaiana, o incremento nas doses de fósforo reduziu 12% o teor de cinzas até a dose máxima estimada de 219 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto o incremento nas doses de fósforo não influenciou o teor de cinzas para a cultivar Canadense. A cultivar Canadense apresentou maior teor de cinzas em relação a cultivar Uruguaiana nas condições estudadas, exceto para as doses de 0 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 10B).

Figura 10 – Teores de matéria graxa (A), cinzas (B), fibras (C) e proteína (D), de cultivares de batata, afetadas por doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Observou-se que o teor de fibras das raízes tuberosas não foi influenciado pela interação dos fatores estudados, houve efeito isolado de cultivares, época de cultivo e doses de fósforo (Tabela 14). A cultivar Uruguaiana foi superior a Canadense, resultando em teor de fibras 46% mais elevado. Na segunda época houve

superioridade de 42% no teor de fibras quando comparado com a primeira época (Tabela 14). O aumento nas doses de fósforo diminuiu linearmente o teor de fibras nas raízes tuberosas, reduzindo aproximadamente 8% o teor de fibras até a dose máxima de P_2O_5 (Figura 10C). Os teores de fibras encontrados neste trabalho são inferiores aos encontrados por Leonel e Cereda (2002), porém vale ressaltar que existe diferença no teor de fibras quando se trabalha com diferentes cultivares, como foi possível observar nesse trabalho.

O teor de proteína nas raízes tuberosas não foi influenciado pela interação dos fatores estudados, mas houve efeito isolado de cultivares e doses de fósforo (Tabela 14). A cultivar Canadense resultou em teor de proteína 15% maior quando comparado a cultivar Uruguaiana. O incremento das doses de fósforo aumentou o teor de proteína em cerca de 5% até a dose máxima estimada de 156 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 10D). Corrêa et. al (2015), avaliando características qualitativas de raízes de batata doce obteve resposta similar quanto ao teor de proteína nas raízes tuberosas.

Constataram-se interações significativas apenas entre os fatores cultivares e doses de fósforo para o teor de açúcares redutores e para amido nas raízes tuberosas (Tabela 15). De forma isolada, a época de cultivo também influenciou estas variáveis. Para as variáveis açúcares totais e umidade não houve interação dos fatores estudados, havendo apenas efeito isolado de cultivares e época de cultivo.

Tabela 15 – Teores de açúcares redutores, açúcares solúveis totais e amido; e umidade, de raízes tuberosas de batata-doce, em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Tratamentos | Açúcares redutores | Açúcares totais | Amido | | Umidade |
|--------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--|---------|
| | | | (g 100 g ⁻¹) | | |
| Uruguaiana | 1,75a | 4,01a | 18,70a | | 76,08b |
| Canadense | 0,62b | 2,23b | 17,27b | | 79,11a |
| Época | | | | | |
| Primeira | 0,83b | 3,08b | 17,57b | | 80,05a |
| Segunda | 1,54a | 3,20a | 18,41a | | 75,13b |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | 0,024 | <0,001 | | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns | | ns |
| Doses (D) | 0,007 | ns | <0,001 | | ns |
| C × D | <0,001 | ns | <0,001 | | ns |
| E × D | ns | ns | ns | | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns | | ns |
| CV (%) | 8,0 | 5,3 | 3,4 | | 1,9 |

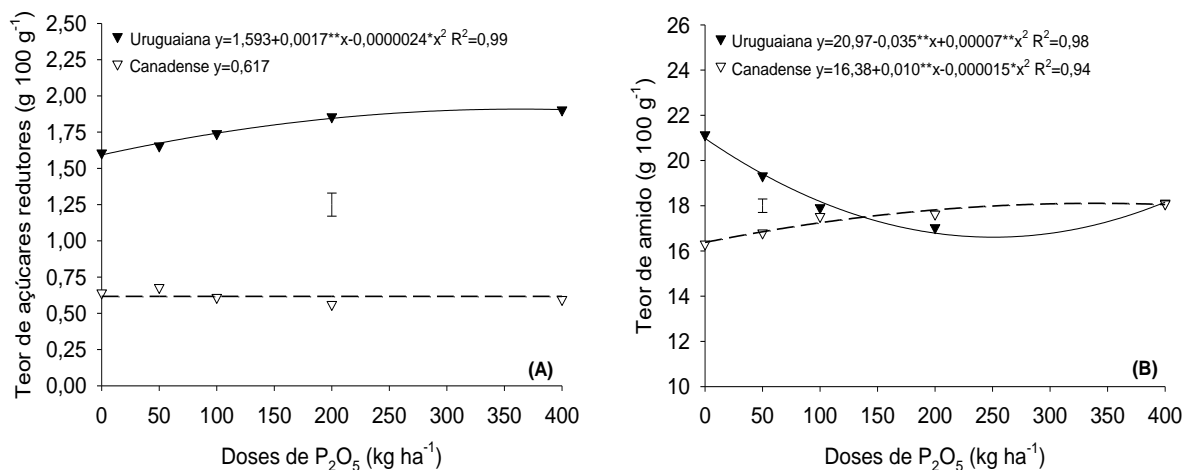
Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Observou-se que para os teores de açúcares redutores e amido nas raízes tuberosas, a segunda época proporcionou teores superiores em relação a primeira época, onde para o teor de açúcares totais essa superioridade foi de 85%, e para amido 5%. Solano Mendoza (2017), trabalhando com acessos de batata-doce procedentes de comunidades quilombolas, com obteve entre 17 e 25 g 100g⁻¹ de amido em raízes de batata doce, teores próximos aos encontrados nesse trabalho. Leonel e Cereda (2002), caracterizando tuberosas amiláceas, encontrou teor 14,7 g 100g⁻¹, valores inferiores aos encontrados nesse estudo.

A cultivar Uruguaiana apresentou maior teor de açúcares totais em relação a Canadense, sendo 80% superior, para o teor de umidade houve efeito contrário, onde a cultivar Uruguaiana foi 4% inferior a Canadense, indicando maior teor de matéria seca para a cultivar Uruguaiana, importante característica quando se produz batata-doce para a indústria, pois maior será seu rendimento. Segundo Rós (2017), a matéria seca é a característica que determina o maior ou menor rendimento industrial das raízes, por estar diretamente relacionada aos diversos produtos derivados da batata-doce. Martins et al. (2012) avaliaram a variabilidade fenotípica e a divergência genética entre 50 clones de batata-doce e os teores de MS encontrados nas raízes tuberosas variam de 24,53 a 37,53%. Segundo os mesmos quanto maior a porcentagem de MS nas raízes maior será o rendimento de amido.

Para as épocas de cultivo, verificou-se que para o teor de açúcares totais a segunda época foi favorável, pois apresentou teores 4% superior em relação a primeira. Para o teor de umidade houve efeito contrário, onde a segunda época foi 6% inferior a primeira (Tabela 15).

Figura 11 – Teor de açúcares redutores (A) e amido (B) em raízes tuberosas de batata-doce, afetadas por cultivares e doses de fósforo. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



As doses de fósforo proporcionaram aumento de aproximadamente 19% no teor de açúcares redutores até a dose máxima estimada de 354 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a cultivar Uruguaiiana, enquanto a cultivar Canadense não foi influenciada pelo incremento nas doses de fósforo (Figura 11A). Em média a cultivar Uruguaiiana foi 182% superior a Canadense (Tabela 15).

Figueiredo (2019), encontrou teores similares de açúcares redutores e açúcares totais aos encontrados neste trabalho, enquanto Corrêa (2016), obteve teores mais elevados em relação ao teor de açúcares redutores em raízes de batata-doce.

Na avaliação de cor da casca das raízes tuberosas, houve interação entre época de cultivo e doses de fósforo apenas para o parâmetro b* (Cromaticidade), o qual também foi influenciado pelo efeito isolado de cultivares (Tabela 16)

Para os parâmetros L* (Luminosidade) e a* (Cromaticidade), verificou-se que não houve interação entre os fatores estudados, o parâmetro a* foi influenciado apenas pelo efeito isolado de época de cultivo, onde a segunda época foi superior em 0,87 unidades em relação a primeira; o parâmetro L* foi influenciado pelo efeito isolado de cultivares, época de cultivo e doses de fósforo (Tabela 16). Comparando as cultivares Uruguaiiana e Canadense, a cor da casca das raízes da cultivar Canadense resultou em valores superiores de L*, o que indica que esta cultivar produziu raízes com a cor da casca mais próxima do branco do que do preto. Em uma escala de 0 a 100, significa que quanto mais próximo do 100, mais claro será o material. A maior luminosidade observada na cultivar canadense também pode ter sido influenciada pelo aumento do

parâmetro b^* , ou seja, quanto mais alto o valor de b^* , maior é a tonalidade de amarelo (Figura 12). Observa-se o mesmo comportamento para época de cultivo, onde a primeira época apresentou maiores valores para L^* e b^* (Tabela 16).

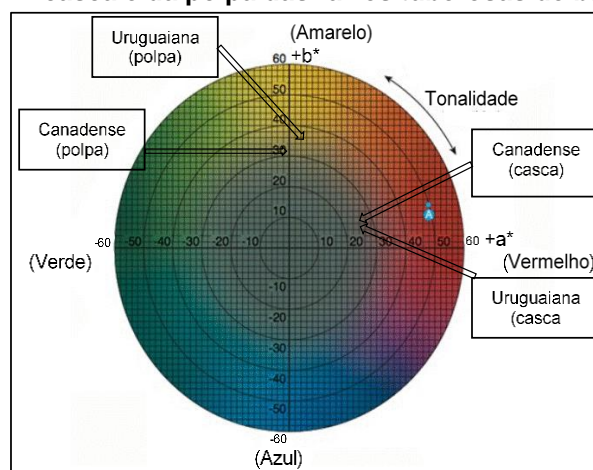
Tabela 16 – Parâmetros L^* , a^* e b^* para cor da casca e da polpa de raízes tuberosas de batata-doce em função da cultivar, época de cultivo e doses de fósforo. São Manuel, SP, 2017, 2018 e 2019

| Tratamentos | Parâmetros de cor das raízes tuberosas | | | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Casca | | | Polpa | | |
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* |
| Cultivar | | | | | | |
| Uruguaiana | 36,15b | 23,71a | 7,56b | 81,48b | 6,66a | 33,71a |
| Canadense | 39,39a | 24,16a | 8,47a | 86,04a | -2,10b | 28,57b |
| Época | | | | | | |
| Primeira | 40,28a | 23,50b | 9,09a | 85,98a | 2,07b | 33,13a |
| Segunda | 35,26b | 24,37a | 6,94b | 81,55b | 2,50a | 29,15b |
| ANOVA | (Probabilidade de F) | | | | | |
| Cultivar (C) | <0,001 | ns | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Época (E) | <0,001 | 0,007 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| C × E | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Doses (D) | <0,001 | ns | 0,021 | ns | <0,001 | ns |
| C × D | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| E × D | ns | ns | <0,001 | ns | ns | ns |
| C × E × D | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 3,3 | 5,8 | 9,5 | 1,4 | 20,6 | 3,2 |

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Em relação aos efeitos isolados de doses de fósforo que foram observados para a cor da casca das raízes tuberosas, verificou-se que o incremento nas doses de fósforo aumentou os valores de L^* em 1,75 unidades até a dose máxima estimada de 52 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 12A).

Figura 12 – Diagrama de cromaticidade para interpretação dos parâmetros a^* e b^* de cor da casca e da polpa das raízes tuberosas de batata-doce

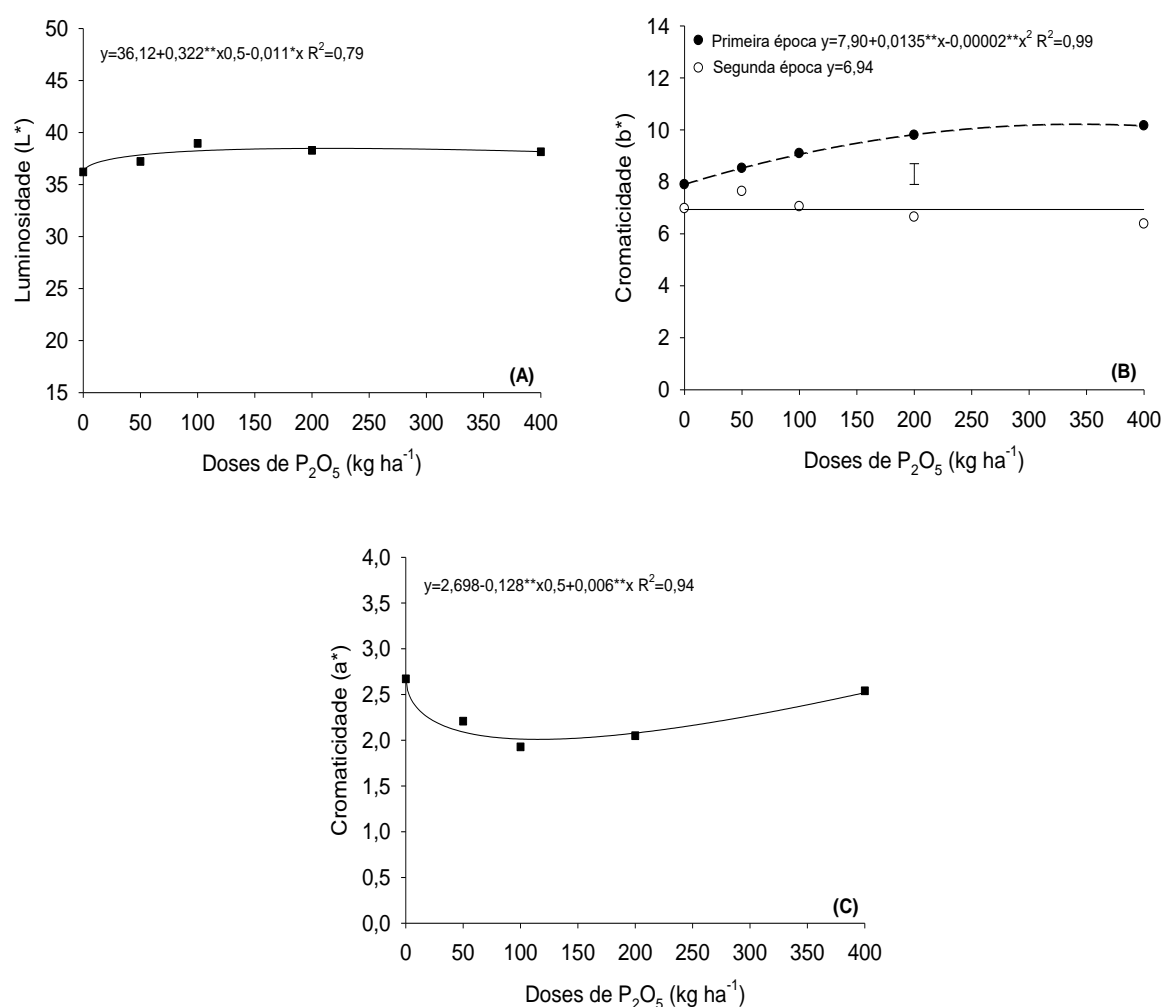


Fonte: Adaptado de Konica Minolta (1998).

O desdobramento dos resultados da interação épocas de cultivo e doses de fósforo para o parâmetro b^* de cor das cascas de raízes tuberosa, mostra que apenas na primeira época o incremento das doses de fósforo resultou em aumento de 2,3 unidades até a dose máxima estimada de 337 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que para segunda época o incremento das doses de fósforo não influenciou esse parâmetro (Figura 13B).

Na avaliação de cor da polpa das raízes tuberosas, não houve interação entre os fatores estudados, houve apenas efeito isolado de cultivares e época de cultivo para os parâmetros L^* , a^* e b^* , para o parâmetro a^* observou-se também o efeito isolado de doses de fósforo (Tabela 16).

Figura 13 – Parâmetros de cor da casca das raízes tuberosas de batata-doce: luminosidade (L^*) (A) afetada por doses de fósforo e cromaticidade (b^*) (B) afetada por épocas de cultivo e doses de fósforo; parâmetro de cor da polpa das raízes tuberosas de batata-doce: cromaticidade (a^*) (C) afetada por doses de fósforo. (■) quadrado representa valores médios das duas cultivares e das duas épocas. Barra vertical na área da figura indica o valor de DMS pelo teste t (DMS, $p < 0,05$). * e **, respectivamente, são significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t



Para o parâmetro L^* observa-se que a cultivar Canadense apresentou valores mais elevados em relação a Uruguaiana, dentro das épocas de cultivo, a primeira época foi a que apresentou maiores valores para o parâmetro L^* (Tabela 16).

Para o parâmetro a^* observa-se que a cultivar Uruguaiana apresentou valores maiores em relação a Canadense, dentro das épocas de cultivo, a segunda época foi a que apresentou maiores valores para o parâmetro a^* . O incremento das doses de fósforo em diminuição dos valores de a^* , reduzindo cerca de 0,63 unidades até a dose máxima estimada de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 13C).

Para o parâmetro b^* constatou-se que a cultivar Uruguaiana apresentou maiores valores de b^* em comparação com a Canadense, para as épocas observa-se que na primeira época os valores de b^* obtidos foram superiores aos da segunda época (Tabela 16).

2.4 CONCLUSÕES

Uruguaiana tem melhor qualidade de raízes tuberosas. A segunda época proporcionou produção de raízes tuberosas com melhor qualidade. As doses de fósforo 50 a $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ são suficientes para proporcionar melhor qualidade de raízes tuberosas.

REFERÊNCIAS

AKOETEY, W. BRITAIN, M.M., MORAWICKI, R.O. Potential use of byproducts from cultivation and processing of sweet potatoes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47: 05, 2017.

Andrade, R.L.P.; Martins, J.F.P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.3, p.249-253, 2002.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 18. th. edition, Gaithersburg, 3000 p., 2005.

BAILEY, J.S., RAMAKRISHNA, A., KIRCHHOF, G. 2009. An evaluation of nutritional constraints on sweet potato (*Ipomoea batatas*) production in the central highlands of Papua New Guinea. **Plant and soil**, v.316, p.97-105.

CORRÊA, C. V; GOUVEIA, A. M. S.; MORENO, L. A.; TAVARES, A. E.B.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A. I. I.; Características qualitativas de raízes de batata-doce em função da época de colheita e do período de armazenamento. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 11, n. 1, p. 08-16, 2015.

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

DARON, T. C.; DOLL HOJO, E. T.; SILVA, S. Z. Caracterização físico química da farinha biofortificada de diferentes cultivares de batata-doce em Cascavel, Paraná. **Revista Cultivando o Saber**, p.11-20, 2017.

FAO. Agricultural data **FAOSTAT**. Food and Agriculture Organization of the United nations, Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 12 de junho de 2019.

FIGUEIREDO, R. T. **Manejo da adubação potássica na cultura da batata-doce**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Horticultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2019.

GOLLA, A. R. et al. Multiplicação de material vegetativo de batata-doce em diferentes bandejas e produção de raízes. **Pesquisa & Tecnologia**, v.7, n.1, 7p. 2010.

HERMANS, C., HAMMOND, J.P., WHITE, P.J., VERBRUGGEN, N., 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, v.11, p.610-617.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 12 de junho de 2017

LEE W, CHEN I, CHANG C AND YANG S. 2012. Bioethanol production from sweet potato by co-immobilization of saccharolytic molds and *Saccharomyces cerevisiae*. **Renew Energy**, v.39, p.216-222.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol.18, n.3, p.343-345, 1998.

LEONEL, M; CEREDA, M.P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n., p.65-69, 2002.

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

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

SOLANO MENDOZA, J. D.; **Produtividade e características físico-químicas de acessos de batata-doce procedentes de comunidades quilombolas do Vale do Ribeira /SP**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Horticultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. 1995. 94p. (Coleção Plantar).

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v.153, n.2, p. 375-380, 1944.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, Campinas: IAC, 285 p. 2001.

SANTOS, J.F.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; BRITO, C. H.; NÓBREGA, J. P. R. Produção de batata-doce adubada com esterco bovino em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 103-106, 2006.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Cultura da batata-doce. In: Cereda, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002

SOMOGYI, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, **Baltimore**, v. 160, p. 69-73, 1945.

VORLAND, C.J., STREMKE, E.R., MOORTHI, R.N., GALLANT, K.M.H., 2017. Effects of excessive dietary phosphorus intake on bone health. **Current Osteoporosis**, v.15, p.473-482.

WANG, S.; NIE, S.; ZHU, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. **Food Research International**, V.89, p.90-116, 2016.

WOOLFE, J. **Sweet potato: an untapped food resource**. New York: Cambridge University, 660p., 1992.

YONEYA T, ISHIBASHI K, HIRONAKA K, YAMAMOTO K, Influence of cross-linked potato starch treated with POCI₃ on DSC, rheological properties and granule size. **Carbohydr Polym**, V.53, p.447-457, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultivar Canadense apresentou maior produtividade em relação a Uruguaiana, independentemente da época cultivada. Para ambas as cultivares, a segunda época de cultivo (época de cultivo entre os meses de outubro e abril) proporciona maior produtividade do que a primeira época de cultivo (época entre os meses de março a outubro).

A produtividade de raízes tuberosas da cultivar Canadense aumenta com o incremento das doses de fósforo, mas não ocorre o mesmo com a Uruguaiana.

Em solo de baixo teor de fósforo, doses do nutriente entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ são suficientes para promover o crescimento das plantas e aumentar a produtividade.

A cultivar Uruguaiana apresenta melhor qualidade de raízes tuberosa em relação a Canadense, apresentando maiores teores de matéria seca, amido e açúcares.

A segunda época de cultivo proporciona melhores condições para a cultura expressar melhor qualidade de raízes tuberosas, independentemente das cultivares.

As doses de fósforo interferem nas propriedades físico química das raízes tuberosas, porém cada variável responde a uma dose específica.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAZZAK, H. S.; MOUSSA, A. G.; EL-FATTAH, A.; EL-MORABET, G. A. Response of sweet potato to integrated effect of chemical and natural phosphorus fertilizer and their levels in combination with mycorrhizal inoculation. **Journal of Biological Sciences**, v.13, n. 3, p.112-122, 2013.
- BRITO, C. H.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, A. U.; DORNELES, C. S. M.; SANTOS, J. F.; NÓBREGA, J. P. R. Produtividade da batata-doce em função de doses de K₂O em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.320-323, 2006.
- BURRELL, M. M. Starch: the need for improved quality and quantity – an overview. **Journal of Experimental Botany**, v.54, p.451-456, 2003
- CAI, H., XIE, W., LIAN, X., 2013. Comparative analysis of differentially expressed genes in rice under nitrogen and phosphorus starvation stress conditions. **Plant Molecular Biology**, v. 31, p.160-173.
- COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M.C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.1527-1534, 2009.
- EL-SAYED, H.E.A.; EL-DEAN, A.S.; EZZAT, S.; EL-MORSY, A.H.A. Responses of productivity and quality of sweet potato to phosphorus fertilizer rates and application methods of the humic acid. **Research Journal Agricultural Science and Soil Science**, v.1, p.383-393, 2011.
- FAO. Agricultural data **FAOSTAT**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 12 de junho de 2019.
- HASSAN MA, EL-SEIFI SK, OMAR EA, SAIF EI-DEEN UM. Effect of mineral and bio-phosphate fertilization and foliar application of some micronutrients on growth, yield and quality of sweet potato (*Ipomoea batata*, L). 1- Vegetative growth, yield and tuber characteristics. **Journal of Agricultural Science Mansoura University**, v. 30 (10): p.6149-6166, 2005.
- HERMANS, C., HAMMOND, J.P., WHITE, P.J., VERBRUGGEN, N., 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, v.11, p.610-617.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal-2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 12 de junho de 2019.
- KAREEM, I. Growth, Yield and Phosphorus Uptake of Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Under the Influence Phosphorus Fertilizers. **Research Journal of Chemical and Environmental Sciences**, v.1, n.3, p.50-55, 2013.
- OLIVEIRA, A.P.; SILVA, J.E.L.; PEREIRA, W.E.; BARBOSA, L.J.N. Produção da batata-doce em função de doses de P₂O₅ em dois sistemas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.768-772, 2005.

OLIVEIRA, A.P.; MOURA, M.F.; NOGUEIRA, D.H.; CHAGAS, N.G.; BRAZ, M.S.S.; OLIVEIRA, M.R.T.; BARBOSA, J.A. Produção de raízes de batata-doce em função do uso de doses de N aplicadas no solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p.279-282, 2006.

RÓS, A. B.; FERNANDES, A. M.; MONTES, S. M. N. M.; FISCHER, I. H.; LEONEL, M.; FRANCO, C. M. L.. Batata-doce (*Ipomoea batatas*). In: Magali Leonel; Adalton Mazetti Fernandes; Célia Maria Landi Franco. (Org.). **Culturas amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa**. 1ed. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Centro de Raízes e Amidos Tropicais, 2015, v. 1, p. 15-120.

SANTANA, A.L., MEIRELES, M.A. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review. **Food and Public Health**, v. 4 (5), p.229-241, 2014

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Cultura da batata-doce. In: Cereda, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002.

SILVA, G. O.; SUINAGA, F. A.; PONIJALEKI, R.; AMARO, G. B. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 379-383, 2015.

XU, X., DEES, D., DECHESNE, A., HUANG, X-F., VISSER, R.G.F., TRINDADE, L.M., 2017. Starch phosphorylation plays an important role in starch biosynthesis. **Carbohydrate Polymers**, v.157, p.1628-1637.

WANG, S., SHAOPING, N., ZHU, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. **Food Research International**, v. 89, p.90-116, 2016.