

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Darlene Sausen

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

Santa Maria, RS
2016

Darlene Sausen

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**

Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Nicoloso

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sausen, Darlene
Eficiência nutricional ao fósforo de clones de batata
/ Darlene Sausen.-2016.
83 p.; 30cm

Orientador: Fernando Teixeira Nicoloso
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Cultivo fora do solo 2. Eficiência de uso de
fósforo 3. Minitubérculos 4. Nutrição mineral de plantas
5. Solanum tuberosum L. I. Teixeira Nicoloso, Fernando
II. Título.

Darlene Sausen

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**

Aprovado em 26 de fevereiro de 2016:

Fernando Teixeira Nicoloso, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Alessandro Dal'Col Lucio, Dr. (UFSM)

Dilson Antônio Bisognin, Dr. (UFSM)

Eduardo Girotto, Dr. (IFRS)

Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Dr. (UPF)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*À minha mãe.
Educadora por amor e profissão.
Pelo apoio, ensinamentos e confiança
na realização deste grande sonho.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por proteger, guiar e iluminar minha caminhada. Em seguida a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui. Em especial:

Aos meus pais Eugênio e Jacinta, minhas irmãs Daniéle e Dariane, ao meu sobrinho Bernardo e aos meus cunhados. Pelo carinho, compreensão e incentivo. Obrigada pai, por nunca deixarem de acreditar em mim, eu amo todos vocês.

Ao meu companheiro Felipe, pelo carinho, compreensão, amor e paciência em todos os momentos.

Ao professor Fernando Teixeira Nicoloso, pela orientação e credibilidade em mim depositada, além da essencial contribuição para minha formação pessoal e profissional.

Aos colegas do grupo de pesquisa em fisiologia de plantas de interesse agrobiológico Márcio, Camila, Jover, Katieli, Flávio, Miriam, Athos, Liana, Gessieli, Victória, Raíssa, Bianca, Júlia, Aline, Hilda, Marcos, Leonardo, Anderson, Letícia, James, Ruzi e demais pelo apoio, auxílio e amizade, que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos professores Dilson A. Bisognin, Cícero Urbanetto Nogueira, Diniz Fronza, João Marcelo S. de Oliveira, Gustavo Brunetto e Paulo Ferreira pelo fornecimento dos genótipos de batata utilizados, por ceder reagentes, possibilitar a utilização de equipamentos, laboratórios e áreas experimentais, pela orientação, acompanhamento e participação na realização deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo conhecimento a mim transferido.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso de doutorado. E à CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

As queridas Daniéla e Ritieli e demais amigos, obrigada pelos momentos de descontração, pelo apoio e pelo incentivo quase que diário para realização desta tese.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu **MUITO OBRIGADA.**

Como o homem come planta ou planta transformada e a planta tem que se alimentar, somente alimentando a planta adequadamente é possível alimentar o homem e ainda fornecer-lhe energia alternativa e a vestimenta que necessita.

(Valdemar Faquin)

RESUMO

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

AUTORA: Darlene Sausen

ORIENTADOR: Fernando Teixeira Nicoloso

A planta de batata é altamente exigente quanto à presença de fósforo (P) prontamente disponível na solução do solo. Para atingir altas produções de tubérculos são feitas grandes aplicações de adubos fosfatados, reduzindo assim, a sustentabilidade da cadeia produtiva da batata, além de causar uma possível contaminação ambiental. Portanto, é preciso melhorar a gestão do uso dos fertilizantes e desenvolver clones de batata que tenham alto rendimento e qualidade, mesmo em condições limitantes de P. Este trabalho teve por objetivo caracterizar aspectos fisiológicos de clones de batata submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de P e sistemas de produção disponíveis para identificar clones eficientes na aquisição e no uso do P. No primeiro experimento os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 provenientes de plantas micropropagadas foram cultivados em sistema fechado fora do solo sob baixo e alto nível de P (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹) durante a primavera e o outono do Rio Grande do Sul. Verificou-se que os clones de batata diferem quanto à eficiência de utilização do P entre os cultivos de primavera e outono do Rio Grande do Sul em sistema de cultivo sem solo com o uso de areia como substrato. Em outro momento, avaliou-se a eficiência ao P desses clones no cultivo fora do solo e à campo sob baixo e alto nível de P (70 e 560 kg P₂O₅ ha⁻¹) na safra de primavera. Observou-se que cada clone responde de uma maneira diferente aos sistemas de cultivo utilizados quanto a eficiência nutricional ao P, sendo que o sistema fechado de cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato superestima as respostas dos clones de batata em relação à disponibilidade de P. Ainda, buscou-se diferenciar plantas de batata micropropagadas de plantas produzidas a partir de minitubérculos quanto a eficiência nutricional ao P em sistema de cultivo fechado fora do solo com o uso de areia como substrato novamente sob alto e baixo nível de P. Os dados sugerem que a origem propagativa de plantas de batata interfere, tanto na relação de biomassa entre raiz e parte aérea, quanto no índice de colheita e na eficiência de utilização do P para todos os clones. Os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A sofrem interferência do tipo do material propagativo na eficiência de uso e resposta ao P, enquanto o clone SMINIA 793101-3 é eficiente no uso e não responsivo ao P na produção de massa fresca de tubérculos e massa seca total, independente da origem propagativa das plantas. Os clones de batata também foram avaliados a partir de tubérculos em vasos tendo solo como substrato com baixo e alto nível de P (0,025 e 0,11g kg⁻¹) em casa de vegetação, sendo observado com base na produção de massa seca total, que os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 são eficientes no uso de P, enquanto que Atlantic e SMINIA 793101-3 são responsivos ao incremento de P.

Palavras-chave: Aquisição. Batata-semente. Cultivo fora do solo. *Solanum tuberosum* L. Utilização.

ABSTRACT

NUTRITIONAL EFFICIENCY OF PHOSPHORUS THE POTATO CLONES

AUTHOR: Darlene Sausen

ADVISOR: Fernando Teixeira Nicoloso

The potato plant is highly demanding regarding the presence of phosphorus (P) readily available in soil solution. To achieve high yields of tubers, large applications of phosphate fertilizers are made, which consequently reduce the sustainability of the potato chain and cause possible environmental contamination. Therefore, it is necessary to improve the management of fertilizer use and develop potato clones that have high yield and quality, even in limiting conditions of P. In order to identify efficient clones in P acquisition and use, this study aimed to characterize the physiological aspects of potato clones under different levels of P availability and production systems available. In the first experiment, the Asterix, Atlantic, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3 clones from micropropagated plants were grown in soilless system under low and high P level (2.32 and 23.2 mg P L⁻¹) during the spring and autumn seasons of Rio Grande do Sul state. In the P utilization efficiency, we found that the potato clones differ between the spring and autumn season of Rio Grande in soilless culture system with the use of sand as substrate. Furthermore, we also compared the P efficiency of these clones between soilless system and field cultivation under low and high P level (70 and 560 kg P₂O₅ ha⁻¹) in the spring crop. We observed that each clone responds differently to cultivation systems used as nutritional efficiency to P, and the closed cultivation soilless system with use of sand as substrate overestimates the responses of potato clones in relation to P availability. Nevertheless, we sought to differentiate micropropagated potato plants of plants produced from minitubers as nutritional efficiency to P in closed cultivation soilless system with use of sand as substrate under high and low P level again. The data suggest that the propagative origin of the potato plants interferes, in the biomass ratio between root and shoot, and in the harvest index and P utilization efficiency for all clones. The Asterix, Atlantic and SMIC 148-A clones suffer interference of the type of propagation material in use efficiency and P response, while the SMINIA 793101-3 clone is P efficient in the use of non-responsive in fresh mass production and tubers total dry mass, regardless of propagativa type of the plants. Furthermore, the clones were also evaluated with plants from tubers when grown in pots with soil as substrate in low and high P level (0.025 and 0.11g kg⁻¹) in a greenhouse, we observed based on the total dry mass, the SMIC 148-A and SMINIA 793101-3 clones are efficient in the use of P, while Atlantic and SMINIA 793101-3 are responsive to the increase of P.

Keywords: Acquisition. Seed tubers. Soilless system. *Solanum tuberosum* L.. Utilization.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 – Mecanismos que podem ser utilizados pelas plantas para contornar uma condição de baixa disponibilidade de fósforo 14

MANUSCRITO 1

Figura 1 – Diagrama de classificação dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, e SMINIA 793101-3 quanto à eficiência de utilização do fósforo nas folhas, hastes, tubérculos e raízes e a resposta à aplicação do P; avaliados aos 62 dias após plantio em condições de cultivo hidropônico usando areia como substrato, na primavera e outono do Rio Grande do Sul. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR). Santa Maria, RS, 2016..... 36

MANUSCRITO 3

Figura 1 – Efeito do P na relação de biomassa entre raízes e parte aérea, no índice de colheita e na eficiência de utilização de P em clones de batata provenientes de minitubérculos (A, C, E) e de micropropagação (B, D, F) em cultivo fora do solo. Santa Maria, RS, 2016..... 64

Figura 2 – Plantas de batata micropropagadas e plantas provenientes de minitubérculos no momento do transplante para o leito de cultivo. Santa Maria, RS, 2016 65

Figura 3 – Representação gráfica da classificação dos clones de batata quanto a eficiência de uso e resposta ao P na produção de massa fresca de tubérculos e massa seca total, para plantas proveniente de minitubérculos (A, C) e micropropagação (B, D) em cultivo fora do solo. Santa Maria, RS, 2016..... 65

MANUSCRITO 4

Figura 1 – Efeito do nível de P na partição de massa seca em clones de batata avaliados aos 52 dias após o plantio. Santa Maria, RS, 2016..... 76

Figura 2 – Diagrama de classificação de clones de batata quanto a eficiência de uso e resposta ao P na produção de massa seca total da planta avaliado aos 52 após o plantio. Santa Maria, RS, 2016..... 76

LISTA DE TABELAS

MANUSCRITO 1

Tabela 1 – Área cultivada e produção de batata no ano de 2014	18
Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento	21
Tabela 3 – Escala fenológica da planta de batata	22
Tabela 4 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva no número de folhas, no comprimento médio de haste, no número de tubérculos e na massa fresca de tubérculos dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016	33
Tabela 5 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva na massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016	34
Tabela 6 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva na acumulação de P nas folhas, nas hastes, nos tubérculos e nas raízes dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016	35

MANUSCRITO 2

Tabela 1 – Atributos químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m antes da instalação do experimento.....	40
Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento	41
Tabela 3 – Eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização do P, massa fresca de tubérculos, massa seca total da planta e índice de colheita dos clones de batata cultivados a campo e avaliados aos 73 DAP. Santa Maria, RS, 2016	50
Tabela 4 – Eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização do P, massa fresca de tubérculos, massa seca total da planta e índice de colheita dos clones de batata cultivados fora do solo com areia como substrato e avaliados aos 62 DAT. Santa Maria, RS, 2016.....	51
Tabela 5 – Índice de resposta ao P na massa fresca de tubérculos e na massa seca total da planta dos clones de batata cultivados a campo e fora do solo com o uso de areia como substrato aos 73 DAP e 62 DAT, respectivamente. Santa Maria, RS, 2016.....	52

MANUSCRITO 3

Tabela 1 – Número de folhas e comprimento da parte aérea de plantas micropropagadas e produzidas a partir de minitubérculos no momento do transplante para o leito de cultivo (média de 6 plantas)	56
Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento	57

MANUSCRITO 4

Tabela 1 – Efeito do nível de P na eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização de P em clones de batata avaliados aos 52 dias após o plantio. Santa Maria, RS, 2016	75
--	----

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	13
2 MANUSCRITO 1 – EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA EM DUAS ÉPOCAS DE CULTIVO.....	17
Resumo	17
Introdução	17
Material e métodos	19
Resultados e discussão	23
Conclusão	28
Referências	28
Apêndice A	37
3 MANUSCRITO 2 – EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E RESPOSTA AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA	38
Resumo	38
Introdução	38
Material e métodos	40
Resultados e discussão	42
Conclusão	46
Referências	47
Apêndice A	53
4 MANUSCRITO 3 – PLANTAS DE BATATA MICROPROPAGADAS OU PRODUZIDOS A PARTIR DE MINITUBÉRCULOS DIFEREM QUANTO A EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO	54
Resumo	54
Introdução	55
Material e métodos	56
Resultados e discussão	58
Conclusão	61
Referências	61
5 MANUSCRITO 4 – CARACTERIZAÇÃO DE CLONES DE BATATA PARA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO	66
Resumo	66
Introdução	66
Material e métodos	67
Resultados e discussão	69
Conclusão	72
Referências	72
6 DISCUSSÃO	77
7 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS	81

1. APRESENTAÇÃO

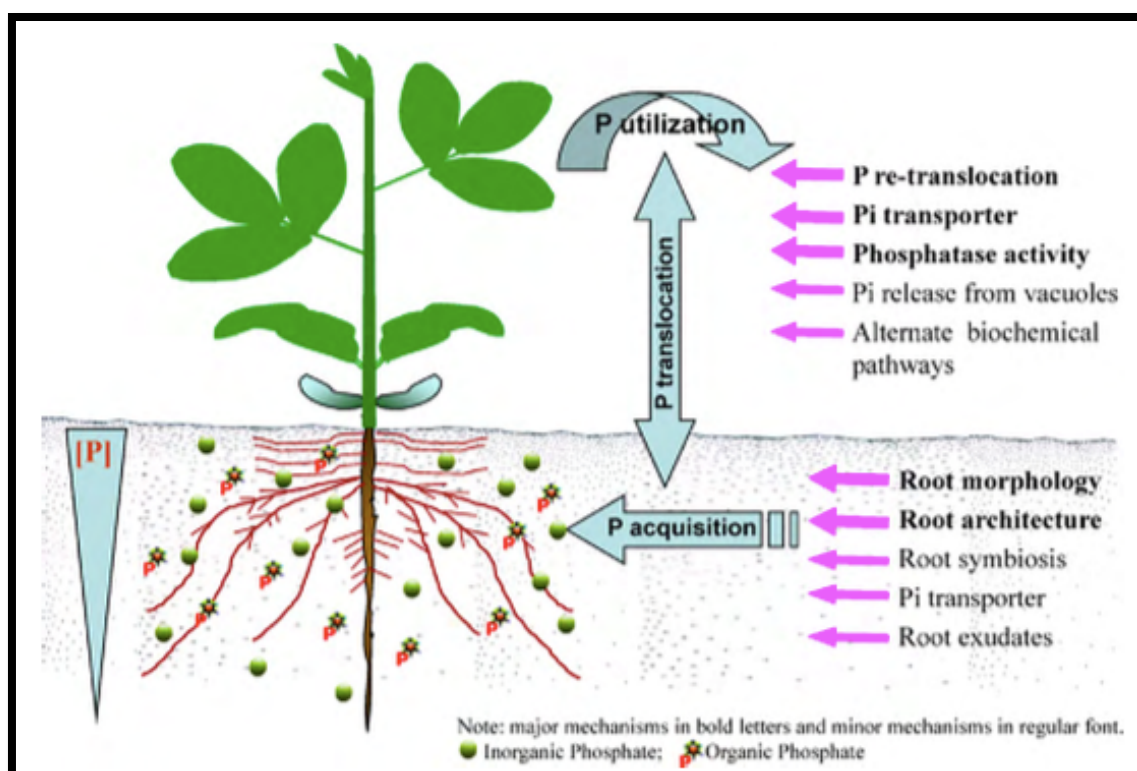
Na produção agrícola há uma preocupação com a sustentabilidade e com o impacto ambiental gerado pela dependência do uso de insumos e fertilizantes minerais, especialmente aos não renováveis (CORDELL et al., 2009; FLYNN e SMITH, 2010). No entanto, restringir o uso de fertilizantes minerais e defensivos agrícolas pode reduzir significativamente o rendimento das culturas (REMPELOS et al., 2013).

A baixa disponibilidade natural de fósforo (P) nos solos brasileiros reduz a produção agrícola e exige que sejam feitas aplicações de grandes doses de adubos fosfatados (GAXIOLA et al., 2011). No entanto, a maior parte do P aplicado ao solo é imobilizado e torna-se não disponível para as plantas ou é lentamente recuperado por elas (VANCE et al., 2003). Além disso, os fertilizantes fosfatados são feitos principalmente a partir de rochas de fosfato não-renováveis, que estão previstas para acabar em um futuro próximo (CORDELL et al., 2009). Como a área agrícola para a produção de alimentos já está limitada, garantir a disponibilidade a longo prazo e acessibilidade de P é fundamental para a segurança alimentar mundial (CHARLES et al., 2010; CORDELL et al., 2009). Para tanto, é preciso melhorar a gestão do uso dos fertilizantes e desenvolver genótipos nas culturas que tenham alto rendimento e qualidade, mesmo em condições limitantes deste nutriente.

A eficiência nutricional ao P é dependente de dois fatores principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de uso. O primeiro é influenciado por parâmetros cinéticos (absorção) e morfológicos (enraizamento), enquanto o segundo depende da translocação e da conversão em biomassa (utilização) (BAILIAN et al., 1991; FOX, 1978; MOURA et al., 2001). Desta forma, a eficiência nutricional do P tem sido definida com base no processo pelo qual as plantas adquirem, translocam, armazenam e utilizam internamente o nutriente afim de produzir biomassa, sob baixa ou alta disponibilidade do nutriente (PARENTONI e SOUZA, 2008). A capacidade dos clones para crescer, se desenvolver e se reproduzir sob condições de estresse nutricional, pode ser entendida pelos mecanismos fisiológicos, bioquímicos e anatômicos (Figura 1) que a planta utiliza para evitar o estresse ou recuperar-se rapidamente dos seus efeitos (MAIA et al., 2011).

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) apresenta uma alta demanda por nutrientes, sendo o P o que mais limita a produção de tubérculos (FONTES et al., 1997). Esta limitação está relacionada, principalmente, à deficiência na absorção do mesmo, em função do pequeno crescimento do sistema radicular (EKELOF, 2007), ciclo relativamente curto e baixa disponibilidade natural de P nos solos (AI et al., 2009).

Figura 1 – Mecanismos que podem ser utilizados pelas plantas para contornar uma condição de baixa disponibilidade de fósforo.



Fonte: WANG et al. (2010).

A batata é um dos alimentos mais consumidos no mundo em virtude de ser um vegetal altamente energético e uma importante fonte de vitaminas e minerais (DALE e MACKAY, 1994). Observa-se na cultura da batata potencial produtivo, em média, duas vezes maior que o cultivo de uma lavoura de grãos (RHOADS, 2003). Então, por produzir alimento mais nutritivo com alta aceitação de mercado, em menor período de tempo e espaço, em comparação com plantas de trigo e arroz, que são as culturas mais produzidas no mundo (DALE e MACKAY 1994; FAO, 2015) se faz necessário explorar as características, fisiológicas, bioquímicas e moleculares das plantas afim de selecionar clones de batata mais eficientes ao P. Desse modo será possível desenvolver sistemas agrícolas que possam produzir ainda mais com limitada disponibilidade de P e responder ao desafio da produção de alimentos de forma mais sustentável (DOVALE et al., 2013; GAXIOLA et al., 2011; PLAXTON e TRAN, 2011; YANG e FINNEGAN, 2010).

Recentemente várias técnicas de propagação de plantas têm auxiliado na obtenção de batata-semente saudável (BISOGNIN e DELLAI, 2015). Com o cultivo *in vitro* é possível produzir plantas micropropagadas e microtubérculos, que podem ser plantados em casa de vegetação ou diretamente no campo (COLEMAN et al., 2001; KAWAKAMI e IWAMA,

2012). Os tubérculos colhidos destes materiais são chamados de minitubérculos (KAWAKAMI e IWAMA, 2012) e são, comumente, utilizados nos programas de produção de sementes pré-básicas de batata (BISOGNIN e DELLAI, 2015; RADOUANI e LAUER, 2015).

Os sistemas de cultivo fora do solo, além de terem a vantagem de apresentar elevada sanidade e produtividade de tubérculos (CALDEVILLA e LOZANO, 1993), também permitem melhor controle da concentração dos nutrientes utilizados (BISOGNIN et al., 2015; CHANG et al., 2011; DELLAI et al., 2008). Já existem trabalhos comparando a produtividade de plantas produzidas a partir de batata-semente, de brotos, de microtubérculos, de minitubérculos e de miniestacas (BISOGNIN et al., 2015; BISOGNIN e DELLAI, 2015; KAWAKAMI et al., 2005; KAWAKAMI e IWAMA, 2012; RADOUANI e LAUER, 2015; RYKACZEWSKA, 2015; SILVA et al., 2006). No entanto, pouco se sabe se o tipo de material propagativo interfere na eficiência nutricional ao P pelas plantas.

Outro fator a ser considerado na produção de batata que ocorre no Rio Grande do Sul, é a ocorrência de duas safras anuais, sendo uma realizada durante a primavera e outra durante o outono. Na primavera, a intensidade de radiação solar, a temperatura do ar e o fotoperíodo aumentam, enquanto no outono, esses elementos meteorológicos diminuem, influenciando diretamente a fisiologia da parte aérea das plantas de batata e, portanto, afetam o metabolismo dos tubérculos, podendo limitar o potencial produtivo e de qualidade dos mesmos e alterar a eficiência nutricional ao P pelas plantas (BISOGNIN, 1996; PAULA et al., 2005).

Devido à importância do P às plantas de batata e por este ser um nutriente com fontes não renováveis, a busca por clones eficientes na aquisição e no uso de P é uma necessidade e pode possibilitar a redução nos custos de produção, bem como a conservação do agroecossistema. Neste sentido, é necessário caracterizar aspectos bioquímico-fisiológicos de clones de batata submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de P nos diferentes sistemas de produção disponíveis para desenvolvimento de um método de seleção visando à identificação de clones eficientes na aquisição e no uso do P.

As hipóteses que norteiam esse trabalho são as seguintes:

- a) A época de cultivo da batata em sistema de cultivo fechado fora do solo no Rio Grande do Sul, afeta a eficiência nutricional ao P.
- b) A eficiência nutricional ao P para clones de batata cultivados a campo é diferente da eficiência em cultivo fora do solo.
- c) Os clones de batata tem diferente eficiência nutricional ao P quando provenientes de micropropagação ou de plantas produzidas a partir de minitubérculos.

d) Existe variabilidade entre clones de batata quando cultivados fora do solo quanto a eficiência nutricional e resposta ao P.

Assim, o presente trabalho teve por objetivos:

- a)** Avaliar as diferenças na eficiência nutricional ao P no cultivo de batata realizado na primavera e no outono do Rio Grande do Sul em sistema hidropônico.
- b)** Validar o sistema fechado de cultivo fora do solo, quanto à eficiência nutricional ao P, através da comparação das respostas dos clones de batata entre este sistema e as respostas a campo.
- c)** Avaliar se o tipo do material propagativo interfere na eficiência nutricional ao P pelos clones de batata.
- d)** Avaliar o desempenho de clones de batata quanto à eficiência nutricional ao P sob variação no fornecimento de P.

Para tanto, os clones de batata SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 provenientes do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e as cultivares Asterix e Atlantic, foram avaliados em solo e em cultivo fora do solo sob dois níveis contrastantes de P. Para padronizar o texto tanto as cultivares quanto os clones avançados foram simplesmente referidos como clones. Os cultivos variaram quanto ao substrato, tipo do material propagativo e estação de cultivo na cidade de Santa Maria – RS, conforme descrito detalhadamente a seguir em cada manuscrito para atender aos objetivos propostos anteriormente.

Na sequência serão apresentados quatro manuscritos que contém resultados, discussão e conclusão dos estudos realizados. São eles:

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA EM DUAS ÉPOCAS DE CULTIVO

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E RESPOSTA AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

PLANTAS DE BATATA MICROPROPAGADAS OU PRODUZIDAS A PARTIR DE MINITUBÉRCULOS DIFEREM QUANTO A EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO

CARACTERIZAÇÃO DE CLONES DE BATATA PARA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO

2. MANUSCRITO 1

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA EM DUAS ÉPOCAS DE CULTIVO

Resumo

O fósforo (P) é um nutriente com reservas minerais finitas. Seu uso racional tem-se tornado uma preocupação relevante tendo em vista a produção de fertilizantes. A identificação de clones de batata eficientes na absorção e utilização do P com potencial produtivo nos dois cultivos anuais que ocorre nas regiões subtropicais é um desafio para o melhoramento vegetal. O objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade genética em clones de batata quanto à eficiência de utilização ao P em duas épocas contrastantes de cultivo, em sistema de cultivo fora do solo usando areia como substrato. Os tratamentos foram combinados em um fatorial com quatro clones de batata (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3), dois níveis de P na solução nutritiva (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹) e duas épocas de cultivo (primavera e outono). Existe diferença entre os clones de batata quanto à eficiência de utilização do P nos cultivos de primavera e outono do Rio Grande do Sul em sistema de cultivo sem solo. Os clones Asterix e SMINIA 793101-3 apresentam maior potencial produtivo quando cultivados na primavera sem restrição de P. O clone SMIC 148-A não foi influenciado pela época de cultivo, desde que a disponibilidade de P não seja um fator limitante. O clone Atlantic apresenta boa produção quando cultivado no outono, independente do nível de P utilizado.

Palavras-chave: cultivo sem solo, nutrição mineral, propagação vegetativa, *Solanum tuberosum* L.

Abstract

Phosphorus utilization efficiency in potato clones in two growing seasons

Phosphorus (P) is a nutrient with finite mineral reserves. Its rational use has become a significant concern in view of fertilizer production. The identification of efficient potato clones in phosphorus uptake and utilization with productive potential in the two annual cropping seasons that occurs in subtropical regions is a challenge in plant breeding. The objective of this study was to determine the genetic variability in potato clones in regards to the utilization efficiency of P in two contrasting growing seasons, in the soilless cultivation system using sand as substrate. The treatments were combined in a factorial design with four potato clones (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3), two levels of P in the nutrient solution (2.32 and 23.2 mg P L⁻¹) and two growing seasons (spring and autumn). There is a difference among the potato clones in regards to the utilization efficiency of P in the spring and autumn cropping seasons in the soilless cultivation system of Rio Grande do Sul. The Asterix and SMINIA 793101-3 clones present greater productive potential when grown without P restriction in the spring. The SMIC 148-A clone was not influenced by the growing season, given that the availability of P is not a limiting factor. The Atlantic clone present good yield when grown in the autumn, regardless of the level of P used.

Keywords: mineral nutrition, soilless cultivation system, *Solanum tuberosum* L., vegetative propagation

Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é um dos alimentos mais consumidos no mundo (CARMO et al., 2009; MULLER et al., 2009) devido a versatilidade de pratos gastronômicos que podem ser elaborados com o uso dos tubérculos (SHIMAYAMA, 2006). No Brasil tem-

se mantido como uma das hortaliças com maior área cultivada e de maior importância econômica por vários anos (COELHO et al., 1999; SILVA et al., 2014), sendo o Rio Grande do Sul (RS) responsável por 10% da produção nacional de tubérculos (Tabela 1). Essa pequena participação do RS na produção de batata está ligada a carência de cultivares com características adequadas aos requisitos da indústria e adaptados à condição ambiental de produção (CARMO et al., 2009; PEREIRA, 2003). Uma vez que, a maior parte das cultivares de batata utilizadas no Brasil não são adaptadas para regiões subtropicais, com dois cultivos anuais como ocorre no RS (SOUZA et al., 2011).

Tabela 1 – Área cultivada e produção de batata no ano de 2014.

	Área cultivada (ha)	Produção (ton)
Brasil	132.077	3.689.836
Sul	53.726	1.323.964
Rio Grande do Sul	18.242	357.221

Fonte: IBGE, (2014).

No RS, em virtude do clima subtropical, é possível realizar dois cultivos anuais da batata (EPAGRI, 2002; HELDWEIN et al., 2009), sendo um na primavera (agosto-dezembro), onde a planta se desenvolve sob condições crescente de fotoperíodo, temperatura e disponibilidade de radiação solar e outro no outono (fevereiro-junho) com essas condições decrescentes. Estas variações ambientais influenciam diretamente no crescimento das plantas de batata e na formação dos tubérculos (BEUKEMA e ZAAG, 1990), alterando as exigências por fertilizantes, a quantidade e a qualidade do produto final, principalmente para as cultivares menos adaptadas.

A cultura da batata tem uma alta demanda por nutrientes, sendo o P o que mais limita a produção de tubérculos (FONTES et al., 1997). Esta limitação está relacionada, principalmente, à deficiência na absorção do mesmo, em função do pequeno crescimento do sistema radicular (EKELOF, 2007), ciclo relativamente curto e baixa disponibilidade natural de P nos solos (AI et al., 2009). O P é absorvido durante todo o ciclo vegetativo da cultura, sendo que este processo é mais intenso dos 30 a 55 dias após a emergência, quando a planta apresenta-se em desenvolvimento vegetativo. Esse macronutriente desempenha nas plantas função de armazenagem de energia, composição de membranas, além de ser constituinte de nucleotídeos e ácidos nucléicos (SHEN et al., 2011), tendo assim papel fundamental nos processos de fotossíntese, de respiração dentre outros (ABEL et al., 2002).

Geralmente a presença de P eleva o teor de massa seca dos tubérculos (FONTES, 1997; MALMANN et al., 2005), enquanto N e K diminuem (WESTERMANN et al., 2005),

devido ao crescimento desproporcional da parte aérea em detrimento a massa seca dos tubérculos (BREGAGNOLI, 2006). O P atua positivamente nos tubérculos sobre a massa fresca e seca, a gravidade específica, a vitamina C, os açúcares redutores e nas propriedades do amido (CEREDA et al., 2003).

Em virtude do P ser um nutriente com reservas minerais finitas visando a produção de fertilizantes, o seu uso racional tem-se tornado uma preocupação relevante também na produção de batata. Para obtenção de sementes pré-básicas de batata (minitubérculos) com qualidade fisiológica, tem sido empregado sistemas de cultivo fora do solo (BISOGNIN e DELLAI, 2015), que apresentam como vantagem elevada sanidade e produtividade de tubérculos e ainda proporcionam maior controle dos nutrientes utilizados. A identificação de clones de batata eficientes na absorção e utilização do P com potencial produtivo nos dois cultivos anuais, que ocorre nas regiões subtropicais, é um desafio para o melhoramento vegetal.

Dentre as cultivares de batata mais plantadas no Brasil temos a Asterix e Atlantic (FELTRAN e LEMOS, 2005; SILVA et al. 2009), sendo a Asterix de ciclo semi-tardio muito utilizada industrialmente na fabricação de pré-fritas congeladas (ABBA, 2015) e a cultivar Atlantic de ciclo médio-precoce indicada para produção de “chips” (YORINORI, 2003). Os clones SMINIA 793101-3 e SMIC 148-A fazem parte do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e apresentam potencial de serem incorporados no sistema produtivo (SOUZA et al., 2014; ZANON et al., 2013), sendo o clone SMINIA 793101-3 o mais adaptado a região de clima subtropical do BR.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade genética de clones de batata quanto à eficiência de utilização ao P em duas épocas contrastantes de cultivo, em sistema de cultivo fora do solo, usando areia como substrato.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada em Santa Maria – RS (29° 42' 56''S, 53° 43' 13''O e altitude de 95m), durante os cultivos de primavera (30/07 – 14/11 de 2013) e outono (10/03 – 16/06 de 2014). Foram avaliados os clones SMIC 148-A, SMINIA 793101-3 provenientes do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e as cultivares Asterix e Atlantic que para fins de simplificação, serão referidas simplesmente como clones.

O experimento foi conduzido no delineamento blocos ao acaso em parcelas subdivididas utilizando-se seis repetições e os tratamentos foram combinados em um

fatorial com duas épocas de cultivo (primavera e outono) na parcela principal, dois níveis de P (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹) na subparcela e quatro clones de batata (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3) na subsubparcela. A unidade experimental foi composta de três plantas.

O material vegetal foi previamente micropropagado e, posteriormente, aclimatizado por 27 e 21 dias na primavera e no outono, respectivamente, em um sistema de cultivo sem o uso de solo (Figura 1). Após esse período, as plantas uniformes (com aproximadamente 10 cm de comprimento e 6 folhas com mais de 1 cm de largura), foram transplantadas para um sistema de cultivo em areia (BANDINELLI et al., 2013), num espaçamento de 10 por 10 cm. Para esse experimento a areia utilizada foi lavada uma vez com hipoclorito de sódio e três vezes com água de torneira. Com o auxílio de um programador digital e uma bomba de baixa vazão para um conjunto de quatro bandejas, foram realizadas três irrigações de solução nutritiva durante o dia, de modo que todo o substrato ficasse saturado de solução. A solução excedente foi drenada através de um orifício situado na base da bandeja e conduzida por um sistema canalizado para um reservatório.

Figura 1 – Sistema de cultivo sem solo com o uso de areia como substrato, utilizado para aclimatizar e multiplicar plantas de batata.



Os tratamentos de P consistiram de 5 e 50% da concentração padrão de P da solução nutritiva desenvolvida para o cultivo de batata sem solo (ANDRIOLO, 2006), denominados de baixo (2,32 mg P L⁻¹) e alto (23,2 mg P L⁻¹) níveis de P (Tabela 2). Para se manter o teor de potássio da solução padrão, foi utilizado o KCl e a condutividade elétrica (CE) foi mantida em 2 dS m⁻¹ (água foi utilizada para reduzir a CE quando necessário) com o pH em 5,5 sendo ajustado a cada dois dias.

Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento.

Solução nutritiva		Baixo P	Alto P
Fontes (g L⁻¹)	KNO ₃	0,505	0,505
	Ca (NO ₃) ₂	0,724	0,724
	KH ₂ PO ₄	0,01	0,102
	KCl	0,106	0,0559
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,308	0,308
	Fe-EDTA	0,02	0,02
	Solução de micronutrientes	0,1	0,1
Fertilizantes para preparo da solução de micronutrientes (g L⁻¹)*	Na ₂ MoO ₄	0,7	0,7
	H ₃ BO ₃	15	15
	CuSO ₄	2,5	2,5
	MnSO ₄	20	20
	ZnSO ₄	10	10

*Para o preparo de 1 L de solução nutritiva é utilizado 0,1 ml da solução de micronutrientes.

As plantas foram colhidas antes do início do período de senescência, ainda durante o período de tuberização, sem que os tubérculos tivessem atingido 90% do tamanho final (Tabela 3), aproximadamente 62 dias após o plantio. Então as plantas foram lavadas em água de torneira e divididas em folhas, hastes, tubérculos e raízes. A massa seca foi determinada após secagem do material durante 15 dias em estufa a 60 °C. O efeito dos níveis de P na solução nutritiva nas duas épocas de cultivo para cada clone foi avaliado para cada planta segundo o número médio de folhas, o comprimento médio de hastes (medidas com régua de precisão de 0,1 cm), o número médio de tubérculos, a massa fresca de tubérculos (em gramas), as massas secas de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes (em gramas).

Para a determinação do conteúdo de P total, amostras da massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes foram pesadas e maceradas. A análise de P total no tecido foi realizada conforme Tedesco et al. (1995), com a digestão de 0,2 g de tecido com 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na₂SO₄, 10 g de CuSO₄·5H₂O e 1 g de selênio) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) permanecendo em bloco de digestão por uma hora na temperatura de 350°C. A determinação do P nos extratos dos tecidos das plantas foi realizada por colorimetria, conforme Murphy e Riley (1962).

A acumulação de P nos tecidos foi obtido pelo produto entre o conteúdo de P e a massa seca de cada órgão da planta. Uma vez obtidos esses dados, estimaram-se os seguintes índices de eficiência baseados na proposta de Siddiqi e Glass (1981): **i**) Eficiência de utilização de P nas folhas (EUPF) = (g de massa seca das folhas)² (g de P acumulado nas folhas)⁻¹; **ii**) Eficiência de utilização de P nas hastes (EUPH) = (g de massa seca das hastes)² (g de P

acumulado nas hastes)⁻¹; **iii**) Eficiência de utilização de P nos tubérculos (EUPT) = (g de massa seca dos tubérculos)² (g de P acumulado nos tubérculos)⁻¹; e **iv**) Eficiência de utilização de P nas raízes (EUPR) = (g de massa seca das raízes)² (g de P acumulado nas raízes)⁻¹.

Tabela 3 – Escala fenológica da planta de batata.

Fases	Estádios	Descrição
Brotação	D	Dormência: tubérculos sem nenhum broto visível
	IB	Início da brotação: broto apical com, pelo menos, 2 mm de comprimento
	PB	Plena brotação: brotos laterais com, pelo menos, 2 mm de comprimento
	IR	Início da formação das raízes: raízes visíveis
Vegetativa	E	Emergência: surgimento de uma ou mais hastes acima do solo, em 50% das covas
	V1	Primeira folha da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1cm
	V2	Segunda folhas da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1cm
	Vn	Folha “n” da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1cm
Tuberização	IT	Início da tuberização: primeiro tubérculo com, pelo menos, 1cm de diâmetro
	VF	Última folha da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1cm
	T90	Tubérculos atingiram 90% do tamanho final
Senescência	IS	Início da senescência: folhas iniciam o processo de amarelecimento
	S	Senescência: 50% das folhas amarelas
	FS	Fim da senescência: 100% das folhas amarelas
	M	Maturação: folhas e hastes secas em 50% das hastes principais
	PM	Planta morta: 100% das folhas e hastes secas

Fonte: HELDWEIN et al. (2009).

Para a classificação dos clones quanto à eficiência de utilização e resposta ao P para a produção de massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes foram confeccionados diagramas segundo a metodologia de Fageria e Baligar (1993). De acordo com Fox (1978), para a representação gráfica no plano cartesiano temos no eixo x a EUPF, a EUPH, a EUPT e a EUPR verificado sob baixo nível de P e no eixo y a resposta à aplicação de P, onde a diferença entre a eficiência de utilização nos dois níveis de P foi dividida pela diferença nos níveis de P aplicado. O ponto de origem do eixo horizontal foi a média da eficiência de utilização no baixo nível P de todos os clones, enquanto o ponto de origem do eixo vertical foi a média da resposta do P aplicado de todos os clones. Os diagramas foram divididos em quatro quadrantes que separam quatro grupos de clones. No primeiro quadrante são representados os clones eficientes e responsivos ao P (ER); no segundo os eficientes e não

responsivos ao P (ENR); no terceiro os não eficientes e não responsivos ao P (NENR); e no quarto os não eficientes e responsivos ao P (NER).

Os dados foram submetidos à análise de variância, as variáveis número de folhas e número de tubérculos tiveram seus dados transformados pela metodologia Box-Cox (BOX e Cox, 1964), por não apresentarem distribuição normal. As médias entre clones, entre níveis de P e entre épocas foram comparadas pelo teste de Skott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974) a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussão

Para todas as variáveis analisadas verificou-se que houve interação significativa entre níveis de P, clones de batata e épocas de cultivo, exceto para número de tubérculos. Estes resultados eram esperados, fundamentalmente, devido às condições climáticas contrastantes para cada plantio, especialmente no que se refere à temperatura, fotoperíodo e radiação solar, que favoreceram as diferenças de crescimento entre clones em relação aos níveis de P na solução nutritiva.

No cultivo de primavera, os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 apresentaram aumento no número de folhas e no comprimento médio de hastes por planta na presença de alto nível de P (Tabela 4). No entanto, no outono e com alto nível de P não houve aumento no número de folhas e no comprimento médio de hastes, o que indica que no cultivo de outono os clones de batata responderam menos à variação de disponibilidade de P na solução nutritiva em relação ao cultivo de primavera. Plantas com um maior número de folhas poderão atingir mais rapidamente um índice de área foliar que proporcione máxima produção de biomassa (BISOGNIN e DELLAI, 2015). Possivelmente, devido a isto e a maior radiação solar no cultivo de primavera, esta seja a época preferencial para a produção de tubérculos no RS.

No cultivo de primavera, o alto nível de P na solução nutritiva promoveu o aumento no número de tubérculos por planta de todos os clones, bem como na massa fresca de tubérculos (Tabela 4), sendo esse aumento de 113, 73, 68 e 163%, respectivamente para os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3. Esses resultados confirmam que o P atua estimulando a formação de tubérculos maiores (PREZOTTI et al., 1986). Outro fator relevante, conforme Zambolim e Ventura (1993), é que uma maior disponibilidade de P para a planta de batata reduz a incidência de doenças fúngicas e outros distúrbios fisiológicos que

poderiam prejudicar no desenvolvimento da planta e na qualidade dos tubérculos, conforme observado também neste estudo.

Na produção de minitubérculos em sistema de cultivo fechado sem o uso de solo, a colheita é realizada logo no início da fase de crescimento dos tubérculos, onde o efeito das condições ambientais sobre a partição dos fotoassimilados é menor do que na fase final do ciclo, diferente do que acontece nas lavouras comerciais de produção de batata para consumo. Deste modo, o número de tubérculos torna-se mais importante que a massa fresca, já que a massa pode ser manejada pela duração do ciclo da cultura até o momento da colheita (MULLER et al., 2007).

Já durante o cultivo de outono, o número de tubérculos por planta para os quatro clones foi maior no baixo nível de P (Tabela 4), o que indica que o baixo nível de P pode ser manejado com a escolha do outono como época preferencial de cultivo quando se visa a produção de um maior número de tubérculos. Entretanto, a variação no nível de P não alterou a massa fresca de tubérculos por planta, com exceção daquela do clone SMIC 148-A, que apresentou redução da massa fresca de tubérculos (24%) no baixo nível de P. Essa redução na produção de tubérculos para o clone SMIC 148-A pode estar ligada a uma menor absorção do nutriente devido a menor concentração na solução nutritiva e não necessariamente a uma deficiente utilização do P no metabolismo durante o outono; fato indicado pela maior acumulação de P nos tubérculos deste clone no outono (Tabela 6). Resultados contrastantes entre épocas de cultivo quanto ao número e massa fresca de tubérculos por planta também foram encontrados por Muller et al. (2007), que observaram no cultivo de outono uma redução na massa fresca de tubérculos e um aumento no número dos mesmos com a redução da concentração dos nutrientes da solução nutritiva, enquanto na primavera o número e a massa fresca de tubérculos aumentam conforme o aumento da concentração da solução.

Na análise do crescimento dos clones de batata em alto nível de P, observou-se que o número de folhas, de tubérculos e a massa fresca de tubérculos foram maiores na primavera, com excessão do Atlantic que apresentou maior massa fresca de tubérculos no outono; enquanto o maior comprimento médio de hastes ocorreu no outono (Tabela 4). Por outro lado, em restrição de P verificou-se maior número de folhas, comprimento médio de hastes, número de tubérculos e massa fresca de tubérculos ocorreu no cultivo de outono, com excessão do número de folhas e massa fresca de tubérculos para o clone Asterix (Tabela 4). Na comparação das duas épocas de cultivo do RS, verificou-se que todos os clones apresentaram maior número de folhas na primavera, por possuir uma situação meteorológica que favorece o crescimento e desenvolvimento das plantas e maior comprimento médio de haste e número de

tubérculos no outono, onde o crescimento e desenvolvimento das plantas de batata são limitados pelas altas temperaturas no início do ciclo de desenvolvimento e pela baixa disponibilidade de radiação solar na segunda metade do ciclo (BISOGNIN et al., 2008; BURIOL et al., 2006).

Os clones Asterix e SMINIA 793101-3 apresentaram a maior produção de massa fresca de tubérculos, respectivamente de 74,6 e 101,9 g planta⁻¹, quando cultivados com alta disponibilidade de P associado ao cultivo de primavera (Tabela 4). Nessa época de cultivo, em que a temperatura e o fotoperíodo são crescentes, houve estímulo ao desenvolvimento das plantas destes clones, com consequente aumento na produção de tubérculos. Por outro lado, o clone Atlantic apresentou melhor desempenho produtivo no cultivo de outono, apesar de demonstrar pouca responsividade ao incremento de P na solução nutritiva para a produção de tubérculos (70,1 e 76 g planta⁻¹ no baixo e no alto nível, respectivamente). Para o clone SMIC 148-A a maior produção de massa fresca de tubérculos foi atingida no alto nível de P independente da época de cultivo (78 e 80 g planta⁻¹ na primavera e no outono, respectivamente). Isto indicam que o clone SMIC 148-A não foi influenciado pela época de cultivo quanto à produção de massa fresca de tubérculos, desde que a disponibilidade de P não seja um fator limitante. Esses resultados mostram que o rendimento dos clones cultivados fora das épocas preferenciais pode limitar a produtividade de tubérculos mais do que a limitação causada pela disponibilidade de P.

No cultivo de primavera ocorreu redução da massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes para todos os clones em função da redução do nível de P na solução nutritiva com excessão da massa seca de hastes para o clone Atlantic e da massa seca de raízes para o clone Asterix (Tabela 5). Segundo Mendes et al. (2011), para que o estresse nutricional seja significativo, deve-se observar uma redução no potencial produtivo de pelo menos 40%, considerando o ambiente sem estresse como referência. Neste trabalho essa condição ocorreu especialmente para os clones Asterix e SMINIA 793101-3 em relação a massa seca de folhas, de hastes e de tubérculos. Já para os clones Atlantic e SMIC 148-A uma redução maior que 40% ocorreu apenas na massa seca de raízes. Já no cultivo de outono, a variação na disponibilidade de P na solução nutritiva resultou numa redução menos significativa na massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes para os quatro clones de batata. Isto indica que a época de cultivo influenciou na utilização do P quanto às respostas de crescimento dos clones de batata.

Quanto a produção de massa seca de tubérculos, novamente os clones Asterix e SMINIA 793101-3 apresentam maior potencial produtivo no cultivo de primavera sem

restrição de P, o clone SMIC 148-A em ambos os cultivos desde que o P não seja fator limitante, enquanto o Atlantic tem alta produção de massa seca de tubérculos na primavera sob alto nível de P e no outono independente do nível (Tabela 5). No que se refere ao teor de massa seca de tubérculos em relação a massa fresca, o clone Asterix sob alto nível de P e o Atlantic sob baixo nível de P no cultivo de primavera apresentam respectivamente, 20 e 23% o que é desejável em clones de batata destinados a fritura por proporcionar bom rendimento industrial (MULLER et al., 2009). Portanto, para o clone Atlantic, a época preferencial de cultivo para atingir adequado teor de massa seca de tubérculos pode ser manejada com a restrição de P, uma vez que, o clone Atlantic que é adaptado a clima temperado e por isso mais produtivo no outono, apresentou teor de massa seca mais próximo ao ideal na primavera sob baixo nível de P. O clone SMIC 148-A na primavera sob baixo nível de P apresentou 19% de teor de massa seca de tubérculos, também próximo ao intervalo mais adequado que fica entre 20 e 24% (OLIVEIRA et al., 2006). O SMINIA 793101-3 sob baixo nível de P, independente da época de cultivo, apresenta teor de 16%, sendo mais firme no cozimento e assim indicada para o preparo de pratos assados (PEREIRA, 1987). Os resultados deste trabalho corroboram com os encontrados por Bisognin et al. (2008a) onde o clone SMINIA 793101-3 também foi o mais produtivo, porém com atributos abaixo dos ideais para o processamento na forma de chips.

O clone Asterix tem maior acumulação de P nas folhas e nos tubérculos quando cultivado sob alto nível de P na primavera que é a época preferencial de cultivo deste clone, porém nas hastes e raízes a maior acumulação de P ocorreu quando a planta foi cultivada no outono (Tabela 6). Da mesma forma, o clone SMINIA 793101-3 apresentou maior acumulação de P nos tubérculos durante esta época de cultivo, 34% a mais do que no cultivo de outono no alto nível de P, mas nas folhas a acumulação de P não diferiu entre épocas no alto nível de P nem entre níveis de P no outono, o que mostra pouca sensibilidade deste clone ao fotoperíodo (BISOGNIN et al., 2008a). O clone Atlantic apresentou maior acumulação de P nas folhas, nas hastes, nos tubérculos e nas raízes, independentemente do nível de P, durante o cultivo de outono (Tabela 6), o que indica que a capacidade genética de absorver, traslocar e armazenar o P é influenciada pelo ambiente. Neste caso o clone Atlantic usa como estratégia para contornar a irregularidade de recursos como a disponibilidade de P a adaptação a um ambiente específico no qual sempre terá maior crescimento e acumulação de P (MAIA et al., 2011), que no caso é o cultivo de outono. Por outro lado, o clone SMIC 148-A tem acumulação de P nas folhas medianamente boa, tanto no cultivo de primavera quanto no de outono, sendo que no outono ele não apresenta menor acumulação de P quando em baixo

nível (Tabela 6). Para hastes, tubérculos e raízes a acumulação de P foi maior no outono, apenas no alto nível de P em tubérculos e independente do nível para hastes e raízes.

Entre os clones estudados, a acumulação de P nas folhas, nas hastes, nos tubérculos e nas raízes foram semelhantes para todos os clones durante a primavera em condição de baixo nível de P; enquanto no alto nível de P só houve diferença entre os clones para a acumulação de P nos tubérculos, onde o clone SMINIA 793101-3 acumulou 101,9 mg P planta⁻¹, que corresponde a 3,1 vezes mais que aquela do clone Atlantic (Tabela 6). Durante o outono o clone Asterix foi o que menos acumulou P nos tecidos, independente do nível de P. Apesar de ser muito utilizado no Brasil, esta cultivar não foi desenvolvida para as condições de cultivo subtropicais que possibilitam dois cultivos anuais (SILVA et al., 2014a). Deste modo, para que se atinja altos rendimentos é preciso a utilização de grande quantidade de insumos no cultivo de outono. Por isso, seu potencial de acumulação de P e de produção de tubérculos pode ser facilmente superado por clones selecionados por suas capacidades de utilização de P e adaptação aos dois cultivos no RS.

De acordo com os índices de eficiência de utilização do P na parte aérea (folhas e hastes) e de resposta ao P (Figura 2), foi possível classificar os clones Asterix como não eficiente na utilização de P e não responsivo ao P (NENR) e o clone SMINIA 793101-3 como eficiente na utilização e resposta ao P (ER), não sofrendo interferência da época de cultivo. Balemi e Schenk (2009) constataram diferenças entre os clones de batata quanto à eficiência de utilização desse nutriente, de modo que aqueles com maior eficiência de utilização apresentaram maior produção de MS da parte aérea, o que corrobora com os resultados encontrados nesse trabalho, pois o clone SMINIA 793101-3 foi o que obteve maior massa seca de parte aérea (folhas e hastes) entre os clones, exceto na primavera sob baixo nível de P (Tabela 5).

No entanto, dentre os clones mais adaptados ao clima temperado existe variação na eficiência e na utilização do P. Os clones Atlantic e SMIC 148-A não apresentaram para esses índices de eficiência uma resposta única entre épocas de cultivo (Figura 2). O clone Atlantic apresentou uma tendência a ser não eficiente na utilização, bem como não responsivo ao P (NENR) na primavera, enquanto no outono mostrou-se eficiente na utilização de P, mas permaneceu não responsivo à adição de P (ENR). Já o clone SMIC 148-A apresentou uma tendência a ser eficiente na utilização, mas não responsivo ao P (ENR) na primavera, ao passo que no cultivo de outono mostrou-se não eficiente na utilização e não responsivo ao P (NENR).

O desenvolvimento das plantas de batata varia em função do clone em cada época de cultivo (ZANON et al., 2013). As variações observadas neste trabalho em função da eficiência de utilização e resposta ao P, indicam que a seleção de um clone de batata para o cultivo de primavera, não seria necessariamente, a mesma para o cultivo de outono. Ou seja, cada clone tem sua época mais adequada de cultivo, e se a seleção ocorrer fora da época preferencial, pode ocorrer uma seleção equivocada de um clone e, conseqüentemente, atrasar o processo de seleção de programas de melhoramento da batata (CARVALHO et al., 2004). Do mesmo modo, para a seleção de clones de batata, visando qualidade de tubérculos (ANDREU, 2005; MULLER et al., 2009; SOUZA et al., 2011) e a tolerância ao déficit hídrico (ROHR, 2012) foram divergentes dependendo da época de cultivo, primavera ou outono no RS. Também já foi comprovado que ocorrem alterações nas características fisiológicas dos tubérculos durante o armazenamento quando cultivado nessas duas distintas épocas de cultivo (BISOGNIN et al., 2008b).

Conclusão

Os clones de batata diferem quanto à eficiência de utilização do P entre os cultivos de primavera e outono do Rio Grande do Sul em sistema de cultivo sem solo com o uso de areia como substrato.

Os clones Asterix e SMINIA 793101-3 apresentam maior potencial produtivo quando cultivados na primavera sem restrição de P. O clone SMIC 148-A não foi influenciado pela época de cultivo, desde que a disponibilidade de P não seja um fator limitante. O clone Atlantic apresenta boa produção quando cultivado no outono, independente do nível de P utilizado.

Referências

- ABBA. Associação Brasileira da Batata. **Variedades**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2015/variedades.asp>>. Acesso em: 28 abr. 2015.
- ABEL, S.; TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiologia plantarum**, v.115, p.1-8, 2002.
- AI, P. H. et al. Two rice phosphate transporters, OsPht1;2 and OsPht1;6, have different functions and kinetic properties in uptake and translocation. **Plant Journal**, v.57, p.798-809, 2009.
- ANDREU, M. A. Associação entre características agronômicas da batata nos plantios de primavera e outono no Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.925-929, 2005.
- ANDRIOLO, J. L. Sistema hidropônico fechado com subirrigação para produção de minitubérculos de batata. In: SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO GENÉTICO E PREVISÃO DE EPIFITIAS EM BATATA. 2006, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria:

Universidade Federal de Santa Maria, 2006. p.26-40.

BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.172, p.669-677, 2009.

BANDINELLI M. G. et al. Concentração dos sais e da sacarose do meio MS na multiplicação *in vitro* e na aclimatização de batata. **Horticultura Brasileira**, v.31, p.242-247, 2013.

BEUKEMA, H.P.; ZAAG, D.E. van der. **Potato improvement: some factors and facts**. Wageningen: International Agricultural Centre, 1979. 224p.

BISOGNIN, D. A. et al. Desenvolvimento e rendimento de clones de batata na primavera e no outono. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.699-705, 2008.

BISOGNIN, D. A. et al. Produtividade e qualidade de tubérculos de clones de batata. **Ciência e natura**. v.30, p.43-56. 2008a.

BISOGNIN, D. A. et al. Envelhecimento fisiológico de tubérculos de batata produzidos durante o outono e a primavera e armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, v.67, p.59-65, 2008b.

BISOGNIN, D. A. DELLAI, J. Shoot growth restriction in dry matter partitioning and minituber production of potato plants. **Ciência Rural**. v.45, p.1917-1924, 2015.

BOX, G. E. P; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, v.26, p.211-252, 1964.

BREGAGNOLI, M. 2006. **Qualidade e produtividade de cultivares de batata para indústria sob diferentes adubações**. (Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 141p.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade da radiação solar global medida nas estações meteorológicas da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.12, p.65-72, 2006.

CALDEVILLA, E.M.; LOZANO, M.G. **Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterraneo**. Reus: Ediciones de Horticultura, 1993. 123p.

CARMO, E. L. et al. Desempenho de cultivares nacionais e estrangeiras de batata em duas condições ambientais do Sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Trópica**. v.3, p.18-24, 2009.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142p.

CEREDA, M. P.; VOLPOUX, O.; TAKAHASHI, M. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. In: CEREDA, M.P.; VOLPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidade de tuberosas amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, p.30-47. 2003.

COELHO, A. H. R. et al. Qualidade de batata (*Solanum tuberosum* L.) para fritura, em função dos níveis de açúcares redutores e amido, durante o armazenamento refrigerado e à temperatura ambiente com atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.899-910, 1999.

EKELÖF, J. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. **Master project in the Horticultural Science Programme**, v.2, 2007, 20p.

- EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistemas de produção para batata-consumo e batata-semente em Santa Catarina**. 3.ed. Florianópolis, 2002. 123p.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES. 1993. Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, p.142-159, 1993.
- FELTRAN, J. C.; LEMOS, L. B. Características agronômicas e distúrbios fisiológicos em cultivares de batata. **Científica**. v.33, p.106-113, 2005.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, p.1039-1042, 2011.
- FONTES, P. C. R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 42p.
- FONTES, P. C. R.; ROCHA, F. A. T.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**. v.15, p.104-107, 1997.
- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.9, p.13-37, 1978.
- GABELMAN, W. H.; GERLOFF, G. C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant Soil**. v.72, p.335-350, 1983.
- GONDIM, A. R. O. et al. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Ceres**. v.57, p.539-544, 2010.
- HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. Batata. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.91-109.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/>>. Acessado em: 07 de março de 2016.
- LOPES, C. A.; BUSO, J. A. Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.). (**Instruções Técnicas, 8**). Embrapa – Brasília, 1997. 36p.
- MAIA, C. et al. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.11, p.270-275, 2011.
- MALLMANN, N. et al. Acúmulo de massa seca em tubérculos de batata produzidos com diferentes doses de fertilizantes NPK. **Horticultura Brasileira**. v.23, n.2, 2005.
- MENDES, F. F. et al. Seleção simultânea para eficiência de uso e resposta ao fósforo em híbridos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, **Anais...** Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. Búzios, 2011.
- MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, v.19, p.174-180, 2001.
- MULLER, D. R. et al. Produção hidropônica de batata em diferentes concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, p.647-653, 2007.

- MULLER, D. R. et al. Expressão dos caracteres e seleção de clones de batata nas condições de cultivo de primavera e outono. **Ciência Rural**. v.39, p.1237-1334, 2009.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**. v.27, p.31-36, 1962.
- OLIVEIRA, V. R. et al. qualidade de processamento de tubérculos de batata produzidos sob diferentes disponibilidades de nitrogênio. **Ciência Rural**, v.36, p.660-663, 2006.
- PEREIRA, A. S. Composição química, valor nutricional e industrialização. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Ed.). **Produção de batata**. Brasília: Linha gráfica, 1987. p.12-28.
- PEREIRA, A. S. **Melhoramento genético; Correção e adubação do solo**. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS J. (Coord.). O cultivo da batata na região sul do Brasil. 1.ed. Brasília: Embrapa Clima Temperado, 159p. 2003.
- PREZOTTI, L. C.; CARMO, C. A. S.; ANDRADE NETO, A. P. M. **Nutrição mineral da batata**, v.27, 44p.1986.
- ROHR, A. **Variabilidade genética e tolerância ao déficit hídrico em genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2012. 64p. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2012.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. v.30, p.507-512, 1974.
- SHEN, J. et al. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**. v.156, p.997-1005, 2011.
- SHYMYAMA, N. A cadeia produtiva da batata no Brasil. In: IX Reunião Técnica de Pesquisa e Extensão da Cultura da Batata da Região Sul. **Anais...** Santa Maria, 9, RS, 25 e 26 de julho de 2006. 159p.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**. v.4, p.289-302, 1981.
- SILVA, F. L. et al. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. **Bragantina**. v.68, p.295-302, 2009.
- SILVA, G. O. et al. Relações entre caracteres de tubérculo de batata nas primeiras gerações de seleção. **Ceres**. v.61, p.370-376, 2014.
- SILVA, G. O. et al. Desempenho de cultivares nacionais de batata para produtividade de tubérculos. **Ceres**. v.61, p.752-756, 2014a.
- SORATTO, R. P. et al. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**. v.58, p.121-134, 2015.
- SOUZA, Z. S. et al. Seleção de clones de batata para processamento industrial em condições de clima subtropical e temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1503-1512, 2011.
- SOUZA, A. T. et al. Transpiration and leaf growth of potato clones in response to soil water deficit. **Scientia Agricola**. v.71, p.96-104, 2014.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2.ed. 1995. 174p.

WESTERMANN, D. T. Nutritional requirements of potatoes. **American Journal of Potato Research**. v.82, p.301-307, 2005.

YORINORI, G. T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. 'Atlantic'**. 2003. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2003.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. **Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas**. In: Revisão Anual de Patologia de Plantas. Passo Fundo. v.1, p.275-318, 1993.

ZANON, A. J. et al. Desenvolvimento das plantas e produtividade de tubérculos de batata em clima subtropical. **Revista Ciência Agronômica**. v.44, p.858-868, 2013.

Tabela 4 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva no número de folhas, no comprimento médio de haste, no número de tubérculos e na massa fresca de tubérculos dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016.

Época	Primavera				Outono										
	Baixo		Alto		Baixo		Alto								
Nível de P			Média ^I				Média ^{II}		Média ^{III}	Média ^{IV}					
Clone	Folhas (n° pl ⁻¹)														
Asterix	25,78	Aaα	29,44	Aaα	27,61	18,19	Abβ	14,40	Bbβ	16,29	21,98	21,92			
Atlantic	19,44	Bbβ	32,12	Aaα	25,78	22,35	Aaα	18,61	Baβ	20,48	20,90	25,36			
SMIC 148-A	12,80	Bdβ	20,72	Ada	16,76	15,98	Abα	14,75	Abβ	15,37	14,39	17,74			
SMINIA 793101-3	15,17	Bcβ	24,96	Aca	20,07	17,37	Abα	12,37	Bcβ	14,87	16,27	18,67			
Média ^V	18,30		26,81			18,47		15,03							
CV 1 (%)					1,66										
CV 2 (%)					1,71										
CV 3 (%)					2,10										
Comprimento médio de haste (cm pl ⁻¹)															
Asterix	20,89	Bbβ	29,40	Aaα	25,15	35,77	Abα	31,74	Bcα	33,75	28,33	30,57			
Atlantic	13,94	Bcβ	18,94	Acβ	16,44	29,52	Aca	26,22	Bbα	27,87	21,73	22,58			
SMIC 148-A	29,12	Aaβ	24,11	Bbβ	26,61	36,22	Abα	34,18	Abα	35,20	32,67	29,14			
SMINIA 793101-3	20,49	Bbβ	26,21	Abβ	23,35	48,26	Aaα	38,50	Baα	43,38	34,38	32,35			
Média ^V	21,11		24,66			37,44		32,66							
CV 1 (%)					12,20										
CV 2 (%)					12,92										
CV 3 (%)					7,50										
Tubérculos (n° pl ⁻¹)															
Asterix	2,97		3,81		3,39	βb	5,03		3,58	4,31	αc	4,00	Ab	3,70	Ac
Atlantic	2,76		4,26		3,51	βb	5,17		4,59	4,88	ab	3,96	Bb	4,42	Ab
SMIC 148-A	4,06		5,78		4,92	βa	7,77		5,56	6,66	αa	5,91	Aa	5,67	Aa
SMINIA 793101-3	3,28		3,61		3,44	βb	4,88		3,46	4,17	αc	4,08	Ab	3,53	Bc
Média ^V	3,26	B	4,36	A			5,71	A		4,3	B				
CV 1 (%)					4,36										
CV 2 (%)					6,87										
CV 3 (%)					5,08										
Massa fresca de tubérculos (g pl ⁻¹)															
Asterix	35,11	Bbα	74,59	Abα	54,85	20,41	Adβ	22,59	Acβ	21,50	27,76	48,59			
Atlantic	29,00	Bcβ	50,19	Acβ	39,60	70,78	Abα	75,97	Abα	73,38	49,89	63,08			
SMIC 148-A	46,46	Baβ	78,05	Abα	62,26	60,86	Bcα	80,09	Abα	70,47	53,66	79,07			
SMINIA 793101-3	38,70	Bbβ	101,88	Aaα	70,29	84,61	Aaα	87,08	Aaβ	85,85	61,66	94,48			
Média ^V	37,32		76,18			59,16		66,43							
CV 1 (%)					6,63										
CV 2 (%)					11,42										
CV 3 (%)					10,90										

^aMédias seguidas por letras maiúsculas diferentes nas linhas dentro de cada época de cultivo, médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas dentro de cada época de cultivo e médias seguidas por letras gregas diferentes no mesmo nível de fósforo entre as épocas de cultivo diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Média^I dos níveis de fósforo na primavera. Média^{II} dos níveis de P no outono. Média^{III} das épocas no baixo P. Média^{VI} das épocas no alto P. Média^V clones dentro de cada época para cada nível de P.

Tabela 5 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva na massa seca de folhas, de hastes, de tubérculos e de raízes dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016.

Época	Primavera			Outono					
Nível de P	Baixo	Alto	Média ^I	Baixo	Alto	Média ^{II}	Média ^{III}	Média ^{IV}	
Clone	Massa seca de folhas (g pl ⁻¹)								
Asterix	2,19 Bba	3,83 Aca	3,01	1,21 Acβ	1,32 Acβ	2,53	1,70	2,58	
Atlantic	1,55 Bcβ	2,59 Adβ	2,07	3,64 Bba	4,49 Aba	4,06	2,60	3,54	
SMIC 148-A	2,96 Baa	4,64 Aba	3,80	3,43 Aba	3,69 Abβ	3,56	3,20	4,16	
SMINIA 793101-3	3,28 Baβ	6,56 Aaa	4,92	4,96 Aaa	5,48 Aaβ	5,22	4,12	6,02	
Média ^V	2,49	4,41		3,31	3,74				
CV 1 (%)	13,93								
CV 2 (%)	15,79								
CV 3 (%)	13,26								
	Massa seca de hastes (g pl ⁻¹)								
Asterix	0,26 Bba	0,60 Aba	0,43	0,32 Aca	0,31 Acβ	0,31	0,29	0,45	
Atlantic	0,18 Acβ	0,25 Acβ	0,21	0,53 Bba	0,77 Aaa	0,65	0,36	0,51	
SMIC 148-A	0,46 Baa	0,56 Aba	0,51	0,50 Aba	0,39 Bbβ	0,45	0,48	0,48	
SMINIA 793101-3	0,40 Baβ	0,88 Aaa	0,64	1,06 Aaa	0,71 Baβ	0,89	0,73	0,80	
Média ^V	0,32	0,57		0,60	0,54				
CV 1 (%)	9,49								
CV 2 (%)	18,48								
CV 3 (%)	12,96								
	Massa seca de tubérculos (g pl ⁻¹)								
Asterix	6,58 Bba	14,99 Aba	10,78	2,98 Acβ	3,64 Abβ	3,31	4,78	9,32	
Atlantic	6,66 Bbβ	9,25 Ada	7,96	11,82 Aaa	11,33 Aaa	11,57	9,24	10,29	
SMIC 148-A	8,81 Baa	12,34 Aca	10,58	8,72 Bba	12,48 Aaa	10,60	8,77	12,41	
SMINIA 793101-3	6,36 Bbβ	26,48 Aaa	16,42	13,53 Aaa	11,96 Aaβ	12,74	9,95	19,22	
Média ^V	7,10	15,77		9,26	9,85				
CV 1 (%)	21,60								
CV 2 (%)	25,16								
CV 3 (%)	16,88								
	Massa seca de raízes (g pl ⁻¹)								
Asterix	0,16 Aaβ	0,13 Aca	0,15	0,11 Bca	0,18 Aba	3,58	0,14	0,16	
Atlantic	0,13 Baβ	0,29 Aba	0,21	0,24 Aba	0,21 Abβ	4,59	0,19	0,25	
SMIC 148-A	0,18 Baβ	0,45 Aaa	0,32	0,36 Aaa	0,39 Aaβ	5,56	0,27	0,42	
SMINIA 793101-3	0,20 Baa	0,29 Aba	0,24	0,21 Aba	0,22 Abβ	3,46	0,20	0,26	
Média ^V	0,17	0,29		0,23	0,25				
CV 1 (%)	10,43								
CV 2 (%)	16,49								
CV 3 (%)	16,58								

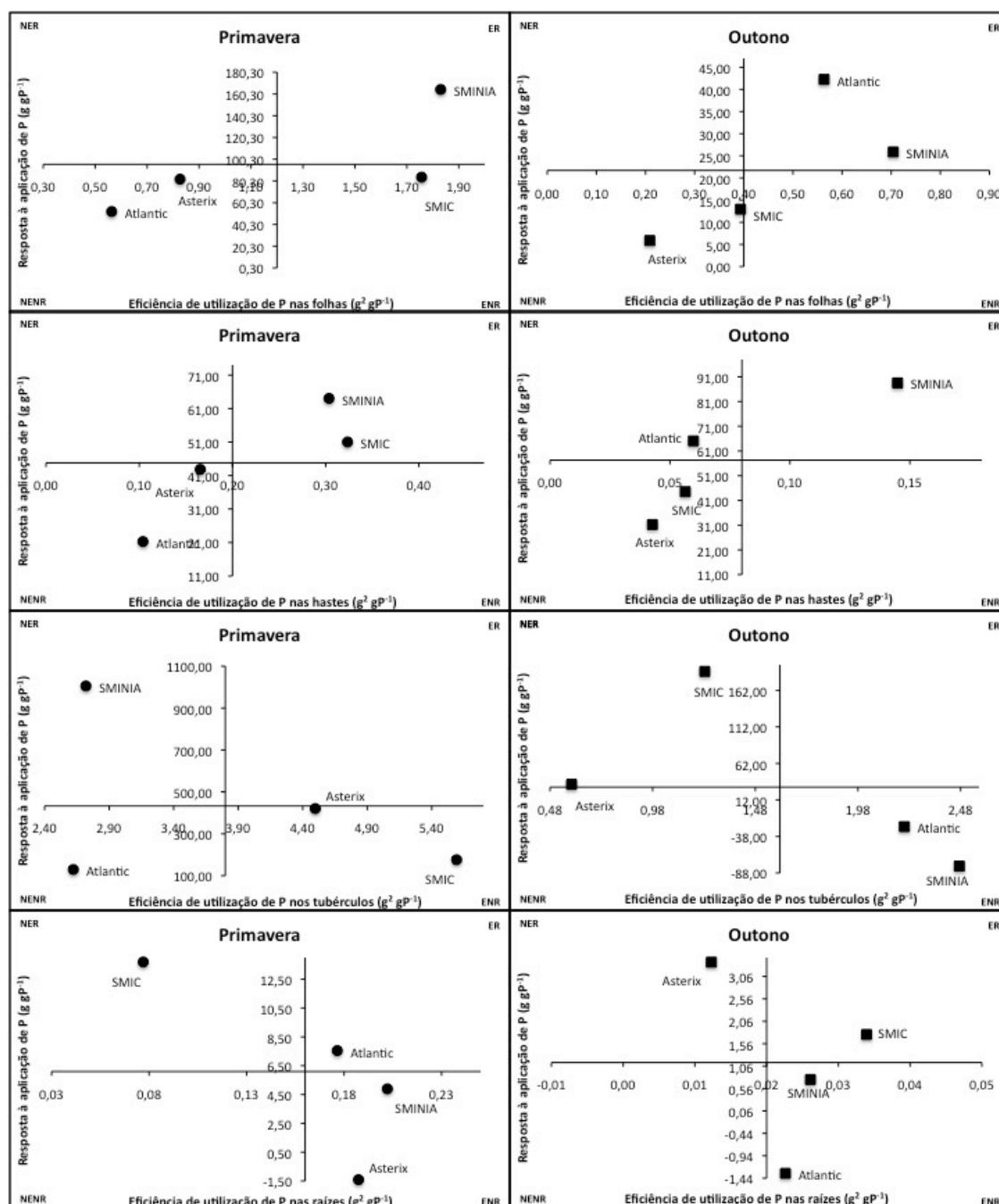
^aMédias seguidas por letras maiúsculas diferentes nas linhas dentro de cada época de cultivo, médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas dentro de cada época de cultivo e médias seguidas por letras gregas diferentes no mesmo nível de fósforo entre as épocas diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Média^I dos níveis de fósforo na primavera. Média^{II} dos níveis de P no outono. Média^{III} das épocas no baixo P. Média^{VI} das épocas no alto P. Média^V clones dentro de cada época para cada nível de P.

Tabela 6 – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva na acumulação de P nas folhas, nas hastes, nos tubérculos e nas raízes dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016.

Época	Primavera				Outono				Média ^{II}	Média ^{III}	Média ^{IV}	
	Baixo		Alto		Baixo		Alto					
Nível de P					Média ^I							
Clone	Acumulação de P nas folhas (mgP pl ⁻¹)											
Asterix	4,18	Ba α	20,35	Aca	12,26	7,36	Aca	8,49	Ac β	15,85	5,77	14,42
Atlantic	2,71	Ba β	16,10	Ac β	9,41	24,68	Bba	34,57	Ab α	29,62	13,69	25,34
SMIC 148-A	4,15	Ba β	25,33	Ab α	14,74	28,27	Ab α	30,96	Ab α	29,61	16,21	28,14
SMINIA 793101-3	6,47	Ba β	40,14	Aa α	23,30	34,72	Aa α	39,21	Aa α	36,97	20,60	39,67
Média ^V	4,38		25,48			23,76		28,31				
CV 1 (%)					17,11							
CV 2 (%)					19,92							
CV 3 (%)					16,74							
	Acumulação de P nas hastes (mgP pl ⁻¹)											
Asterix	0,38	Aa β	1,39	Aa β	0,89	3,09	Aca	3,15	Ada	3,12	1,74	2,27
Atlantic	0,21	Aa β	1,14	Aa β	0,67	5,53	Ab α	8,93	Aa α	7,23	2,87	5,04
SMIC 148-A	0,45	Aa β	1,40	Aa β	0,92	3,52	Aca	4,96	Aca	4,24	1,98	3,18
SMINIA 793101-3	0,42	Ba β	2,52	Aa β	1,47	7,53	Aa α	6,36	Ab α	6,94	3,97	4,44
Média ^V	0,36		1,61			4,92		5,85				
CV 1 (%)					5,06							
CV 2 (%)					34,98							
CV 3 (%)					28,55							
	Acumulação de P nos tubérculos (mgP pl ⁻¹)											
Asterix	9,50	Ba α	51,79	Ab α	30,65	17,39	Ada	23,03	Ac β	20,21	13,45	37,41
Atlantic	13,44	Ba β	32,54	Ac β	22,99	65,80	Ab α	62,75	Ab α	64,28	39,62	47,64
SMIC 148-A	11,94	Ba β	34,23	Ac β	23,08	51,98	Bca	80,58	Aa α	66,28	31,96	57,40
SMINIA 793101-3	8,38	Ba β	101,87	Aa α	55,13	79,77	Aa α	75,77	Aa β	77,77	44,08	88,82
Média ^V	10,81		55,11			53,73		60,54				
CV 1 (%)					11,45							
CV 2 (%)					17,07							
CV 3 (%)					13,63							
	Acumulação de P nas raízes (mgP pl ⁻¹)											
Asterix	0,15	Aa α	0,31	Aa β	0,23	0,76	Ab α	1,74	Ab α	3,58	0,46	1,02
Atlantic	0,11	Aa β	0,86	Aa β	0,48	3,49	Aa α	2,34	Bba	4,59	1,80	1,60
SMIC 148-A	0,29	Ba β	1,78	Aa β	1,03	4,34	Aa α	4,21	Aa α	5,56	2,32	2,99
SMINIA 793101-3	0,17	Aa β	1,21	Aa β	0,69	1,41	Bba	2,91	Ab α	3,46	0,79	2,06
Média ^V	0,18		1,04			2,50		2,80				
CV 1 (%)					65,14							
CV 2 (%)					35,88							
CV 3 (%)					33,16							

^aMédias seguidas por letras maiúsculas diferentes nas linhas dentro de cada época de cultivo, médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas dentro de cada época de cultivo e médias seguidas por letras gregas diferentes no mesmo nível de fósforo entre as épocas de cultivo diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Média^I dos níveis de fósforo na primavera. Média^{II} dos níveis de P no outono. Média^{III} das épocas no baixo P. Média^{IV} das épocas no alto P. Média^V clones dentro de cada época para cada nível de P

Figura 2 – Diagrama de classificação dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, e SMINIA 793101-3 quanto à eficiência de utilização do fósforo nas folhas, hastes, tubérculos e raízes e a resposta à aplicação do P; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR). Santa Maria, RS, 2016.



Apêndice A – Efeito dos níveis de P na solução nutritiva na concentração de P nas folhas, nas hastes, nos tubérculos e nas raízes dos clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A, SMINIA 793101-3; avaliados aos 62 dias após plantio em sistema fechado de cultivo com areia como substrato, na primavera e no outono do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2016.

Época	Primavera			Outono				
Nível de P	Baixo	Alto	Média ^I	Baixo	Alto	Média ^{II}	Média ^{III}	Média ^{IV}
Clone	Concentração de P nas folhas (mgP KgMS ⁻¹)							
Asterix	2196,7	5418,6	3807,7	5939,3	6557,7	6248,5	4068,0	5679,0
Atlantic	2196,7	6183,4	4190,1	6655,3	7387,6	7021,4	4426,0	6419,4
SMIC 148-A	1708,6	5613,9	3661,2	8526,6	8331,4	8429,0	5117,6	7070,3
SMINIA 793101-3	1871,3	6476,3	4173,8	7110,9	7094,7	7102,8	4491,1	6793,6
Média ^V	1993,3	5923,1		7058,1	7342,8			
	Concentração de P nas hastes (mgP Kg MS ⁻¹)							
Asterix	1529,6	2473,4	2001,5	8608,0	10121,3	9364,6	1765,5	6297,3
Atlantic	1415,7	4182,0	2798,8	9649,4	10495,6	10072,5	2107,2	7338,8
SMIC 148-A	1236,7	2457,1	1846,9	7908,3	10739,6	9324,0	1541,8	6598,4
SMINIA 793101-3	1171,6	2766,3	1968,9	7192,3	8494,1	7843,2	1570,3	5630,2
Média ^V	1338,4	2969,7		8339,5	9962,6			
	Concentração de P nos tubérculos (mgP Kg MS ⁻¹)							
Asterix	1497,0	3335,8	2416,4	5451,2	5858,0	5239,6	3474,1	4596,9
Atlantic	2261,8	3693,8	2977,8	5467,5	5028,1	5792,9	3864,6	4360,9
SMIC 148-A	1464,5	2945,3	2204,9	6508,9	6118,3	6142,8	3986,7	4531,8
SMINIA 793101-3	1741,1	3596,2	2668,6	5695,3	5776,6	5695,3	3718,2	4686,4
Média ^V	1741,1	3392,8		5780,7	5695,3			
	Concentração de P nas raízes (mgP Kg MS ⁻¹)							
Asterix	911,2	2440,8	1676,0	8331,4	10121,3	9226,3	1293,6	6281,1
Atlantic	960,1	2863,9	1912,0	13001,5	10707,1	11854,3	1436,0	6785,5
SMIC 148-A	1920,1	4377,2	3148,7	13554,7	10495,6	12025,1	2534,4	7436,4
SMINIA 793101-3	960,1	3872,8	2416,4	7387,6	13408,3	10397,9	1688,2	8640,5
Média ^V	1187,9	3388,7		10568,8	11183,1			

3. MANUSCRITO 2

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E RESPOSTA AO FÓSFORO DE CLONES DE BATATA

Resumo

A sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola requer a redução do uso de fertilizantes fosfatados. Para tanto, é preciso selecionar genótipos de batata que tenham alto rendimento e qualidade de tubérculos mesmo em condições limitantes de fósforo (P). O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência nutricional ao P bem como as respostas do uso do P para três clones de batata no sistema de cultivo fora do solo e em campo. Com esse propósito foram avaliados os clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 sob alto e baixo nível de P em cultivo em campo (70 e 560 kg P₂O₅ ha⁻¹) e em cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹). O experimento a campo foi avaliado aos 73 dias após o plantio e o experimento fora do solo aos 62 dias após o transplante. No cultivo em campo e no cultivo fora do solo os clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 não apresentam aumento na eficiência de absorção e na eficiência de utilização do P para compensar o baixo nível de P. A restrição de P causa redução na massa fresca de tubérculos para os três clones de batata nos dois sistemas de cultivo testados. Cada clone responde de uma maneira diferente aos sistemas de cultivo utilizados quanto a eficiência nutricional ao P. O sistema fechado de cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato superestima as respostas dos clones de batata em relação à disponibilidade de P.

Palavras-chave: absorção, enraizamento, *Solanum tuberosum* L., translocação, utilização.

Abstract

Phosphorus nutritional efficiency for potato clones

The sustainability of agricultural production systems requires the reduction of phosphate fertilizer use. In order for this to be achieved, it is necessary to conduct a selection of potato clones that have high performance and quality even in conditions of limited phosphorus (P). The objective of this study was to verify the P nutritional efficiency and the responses of the P use for three potato clones in soilless cultivation system and in the field. For this purpose, we evaluated the Asterix, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3 clones in high and low P levels of cultivation in the field (70 e 560 kg P₂O₅ ha⁻¹) and in the soilless cultivation system with the use of sand as a substrate (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹). The field experiment was evaluated at 73 days after planting and the soilless cultivation experiment at 62 days after transplantation. In the Field cultivation and in the soilless cultivation the Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 clones presented no increase in P uptake and utilization efficiency to compensate for the low level of P. The P restriction causes a reduction in the fresh mass tubers for three potato clones tested in both cropping systems. Each clone responde differently to cropping systems used as P nutritional efficiency. The closed soilless growing system with the use of sand as a substrate overestimates the responses of potato clones in relation to the P availability.

Keywords: rooting, *Solanum tuberosum* L., translocation, uptake, utilization.

Introdução

A sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola requer a redução do uso de insumos, especialmente dos fertilizantes minerais cujas fontes não são renováveis, como os

fosfatados (CORDELL et al., 2009; FLYNN e SMITH, 2010). Para tanto, é preciso melhorar a gestão do uso dos fertilizantes e selecionar genótipos que tenham alto rendimento e qualidade, mesmo em condições limitantes de nutriente. O fósforo (P) é um dos principais macronutrientes aplicados para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo superado apenas pelo nitrogênio (HAMMOND et al., 2011; PARENTONI e SOUZA Jr; 2008). Sua importância vai além da participação no processo de transferência de energia e regulação metabólica, sendo ele também constituinte estrutural de moléculas como os nucleotídeos e fosfolipídios (LIM et al., 2003; SHEN et al., 2011).

Além de enfrentar o fato que grande parte dos solos do mundo são naturalmente pobres em P, algumas culturas, como é o caso da batata (*Solanum tuberosum* L.), apresentam o sistema radicular bastante reduzido (PEREIRA, 2003; WANG et al., 2010). Isso faz com que sejam aplicadas altas doses de adubos fosfatados para que se atinja produções satisfatórias (NAVA et al., 2007).

Com a melhoria da eficiência nutricional das plantas cultivadas aumenta-se a produtividade e reduz-se o emprego de adubos, com conseqüente diminuição dos custos (GONDIM et al., 2010). A eficiência nutricional é dependente de dois fatores principais: a aquisição e o uso do P. A primeira é influenciada por parâmetros cinéticos (absorção) e morfológicos (enraizamento), enquanto que a segunda depende da translocação e da conversão em biomassa (utilização) (BAILIAN et al., 1991; FOX, 1978; MOURA et al., 2001). Assim, a eficiência nutricional ao P está relacionada com a maior produção de biomassa associada ao menor consumo de P, em condição de suprimento adequado ou limitado.

A diferença entre clones quanto à eficiência nutricional ao P é explicada por diferentes mecanismos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares (GAXIOLA et al., 2011; PLAXTON e TRAN, 2011; YANG e FINNEGAN, 2010). A existência dessa variabilidade é o que nos permite selecionar aqueles clones que apresentam rápido crescimento e baixa demanda por adubos fosfatados. A combinação do potencial genético das plantas em relação à eficiente absorção, translocação e utilização interna do P pode tornar a cadeia produtiva da batata mais sustentável (BIRCH et al., 2012).

Com o propósito de facilitar o processo de seleção de clones de batata mais eficientes ao P, além de auxiliar na produção de batata semente de qualidade, tem-se utilizado os sistemas de cultivo fora do solo, que permitem melhor controle das concentrações dos nutrientes (BISOGNIN et al., 2015). Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência

nutricional ao P bem como as respostas do uso do P para três clones de batata no sistema de cultivo fora do solo e em campo.

Material e métodos

A campo o experimento foi instalado na primavera de 2013 (de 05/09 a 19/12) em área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS (29°43'38''S, 53°43'21''O e altitude de 95m), em solo do tipo Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico Úmbrico (EMBRAPA, 2006). Esta área havia sido preparada para o plantio em 2008 (calagem e adubação) mas não foi cultivada por cinco anos e apresentava teor muito baixo de P (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m antes da instalação do experimento.

pH em água	CTC _{pH 7,0}	M. O. (%)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)
6,1	10,4	5,4	1,5	55

O preparo do solo foi realizado de forma convencional. Os tubérculos sementes foram semeados num espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,35 m entre tubérculos. A adubação de semeadura foi realizada no sulco de plantio com base nos resultados da análise química da camada de 0-0,20 m. O fósforo foi adicionado na forma de superfosfato triplo (0-42-0), o nitrogênio na forma de ureia e o potássio na forma de cloreto de potássio. Os demais tratos culturais e o manejo da lavoura foram feitos de acordo com as recomendações técnicas para o cultivo da batata (BISOGNIN, 1996).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, onde cada nível de P representou um ambiente e dentro de cada ambiente foram casualizado os tratamentos (clones). A unidade experimental foi constituída por 2 fileiras de 5 m de comprimento, desprezando-se 0,7 m na extremidade de cada fileira, além disso duas linhas de bordadura envolviam todo o experimento. Foram avaliados os clones de batata SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 e a cultivar Asterix (que será referida como clone para fins de simplificação) e dois níveis de P, chamados neste trabalho de baixo e alto níveis de P (70 e 560 kg P₂O₅ ha⁻¹).

Para o experimento no sistema de cultivo fora do solo foram utilizados os mesmo clones de batata, que foram micropropagados em meio MS de cultivo (MURASHIGE e SKOOG, 1962) mantidas em sala de crescimento por 14 dias e então foram retiradas do meio MS, suas raízes lavadas em água de torneira e aclimatizados por mais 14 dias em sistema de cultivo sem solo com areia como substrato (BANDINELLI et al., 2013), mantidas sob sombrite (60% de extinção luminosa) durante os cinco primeiros dias. Nesse sistema composto por bandejas,

a areia utilizada foi previamente lavada uma vez com hipoclorito de sódio e três vezes com água de torneira, eram realizadas três irrigações com solução nutritiva durante o dia, com a duração de 15 min cada uma, com o auxílio de um programador digital e uma bomba de baixa vazão de modo que todo o substrato ficasse saturado de solução. A solução excedente foi drenada através de um orifício situado na base da bandeja. Após esse período as plantas foram transplantadas para um sistema de cultivo em areia semelhante ao utilizado para a aclimatização, onde em cada bandeja eram colocadas doze plantas num espaçamento 10 por 10 cm.

Os tratamentos de fósforo consistiram de 5 e 50% da concentração padrão de P na solução nutritiva desenvolvida para o cultivo sem solo de batata (ANDRIOLO, 2006), chamados neste trabalho de baixo ($2,32 \text{ mg P L}^{-1}$) e alto ($23,2 \text{ mg P L}^{-1}$) níveis de P. Para manter o teor de potássio da solução padrão, utilizou-se o KCl. A condutividade elétrica (CE) foi mantida em $2 \text{ dS m}^{-1} \pm 0,2$ (água foi utilizada para reduzir a CE quando necessário) e o pH em 5,7 ajustados a cada dois dias através da adição de HCl. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, num delineamento blocos ao acaso, utilizando-se quatro repetições. A unidade experimental foi constituída de três plantas.

Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento.

	Solução nutritiva	Baixo P	Alto P
Fontes (g L^{-1})	KNO ₃	0,505	0,505
	Ca (NO ₃) ₂	0,724	0,724
	KH ₂ PO ₄	0,01	0,102
	KCl	0,106	0,0559
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,308	0,308
	Fe-EDTA	0,02	0,02
	Solução de micronutrientes	0,1	0,1
Fertilizantes para preparo da solução de micronutrientes (g L^{-1})*	Na ₂ MoO ₄	0,7	0,7
	H ₃ BO ₃	15	15
	CuSO ₄	2,5	2,5
	MnSO ₄	20	20
	ZnSO ₄	10	10

*Para o preparo de 1 L de solução nutritiva é utilizado 0,1 ml da solução de micronutrientes.

Aos 73 dias após o plantio (DAP) para o experimento a campo e aos 62 após o transplantio (DAT) para o experimento em cultivo fora do solo, as plantas foram lavadas com água de torneira e divididas em parte aérea, tubérculos e raízes. Foram avaliados (em gramas) a massa fresca de tubérculos (MFT) e após secagem do material por 15 dias em estufa a 65 °C a massa seca de parte aérea (MSPA), de tubérculos (MST) e de raízes (MSR) e então as

amostras foram maceradas.

A análise da concentração de fósforo total nos tecidos foram realizada conforme Tedesco et al. (1995), com a digestão de 0,2 g de tecido com 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na₂SO₄, 10 g de CuSO₄.5H₂O e 1 g de selênio) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) permanecendo em bloco de digestão por uma hora na temperatura de 350°C. A determinação do P nos extratos dos tecidos das plantas foi realizada por colorimetria, conforme Murphy e Riley (1962).

O acúmulo de P nos tecidos foi obtido pelo produto entre a concentração de P e a massa seca de cada órgão da planta. Uma vez obtidos esses dados, estimaram-se os seguintes índices de eficiência: 1) eficiência de enraizamento (EEP): (massa seca de raiz)² / acúmulo P na parte aérea, conforme Siddiqi e Glass (1981); 2) eficiência de absorção de P (EAP): acúmulo de P na planta / massa seca de raiz, conforme Swiader et al. (1994); 3) eficiência de translocação de P (ETP): acúmulo de P na parte aérea / acúmulo de P total, conforme Li et al. (1991); 4) eficiência de utilização de P (EUP): (massa seca total da planta)² / acúmulo de P na planta inteira, conforme Siddiqi e Glass (1981); 5) índice de colheita (IC): {[massa seca de tubérculos) / (massa seca total da planta)]*100}, conforme Nautyal et al. (2002); 6) índice de resposta a massa fresca de tubérculos (IRMFT): (diferença entre a produtividade de tubérculos nos dois níveis de P) / (diferença entre os níveis de P utilizados), conforme Fox (1978); e 7) índice de resposta a massa seca total da planta (IRMSTotal): (diferença entre a massa seca total das planta nos dois níveis de P) / (diferença entre os níveis de P utilizados), conforme Fox (1978).

Para a análise conjunta dos dados do experimento a campo foi utilizado o software estatístico Genes (CRUZ, 2006) e para a análise estatística dos dados do experimento em hidroponia o software Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011). Realizaram-se análises de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A eficiência de enraizamento ao P (EEP), a eficiência de translocação de P (ETP) e o índice de colheita (IC) em cultivo a campo foram as únicas variáveis analisados neste trabalho que não apresentaram interação entre clones de batata e níveis de P.

Como resposta a uma condição de restrição de P, as plantas promovem algumas mudanças na morfologia e arquitetura do sistema radicular usando aumentar a superfície de aquisição de P (GAXIOLA et al., 2011). A planta de batata tem por característica possuir um sistema radicular pequeno. No presente estudo realizado a campo, verificou-se que o sistema radicular pouco se desenvolveu para contribuir na aquisição de P na condição de limitação do

nutriente, uma vez que investiu pouco na produção de massa seca do sistema radicular quando em baixo nível de P (Tabela 3). Comparado com o crescimento da parte aérea da planta, o crescimento radicular é menos afetado sob a deficiência de P, fato que conduz a um decréscimo na razão parte aérea/raiz (SMITH et al., 1990). Desse modo, fica evidenciado que esse mecanismo adaptativo para contornar a baixa disponibilidade de P não foi expressado na batata, ou ocorreu por pouco tempo.

Ao contrário do observado para os clones de batata no campo, no cultivo fora do solo a EEP foi diferente entre os níveis de P para os três clones de batata, sendo maior no baixo nível de P (Tabela 4). Em baixas concentrações de P as plantas direcionam os fotoassimilados para o crescimento das raízes em detrimento da parte aérea, fato que aumenta a exploração de um maior volume de substrato (NIU et al., 2012; TIESSEN, 2008). Ou seja, no momento em que as plantas foram avaliadas, os clones de batata apresentaram crescimento e desenvolvimento superior do sistema radicular como resposta a condição de baixo P. Isto pode ter ocorrido em consequência do aumento da taxa de crescimento em extensão da raiz, aumento da formação de raízes laterais ou de pêlos radiculares (ABEL et al., 2002), promovendo maior aquisição de P da solução nutritiva. Essa relação entre parâmetros radiculares e eficiência nutricional ao P também já foi sugerida em estudos comparando genótipos de feijão (LIAO et al., 2001) e trigo (SILVA et al., 2015) sob baixo nível de P no solo, onde as plantas com baixa eficiência de absorção de P (EAP) apresentaram maior volume e comprimento de raízes do que plantas com alta EAP.

Uma melhora na eficiência nutricional ao P pode ser obtida através da seleção de clones de batata com maior capacidade de absorver o P do solo em condição limitante do nutriente (BALEMI, 2011). Nos estádios iniciais do crescimento e desenvolvimento das plantas, a absorção de P pelas raízes é a maior fonte de P para a planta. Assim, os clones com capacidade superior em absorver P do substrato garantem a formação adequada dos seus tecidos e órgãos (PINTO et al., 2011). Entretanto, para os três clones, em ambos os cultivos, não houve aumento na EAP para compensar o baixo nível de P (Tabela 3 e 4). Ao contrário, no cultivo a campo, o clone Asterix apresentou redução de 12,35% na EAP no baixo nível de P (Tabela 3) e no cultivo hidropônico a EAP também foi menor no baixo nível de P para os clones Asterix e SMINIA 793101-3, em 92,1 e 86,6%, respectivamente (Tabela 4). Os dois experimentos foram avaliados na fase de tuberização, onde ocorre uma mudança na fonte de abastecimento de P para a planta, que pode ser intensificada com a restrição de P, de modo que a principal fonte de P para o crescimento pode ter passado a ser o P remobilizado de

outros tecidos e não mais o P absorvido do solo (PLAXTON e TRAN, 2011; VENEKLAAS et al., 2012).

Outro fator que pode influenciar na eficiência nutricional do P é o transporte do P do local de absorção na raiz para outro ponto qualquer, dentro ou fora da raiz. No cultivo a campo, a translocação do P das raízes para a parte aérea não foi um mecanismo limitante ao processo metabólico de assimilação do P, uma vez que os clones transportaram 29,8% a mais de P para a parte aérea quando submetidos ao baixo nível de P no solo (Tabela 3). No entanto, no cultivo fora do solo, o clone Asterix não diferiu na eficiência de translocação do P (ETP) entre os níveis de P, mas os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 apresentaram maior ETP no alto nível de P, respectivamente 41 e 49%. Geralmente as plantas deficientes em P retêm mais P nas raízes e o translocam menos para a parte aérea (MARTINEZ et al., 1993), para manter o crescimento do sistema radicular, de forma prioritária, o qual aumenta a aquisição de P para restabelecer o metabolismo.

A capacidade interna da planta em utilizar o P também interfere na eficiência nutricional. Segundo Balemi e Schenk (2009) a diferença na eficiência nutricional ao P entre clones de batata é resultado da eficiência de utilização do P (EUP) e não da EAP. Neste trabalho a EUP no cultivo a campo para os clones Asterix e SMIC 148-A aumentou 46,3 e 93,9% (Tabela 3) e no cultivo fora do solo o clone SMINIA 793101-3 apresentou aumento de 51,8% quando cultivados no alto nível de P (Tabela 4). Esses resultados contrariam um grande número de trabalhos que mostram que quanto mais P disponível às plantas menor é a EUP (GONDIM et al., 2010; MOURA et al., 2001). Provavelmente estas discrepâncias estejam relacionadas aos clones e as condições experimentais utilizadas.

Quanto à produção de biomassa de interesse comercial, em ambos os cultivos, os três clones apresentaram maior produção de massa fresca de tubérculos (MFT) sob alto nível de P, apesar do SMIC 148-A não ter apresentado diferença entre os níveis de P no cultivo a campo. Esse aumento foi de 193,3 e 71% para os clones Asterix e SMINIA 793101-3 respectivamente, no cultivo a campo (Tabela 3) e no cultivo fora do solo de 108,3, 96,2 e 287,4% para os clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 respectivamente (Tabela 4). Esses resultados ajudam a confirmar os efeitos que o P promove sobre os tubérculos, já citados por Prezotti et al. (1986), no qual o P atua estimulando a formação de tubérculos grandes, apressando a maturação e reduzindo o ciclo da cultura.

Devido a grande participação dos tubérculos na massa seca total (MSTotal), esta variável apresentou a mesma resposta da MSTotal para os três clones nos dois sistemas de cultivo, com menor produção de MSTotal no baixo nível de P, com exceção do clone SMINA

793101-3 que não apresentou diferença entre os níveis de P no cultivo a campo. Foi observado no cultivo a campo em baixo nível de P redução de 37 e 26% na MSTotal, respectivamente para os clones Asterix e SMIC 148-A (Tabela 3). Já no cultivo fora do solo em baixo nível de P a redução na MSTotal dos clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 foi de 57, 42, e 73%, respectivamente (Tabela 4). Balemi (2009), em um trabalho avaliando a eficiência nutricional ao P entre clones de batata contrastantes quanto à eficiência ao P, também observou que a restrição de P afetou mais severamente a MSTotal de clones ineficientes ao P, onde a redução no baixo P chegou a 75% da MSTotal, enquanto para clones eficientes ao P essa redução ficou próxima aos 30%. Desta forma, no presente trabalho o clone SMIC 148-A, por apresentar redução na MSTotal menor que 30%, foi classificado como eficiente ao P no cultivo a campo. Já o clone SMINIA 793101-3 como ineficiente ao P no cultivo fora do solo, por apresentar redução de MSTotal próxima a 75%.

A otimização do aproveitamento dos adubos fosfatados é um aspecto a ser considerado em uma agricultura mais sustentável (GAXIOLA et al., 2011). Ao considerarmos a utilização de clones de batata que produzem maior biomassa por unidade de P absorvido ou que produzem maior biomassa com menor consumo de P estaremos contribuindo para a sustentabilidade da cadeia produtiva da batata. Deste modo, é preferível no cultivo a campo a utilização do clone Asterix que foi o que obteve o maior índice de resposta ao P na produção de massa seca total (IRMSTotal), produzindo 0,165 g mg^{-1} P, enquanto os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 produziram apenas 0,053 e 0,033 g mg^{-1} P (Tabela 5). Da mesma forma, se considerarmos a produção de MFT, onde o Asterix também foi o mais responsivo entre os clones, com produção de 0,812 g de tubérculos por unidade do P absorvido, enquanto os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 produziram apenas 0,164 e 0,368 g (Tabela 5). O que corrobora com os resultados encontrados por Soratto et al. (2015), que avaliando cinco cultivares de batata quanto a eficiência de absorção, uso e resposta ao P em experimento em casa de vegetação, utilizando vasos com solo como substrato, também classificaram o clone Asterix como responsivo ao P na produção de MFT e MSTotal.

Já no cultivo fora do solo, o clone SMINIA 793101-3 foi o mais responsivo entre os clones, tanto na produção de MFT (4,35 g mg^{-1} P) quanto na produção de MSTotal (1,22 g mg^{-1} P) sem diferir do clone Asterix na produção de MFT (1,93 g mg^{-1} P) (Tabela 5). Essa maior eficiência de resposta do clone SMINIA 793101-3 deve estar ligada a melhor utilização do P, uma vez que, entre os clones o SMINIA 793101-3 foi o que melhor utilizou o P no alto nível de P (Tabela 4). Ou seja, o clone que melhor utiliza o P tende a ser o mais responsivo e, consequentemente, o que mais produz MFT e MSTotal em cultivo fora do solo. Ao

analisarmos as respostas dos clones de batata à aplicação de P nos sistemas de cultivos, foi possível perceber que o acréscimo na produção de MFT e MSTotal por unidade do nutriente, para os três clones, foi superior no sistema de cultivo fora do solo (Tabela 3 e 4). Um dos motivos para esse maior índice de resposta dos clones de batata no cultivo fora do solo comparativamente ao cultivo em campo deve-se a maior disponibilidade do P nesse sistema. No solo o P interage com as partículas sólidas de diferentes características físico-químicas, ficando menos disponível às plantas. Enquanto que, quando as plantas crescem em solução nutritiva o P está prontamente disponível para as plantas, o que muitas vezes torna inclusive desnecessário o desenvolvimento do sistema radicular mesmo em concentrações baixas de P na solução nutritiva.

Quanto ao IC, que refere-se a fração dos tubérculos em relação a biomassa total da planta, no cultivo a campo a restrição de P provocou redução no IC em 16,4%, sendo que entre os clones o Asterix teve o maior IC (40,1%), seguido do SMINA 793101-3 (32,7%) e do SMIC 148-A (23,0%) (Tabela 2). Já no cultivo fora do solo, a restrição de P provocou redução de 7,4% no IC para o clone Asterix, aumento de 8,4% para o clone SMIC 148-A e não afetou o IC do clone SMINIA 793101-3 (Tabela 4). No alto nível de P o maior IC foi observado para o clone Asterix (76,7%) porém, no baixo nível não foi possível diferenciar os clones pelo IC, assim como ocorreu para todas as demais variáveis analisadas neste trabalho no cultivo fora do solo, sendo possível presumir que neste sistema, a restrição de P seja limitante do rendimento da cultura.

Os valores de IC encontrados neste estudo variaram de 22 a 44% (Tabela 3) para os clones cultivados a campo ficando próximos aos IC encontrados por Bisognin e Dellai (2015) para as cultivares Macaca e Asterix que variou de 0,2 a 0,6 dependendo da época de cultivo, mas muito baixo para um cultivo de batata a campo, onde espera-se encontrar IC maior que 0,6 como os já relatados por BELANGER et al. (2001) e MAZURCZYK et al. (2009). Já o cultivo fora do solo apresentou IC que superaram as expectativas, maiores que 69% (Tabela 4) para todos os clones, mostrando que além das características genéticas dos clones, as condições do sistema de cultivo também podem proporcionar mudança no IC para clones de batata.

Conclusão

No cultivo em campo e no cultivo fora do solo os clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 não apresentam aumento na eficiência de absorção e na eficiência de utilização do P para compensar o baixo nível de P.

A restrição de P causa redução na massa fresca de tubérculos para os clones Asterix e SMINIA 793101-3 nos dois sistemas de cultivo testados e para o clone SMIC 148-A apenas no cultivo fora do solo.

Cada clone responde de uma maneira diferente aos sistemas de cultivo utilizados quanto a eficiência nutricional ao P.

O sistema fechado de cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato superestima as respostas dos clones de batata em relação à disponibilidade de P.

Referências

- ABEL, S.; TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiology Plant**. v.115, p.1-8, 2002.
- ANDRIOLO, J. L. Sistema hidropônico fechado com subirrigação para produção de minitubérculos de batata. In: SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO GENÉTICO E PREVISÃO DE EPIFITIAS EM BATATA. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2006. p.26-40.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Forest Science**. v.37, p.613-626, 1991.
- BALEMI, T. Effect of phosphorus nutrition on growth of potato genotypes with contrasting phosphorus efficiency. **African Crop Science Journal**. v.17, p.199-212, 2009.
- BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v.172, p.669-677, 2009.
- BALEMI, T. Screening for genotypic variation in potato for phosphorus efficiency. **International Research Journal of Plant Sciences**, v.2, p.233-243, 2011.
- BANDINELLI, M. G. et al. Concentração dos sais e da sacarose do meio MS na multiplicação *in vitro* e na aclimatização de batata. **Horticultura Brasileira**. v.31, p.242-247, 2013.
- BELANGER, G. et al. Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation. **American Journal Potato Research**. v.78, p.109-117, 2001.
- BIRCH, P. J. et al. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? **Food Security**. v.4, p.477-508, 2012.
- BISOGNIN, D. A. (Coord.). **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996, 64p.
- BISOGNIN, D. A. et al. Rooting Potential of Mini-Cuttings for the Production of Potato Plantlets. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, p.366-371, 2015.
- BISOGNIN, D. A. DELLAI, J. Shoot growth restriction in dry matter partitioning and minituber production of potato plants. **Ciência Rural**. v.45, p.1917-1924, 2015.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**. v.19, p.292-305, 2009.

- CRUZ, C. D. **Programa Genes**. Viçosa: UFV, 2006. 382p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v.35, p.1039-1042, 2011.
- FLYNN, H. C.; SMITH, P. Greenhouse gas budgets of crop production - current and likely future trends. **International Fertiliser Industry Association**. Paris. 2010. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/2164/1275>>. Acesso em: 21 de abr. de 2015.
- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.9, p.13-37, 1978.
- GAXIOLA, R. A.; EDWARDS, M.; ELSER, J. J. A transgenic approach to enhance phosphorus use efficiency in crops as part of a comprehensive strategy for sustainable agriculture. **Chemosphere**. v. 84, p.840–845, 2011.
- GONDIM, A. R. O. et al. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Ceres**. v.57, p.539-544, 2010.
- HAMMOND, J. P. et al. Gene expression changes in phosphorus deficient potato (*Solanum tuberosum* L.) leaves and the potential for diagnostic gene expression markers. **Plos One**, v.6, n.9, e24606, 2011.
- LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**. v.37, p.613-626, 1991.
- LIAO, H. et al. Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. **Plant Soil**. v.232, p.69-79, 2001.
- LIM, J. H. et al. Differential Responses of Rice Acid Phosphatase Activities and Isoforms to Phosphorus Deprivation. **Journal of Biochemistry and Molecular Biology**. v.36, p.597-602, 2003.
- MAZURCZYK, W.; WIERZBICKA, A.; TRAWCZYNSKI, C. Harvest index of potato crop grown under different nitrogen and water supply. **Acta Science Polonorum**. v.8, p.15-21, 2009.
- MARTINEZ, H. E. O. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo. II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.17, p.239-244, 1993.
- MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**. v.19, p.174-180, 2001.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. **Physiologia Plantarum**. v.15, p.473-497, 1962.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.
- NAVA, G.; DECHEN, A. R.; IUCHI, V. L. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. **Horticultura Brasileira**. v.25, p.365-370, 2007.
- NAUTYAL, P. C.; NAGESWARA-RAO, R. C.; JOSHI, Y. C. Moisture deficit induced change in leaf water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. **Field Crops Research**. v.74, p. 67-79, 2002.

- NIU, Y. F. et al. Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review. **Annals of Botany**. v. 112, p.391-408, 2012
- PARENTONI, S. N.; SOUZA JR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, p.893-901, 2008.
- PEREIRA, A. S. 2003. **Melhoramento genético**. In: PEREIRA A da S; DANIELS J (eds). O cultivo da batata na Região Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.105-124.
- PINTO, S. I. C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.523-533, 2011.
- PLAXTON, W. C.; TRAN, H. T. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. **Plant Physiology**. v.156, p.1006–1015, 2011.
- PREZOTTI, L. C.; CARMO, C. A. S.; ANDRADE NETO, A. P. M. **Nutrição mineral da batata**, v.27, 44p.1986.
- SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**. v.156, p.997-1005, 2011.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**. v.4, p.289-302, 1981.
- SILVA, A. et al. Phosphorus uptake efficiency, root morphology and architecture in Brazilian wheat cultivars. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. v.307, p.1055-1063, 2015.
- SMITH, F. W. et al. Internal phosphorus flows during development of phosphorus stress in *stylosanthes hamata*. **Australian Journal of Plant Physiology**. v.17, p.451-64, 1990.
- SORATTO, R. P. et al. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**. v.58, p.121-134, 2015.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**. v.17, p.1687-1699, 1994.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2.ed. 1995. 174p.
- TIESSEN, H. Phosphorus in the global environment. **The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions**, v.7, p.1-7, 2008.
- VENEKLAAS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**. v.195, p.306-320, 2012.
- YANG, X. J.; FINNEGAN, P. M. Regulation of phosphate starvation responses in higher plants. **Annals of Botany**. v.105, p.513-526, 2010.
- WANG, J. SHEN, J. LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**. v.179, p.302-306, 2010.

Tabela 3 – Eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização do P, massa fresca de tubérculos, massa seca total da planta e índice de colheita dos clones de batata cultivados a campo e avaliados aos 73 DAP. Santa Maria, RS, 2016.

Nível de P	Clone			Média
	Asterix	SMIC 148-A	SMINIA 793101-3	

Eficiência de enraizamento ao P (EEP) (g ² msr mg ⁻¹ P na parte aérea)				
Alto	0,24	0,18	0,29	0,23 A
Baixo	0,13	0,12	0,17	0,14 B
Média	0,18 b	0,15 b	0,23 a	
CV (%)	13,90			

Eficiência de absorção de P (EAP) (mg g ⁻¹)				
Alto	56,43 Aa	35,66 Ab	45,06 Aab	45,72
Baixo	49,46 Ba	41,51 Ab	46,19 Ac	45,72
Média	52,94	38,58	45,63	
CV (%)	9,21			

Eficiência de translocação de P (ETP)				
Alto	50,98	66,21	47,89	55,03 B
Baixo	69,27	77,57	67,30	71,38 A
Média	60,13 b	71,89 a	57,60 b	
CV (%)	7,88			

Eficiência de utilização de P (EUP) (g ² mg ⁻¹)				
Alto	31,85 Aa	16,89 Ac	25,16 Ab	24,63
Baixo	21,76 Ba	8,71 Bb	22,68 Aa	17,72
Média	26,81	12,80	23,92	
CV (%)	10,68			

Massa fresca de tubérculo (MFT) (g pl ⁻¹)				
Alto	300,25 Aa	77,30 Ac	199,33 Ab	192,30
Baixo	101,33 Bab	37,15 Ab	116,56 Ba	85,01
Média	200,79	57,23	157,95	
CV (%)	29,55			

Massa seca total (MSTotal) (g pl ⁻¹)				
Alto	108,93 Aa	50,19 Ac	82,66 Ab	80,59
Baixo	68,48 Ba	37,15 Bb	74,50 Aa	60,04
Média	88,70	43,67	78,58	
CV (%)	10,82			

Índice de colheita (IC) (%)				
Alto	44,3	23,2	36,8	34,8 A
Baixo	35,9	22,7	28,6	29,1 B
Média	40,1 a	23,0 c	32,7 b	
CV (%)	16,94			

^aValores seguidos por letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não diferem significativamente em P≤0,05 pelo teste de Tukey.

Tabela 4 – Eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização do P, massa fresca de tubérculos, massa seca total da planta e índice de colheita dos clones de batata cultivados fora do solo com areia como substrato e avaliados aos 62 DAT. Santa Maria, RS, 2016.

Nível de P	Clone			Média
	Asterix	SMIC 148-A	SMINIA 793101-3	

Eficiência de enraizamento ao P (EEP) ($\text{g}^2 \text{msr mg}^{-1} \text{P}$ na parte aérea)				
Alto	0,001 Bb	0,010 Ba	0,002 Bb	0,004
Baixo	0,019 Aa	0,019 Aa	0,015 Aa	0,018
Média	0,010	0,015	0,008	
CV (%)	27,34			

Eficiência de absorção de P (EAP) (mg g^{-1})				
Alto	628,80 Aa	129,90 Ac	479,76 Ab	412,82
Baixo	49,34 Ba	52,63 Aa	64,27 Ba	55,41
Média	339,07	91,27	272,01	
CV (%)	24,75			

Eficiência de translocação de P (ETP)				
Alto	30,87 Aa	38,34 Aa	41,08 Aa	36,76
Baixo	31,50 Aa	27,19 Ba	27,49 Ba	28,73
Média	31,19	32,76	34,28	
CV (%)	17,62			

Eficiência de utilização de P (EUP) ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$)				
Alto	5,34 Ab	4,07 Ab	8,03 Aa	5,81
Baixo	5,52 Aa	5,79 Aa	5,29 Ba	5,53
Média	5,43	4,93	6,66	
CV (%)	22,19			

Massa fresca de tubérculo (MFT) (g pl^{-1})				
Alto	77,51 Ab	62,84 Ab	122,31 Aa	87,55
Baixo	37,21 Ba	32,02 Ba	31,57 Ba	33,60
Média	57,36	47,43	76,94	
CV (%)	23,96			

Massa seca total (MSTotal) (g pl^{-1})				
Alto	19,78 Ab	15,83 Ab	34,70 Aa	23,44
Baixo	8,55 Ba	9,18 Ba	9,22 Ba	8,98
Média	14,17	12,51	21,96	
CV (%)	22,19			

Índice de colheita (IC) (%)				
Alto	76,70 Aa	68,80 Bb	70,20 Ab	0,72
Baixo	71,00 Ba	74,60 Aa	71,00 Aa	0,72
Média	73,85	71,70	70,60	
CV (%)	4,85			

^aValores seguidos por letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não diferem significativamente em $P \leq 0,05$ pelo teste de Tukey.

Tabela 5 – Índice de resposta ao P na massa fresca de tubérculos e na massa seca total da planta dos clones de batata cultivados a campo e fora do solo com o uso de areia como substrato aos 73 DAP e 62 DAT, respectivamente. Santa Maria, RS, 2016.

Clone	Índice de Resposta ao P na massa fresca de tubérculos (IRMFT) (g MFT mg P ⁻¹)			Índice de Resposta ao P na massa seca total (IRMSTotal) (g MSTotal mg P ⁻¹)		
	Campo	Hidroponia	Média	Campo	Hidroponia	Média
Asterix	0,812 a	1,930 ab	1,371	0,165 a	0,538 b	0,352
SMIC 148-A	0,164 b	1,476 b	0,820	0,053 b	0,318 b	0,186
SMINIA 793101-3	0,338 b	4,346 a	2,342	0,033 b	1,220 a	0,627
Média	0,438	2,584		0,084	0,692	
CV (%)	33,29	47,06		41,07	40,63	

^aValores seguidos por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem significativamente em $P \leq 0,05$ pelo teste de Tukey.

Apêndice A – Concentração de P na parte aérea, nos tubérculos e nas raízes dos clones de batata cultivados em campo, avaliados aos 73 DAP e fora do solo com areia como substrato, avaliados aos 62 DAT. Santa Maria, RS, 2016.

Nível de P	Clone			Média
	Asterix	SMIC 148-A	SMINIA 793101-3	
Sistema de cultivo em campo				
Concentração de P na parte aérea (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	6668,3	5680,6	5654,6	6001,2
Baixo	7112,7	9075,0	6966,7	7718,1
Média	6890,5	7377,8	6310,7	

Concentração de P nos tubérculos (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	3395,1	3344,1	3972,2	3570,5
Baixo	2220,1	2800,9	2902,8	2641,3
Média	2807,6	3072,5	3437,5	

Concentração de P nas raízes (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	2958,7	2756,5	3580,2	3098,5
Baixo	2682,1	3276,2	3446,0	3134,8
Média	2820,4	3016,4	3513,1	
Sistema de cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato				
Concentração de P na parte aérea (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	7892,0	8071,0	9242,6	8401,9
Baixo	3526,3	3188,6	3109,6	3274,8
Média	5709,2	5629,8	6176,1	

Concentração de P nos tubérculos (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	3319,5	3278,6	3596,2	3398,1
Baixo	1497,0	1464,5	1741,1	1567,6
Média	2408,3	2371,5	2668,6	

Concentração de P nas raízes (mgP KgMS ⁻¹)				
Alto	2440,8	4377,2	3472,8	3430,3
Baixo	811,2	2020,1	1060,1	1297,1
Média	1626,0	3198,7	2266,4	

4. MANUSCRITO 3

PLANTAS DE BATATA MICROPROPAGADAS OU PRODUZIDAS A PARTIR DE MINITUBÉRCULOS DIFEREM QUANTO A EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO

Resumo

A produção comercial de batata ainda é afetada pela falta de batata-semente de qualidade. A substituição dos métodos convencionais de obtenção de batata-semente em solo por sistemas hidropônicos tem proporcionado avanços na obtenção de batata-semente de qualidade. Entretanto, pouco se sabe se a origem do material propagativo interfere na eficiência nutricional ao fósforo (P) pelas plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência nutricional ao P entre plantas produzidas a partir de minitubérculos e micropropagação. Para tanto, foram realizados dois experimentos, um com plantas produzidas a partir de minitubérculos e outro a partir de plantas provenientes de micropropagação. Ambos os experimentos foram realizados em casa de vegetação e em um sistema de cultivo sem solo, onde se utilizou os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 e dois níveis de P na solução nutritiva (2,32 e 23,2 mg P L⁻¹). A origem propagativa de plantas de batata interfere na relação de distribuição de biomassa entre raiz e parte aérea, no índice de colheita e na eficiência de utilização do P. Os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A sofrem interferência da origem do material propagativo na eficiência de uso e resposta ao P. O clone SMINIA 793101-3 é eficiente no uso e não responsivo ao P na produção de massa fresca de tubérculos e massa seca total independente da origem propagativa das plantas.

Palavras-chave: cultivo fora do solo, *in vitro*, produção de tubérculo, *Solanum tuberosum* L., utilização do fósforo

Abstract

Potato plants micropropagated or produced from minitubers differ for phosphorus efficiency nutritional

Commercial production of potatoes is still affected by the lack of quality seed potatoes. The replacement of conventional methods of obtaining seed potatoes in soil for hydroponic systems has provided advances in obtaining quality seed potatoes. However, little is known if the origin of the propagation material interferes in the nutritional efficiency of P by the plants. The objective of this study was to compare the nutritional efficiency of P among plants produced from mini-tubers and micropropagation. To achieve this, two experiments were carried out, one with plants produced from mini-tubers and the other with plants from micropropagation. Both experiments were conducted in a greenhouse utilizing a soilless culture system, in which we used the Asterix, Atlantic, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3 clones and two levels of P in the nutrient solution (2.32 and 23.2 mg L⁻¹ P). The propagation origin of the potato plants interfered in the relationship of biomass distribution between root and shoot in the harvest index and the P utilization efficiency. The Asterix, Atlantic and SMIC 148-A clones suffer interference of the origin of propagation material in use efficiency and P response. The SMINIA 793101-3 clone is efficient and non-responsive to P application in the fresh mass tuber yield and total dry mass, regardless of the propagation origin of the plants.

Keywords: *in vitro*, phosphorus efficiency, soilless cultivation, *Solanum tuberosum* L., tuber production

Introdução

Atualmente uma das principais preocupações no desenvolvimento de uma agricultura sustentável é a redução das reservas mundiais de rochas fosfatadas para a produção de adubos (MURREL e FIXEN, 2006). Conseqüentemente, torna-se necessário o desenvolvimento de cultivares que possam melhor absorver e utilizar o fósforo (P) do solo afim de manter a produção atual das culturas (LI et al. 2011; LÓPEZ-ARREDONDO e HERRERA-ESTRELLA, 2012; WANG et al., 2010;). Este fato é ainda mais imprescindível para a cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) que tem um sistema radicular pequeno (PEREIRA, 2003).

A batata é uma cultura que apresenta alto potencial produtivo, ciclo relativamente curto e ótima aceitação de mercado (DEVAUX et al., 2014). Entretanto, a cadeia produtiva da batata ainda sofre com a falta de cultivares adaptadas às condições subtropical e tropical de cultivo do país. E, em consequência disso, a cultura exige a utilização de grande quantidade de insumos para expressar o potencial de rendimento (SILVA et al., 2015). Isso onera ainda mais a produção, que já tem um custo elevado devido ao alto custo da batata-semente de qualidade (QUEIROZ et al., 2013).

Os sistemas de multiplicação empregados para produção de batata-semente têm recebido atenção especial. A substituição dos métodos convencionais de obtenção de batata-semente em solo por sistemas de cultivo fechado fora do solo tem proporcionado produção de minitubérculos com maior qualidade fitossanitária, padronização e aumentado a taxa de multiplicação (CORRÊA et al., 2008; FACTOR et al., 2007; MEDEIROS, et al., 2002). Além disso, tem possibilitado o escalonamento da colheita e o melhor controle da nutrição das plantas pelo uso de soluções nutritivas adequadas (CORRÊA et al., 2009; MUTHONI et al., 2013).

Recentemente várias técnicas de propagação têm auxiliado na obtenção de batata-semente saudável (BISOGNIN e DELLAI, 2015). No cultivo *in vitro* é possível produzir plantas micropropagadas e microtubérculos, que podem ser plantados em casa de vegetação ou diretamente no campo (COLEMAN et al., 2001; KAWAKAMI e IWAMA, 2012). Os tubérculos colhidos destes materiais são chamados de minitubérculos (KAWAKAMI e IWAMA, 2012) e são, comumente, utilizados nos programas de produção de sementes pré-básicas de batata (BISOGNIN e DELLAI, 2015; RADOUANI e LAUER, 2015).

Existem trabalhos comparando a produtividade de plantas produzidas a partir de batata-semente, de brotos, de microtubérculos, de minitubérculos e de miniestacas (BISOGNIN et al., 2015; BISOGNIN e DELLAI, 2015; KAWAKAMI et al., 2005;

KAWAKAMI e IWAMA, 2012; RADOUANI e LAUER, 2015; RYKACZEWSKA, 2015 SILVA et al., 2006). No entanto, se a origem do material propagativo interfere na eficiência nutricional ao P pelas plantas, pouco se sabe. Assim, o objetivo deste trabalho, foi diferenciar plantas de batata micropropagadas de plantas produzidas a partir de minitubérculos quanto a eficiência nutricional ao P em sistema de cultivo fechado fora do solo com o uso de areia como substrato.

Material e métodos

Dois experimentos foram realizados simultaneamente em casa de vegetação na cidade de Santa Maria – RS (29° 42' 56''S, 53° 43' 13''O e altitude de 95m), durante o cultivo de primavera de 2014 (12/09 a 05/11). Foram avaliados os clones SMIC 148-A, SMINIA 793101-3 e as cultivares Asterix e Atlantic. Para fins de simplificação, as cultivares ‘Asterix’ e ‘Atlantic’ serão referidas também como clones.

Uma parte do material vegetal foi proveniente de plantas de batata micropropagadas em meio MS (MURASHIGE e SKOOG, 1962) padrão, mantidos em sala de crescimento com temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 16 h por 14 dias e posteriormente aclimatizadas por 10 dias em sistema de cultivo sem solo. Outra parte foi proveniente de minitubérculos, que foram plantados em copos plásticos de 200 ml contendo areia, permanecendo nesse sistema por 30 dias e, então, as plantas foram destacadas dos tubérculos-mãe. As características das plantas provenientes de minitubérculos e micropropagação antes do transplante para os sistemas de cultivo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de folhas e comprimento da parte aérea de plantas micropropagadas e produzidas a partir de minitubérculos no momento do transplante para o leito de cultivo (média de 6 plantas).

Clones	----- Origem -----			
	Minitubérculos	Micropropagação	Minitubérculos	Micropropagação
	Folhas (n° pl ⁻¹)		Comprimento da parte aérea (cm pl ⁻¹)	
Atlantic	4,8	5,7	5,4	3,8
Asterix	5,0	4,8	6,4	2,7
SMIC 148-A	6,5	6,0	8,3	4,0
SMINIA 793101-3	4,7	5,0	4,8	4,2

O sistema de cultivo era composto por bandejas de polietileno e areia como substrato (BANDINELLI et al., 2013), no qual foram realizadas três irrigações com solução nutritiva durante o dia, com a duração de 15 min cada uma, com o auxílio de um programador digital e uma bomba de baixa vazão, de modo que todo o substrato ficasse saturado de solução. A

solução excedente foi drenada através de um orifício situado na base da bandeja. Cada bandeja tinha nove plantas num espaçamento 10 por 10 cm.

Os tratamentos de fósforo (P) consistiram de 5 e 50% da concentração padrão de P na solução nutritiva desenvolvida para o cultivo sem solo de batata (ANDRIOLO, 2006), chamados neste trabalho de baixo ($2,32 \text{ mg P L}^{-1}$) e alto ($23,2 \text{ mg P L}^{-1}$) níveis de P, respectivamente. Para manter o teor de potássio da solução padrão, utilizou-se o KCl. A condutividade elétrica (CE) foi mantida em $2 \text{ dS m}^{-1} \pm 0,2$ (água foi utilizada para reduzir a CE quando necessário) e o pH em 5,7 ajustados a cada dois dias através da adição de HCl. Cada experimento foi conduzido em um bifatorial (4 clones de batata e 2 níveis de P), no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. A unidade experimental consistiu-se de três plantas.

Tabela 2 – Concentração dos componentes da solução nutritiva modificada de Andriolo (2006) para produção de plantas de batata utilizada neste experimento.

	Solução nutritiva	Baixo P	Alto P
Fontes (g L⁻¹)	KNO ₃	0,505	0,505
	Ca (NO ₃) ₂	0,724	0,724
	KH ₂ PO ₄	0,01	0,102
	KCl	0,106	0,0559
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,308	0,308
	Fe-EDTA	0,02	0,02
	Solução de micronutrientes	0,1	0,1
Fertilizantes para preparo da solução de micronutrientes (g L⁻¹)*	Na ₂ MoO ₄	0,7	0,7
	H ₃ BO ₃	15	15
	CuSO ₄	2,5	2,5
	MnSO ₄	20	20
	ZnSO ₄	10	10

*Para o preparo de 1 L de solução nutritiva é utilizado 0,1 ml da solução de micronutrientes.

Aos 42 dias após o transplante (DAT) das plantas oriundas de minitubérculos e 30 DAT das plantas oriundas de micropropagação (22/10/2014), foram avaliados a massa fresca de tubérculos (MFT) e a massa seca total da planta (MST) após secagem do material por 15 dias em estufa a 65 °C.

Amostras da massa seca foram pesadas, maceradas e então realizou-se a análise do conteúdo de P total nos tecidos conforme Tedesco et al. (1995). Fez-se a digestão de 0,2 g de tecido com 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na₂SO₄, 10 g de CuSO₄·5H₂O e 1 g de selênio) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) permanecendo em bloco de digestão por uma hora na temperatura de 350°C. A determinação do P no extrato das plantas foi realizada por colorimetria, conforme Murphy e Riley (1962).

O acúmulo de P foi obtido pelo produto entre o teor de P e a MST. Uma vez obtidos esses dados, estimou-se o índice de eficiência de utilização de P (EUP): $(\text{massa seca total da planta})^2 / \text{acúmulo de P na planta inteira}$, conforme Siddiqi e Glass (1981).

A análise estatística dos dados para cada experimento foi realizada com o uso do software Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011). Realizaram-se análises de variância e comparação de médias pelo teste Skott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974) a 5% de probabilidade.

Para a classificação dos clones quanto à eficiência e resposta ao P para a produção de MFT e MST provenientes de minitubérculos e de micropropagação, foram confeccionados diagramas de acordo com Fox (1978). Para a representação gráfica no plano cartesiano temos no eixo x a biomassa produzida sob baixo nível de P e no eixo y a resposta à aplicação de P, onde a diferença entre a produção de biomassa nos dois níveis de P foi dividida pela diferença nos níveis de P aplicado. O ponto de origem do eixo horizontal foi a média de produção de biomassa no baixo nível P de todos os clones, enquanto o ponto de origem do eixo vertical foi a média da resposta do P aplicado de todos os clones. Os diagramas foram divididos em quatro quadrantes que separam quatro grupos de clones. No primeiro quadrante, são representados os clones eficientes e responsivos ao P; no segundo, os eficientes e não responsivos ao P; no terceiro, os não eficientes e não responsivos ao P; e no quarto, os não eficientes e responsivos ao P.

Resultados e discussão

Nos dois experimentos realizados houve interação entre níveis de P e os clones de batata. Ambientes com restrição de P induzem as plantas a desenvolverem estratégias que visam manter o crescimento normal até que o suprimento de P seja restabelecido (ESPINDULA et al., 2009). Uma dessas estratégias adaptativas é o aumento da redistribuição do P da parte aérea para as raízes, com conseqüente aumento de distribuição de biomassa entre as raízes e a parte aérea (Figura 1a). Sob baixo nível de P, observou-se que os clones Asterix e SMIC 148-A propagados a partir de minitubérculos apresentaram aumento de 82 e 139% nesta relação. Entretanto, a origem do material propagativo pareceu influenciar na estratégia que a planta utilizou em condição de restrição de P, uma vez que, nas plantas oriundas da micropropagação e submetidas ao alto nível de P verificou-se maior relação raiz parte aérea para os clones Atlantic e SMINIA 793101-3 (Figura 1b). Essa proporção entre a massa seca de raízes e da parte aérea, bem como a proporção de P distribuído entre estes órgãos, são fatores importantes e merecem atenção devido aos mesmos interferirem na eficiência de utilização do P (MACHADO et al., 2001).

A eficiência de utilização de nutrientes corresponde a habilidade de uma planta em produzir biomassa através de uma concentração específica do nutriente absorvido (MAIA et al., 2011). No que se refere a eficiência de utilização do P (EUP) das plantas provenientes de minitubérculos, os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A apresentaram diferença entre os níveis de P, sendo que, no baixo nível de P a EUP foi de 120, 830 e 307% maior, respectivamente do que aquela no alto nível de P, enquanto que o clone SMINIA 793101-3 diminui a EUP sob baixo nível de P em 78,5% (Figura 1c). Já quando as plantas foram provenientes de micropropagação, o clone Asterix não apresentou diferença na EUP com a variação do suprimento de P (Figura 1d). O clone Atlantic apresentou EUP de 64% maior no alto nível de P em relação ao baixo. Por outro lado, os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 apresentaram maior EUP em baixo nível, sendo de 84,5 e 150% respectivamente. De modo geral, espera-se que a medida que se aumenta a concentração de P na solução nutritiva, diminua o índice de EUP para a produção de massa seca em função do consumo de luxo do nutriente (GILL et al., 1992; MACHADO et al., 2001). Porém, não era esperado resultados tão contrastantes na EUP para um mesmo clone em função da origem propagativa (Figura 1c, d).

Quando as plantas foram oriundas de minitubérculos, no baixo nível de P, o clone Atlantic foi o mais eficiente ($6,76 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$) e no alto nível de P o clone SMINIA 793101-3 ($12,31 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$) (Figura 1c). Já quando as plantas foram provenientes de micropropagação, no baixo nível de P o clone SMIC 148-A foi o mais eficiente ($1,31 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$) e no alto nível de P foi o clone Atlantic ($1,17 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$) (Figura 1d). Quanto maior o aproveitamento do nutriente visando maximizar a eficiência de utilização e, assim, otimizar a produtividade da cultura, maior poderá ser a economia de recursos e a sustentabilidade do sistema produtivo (VENEKLASS et al., 2012). Deste modo, a escolha da origem do material propagativo, se proveniente de plantas originadas de minitubérculos ou de micropropagação, interferiu na EUP pelos clones de batata. Portanto, isso deve ser considerado no momento de selecionar os clones mais EUP em sistema hidropônico.

O índice de colheita (IC) constitui-se da fração de biomassa dos tubérculos produzidos em relação à massa seca total da planta, ou seja, uma medida da eficiência do transporte de fotoassimilados para os tubérculos. Quando as plantas foram provenientes de minitubérculos, apenas o clone SMIC 148-A apresentou diferença no IC entre os níveis de P, com aumento de 14,5% quando cultivado sob baixo nível de P (Figura 1e). No baixo nível de P verificou-se os maiores IC para os clones Atlantic e SMIC 148-A. Já no alto nível de P o clone Atlantic foi o eficiente na conversão dos fotoassimilados em material de importância econômica.

Quando as plantas foram provenientes de micropropagação, o IC para todos os clones sofreu influência do nível de P (Figura 1f). Os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A apresentaram aumento do IC em 50, 28,6 e 23,3% no baixo nível de P em relação ao alto nível, enquanto o clone SMINIA 793101-3 apresentou redução de 16,6%. Entre os clones, no baixo nível de P, o menor IC foi verificado para o Asterix que diferiu dos demais, e no alto nível de P o SMINIA 793101-3 foi o clone com maior IC, diferindo dos demais. Assim, comparando as respostas dos clones em cada experimento quanto ao IC, foi possível observar que quando as plantas são provenientes de micropropagação, independente do nível de P, o IC para os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 foram respectivamente 73, 51, 43 e 13% menores do que quando provenientes de minitubérculos. O que mostra que a origem do material propagativo também influenciou no IC. Esta resposta se deve ao diferente vigor inicial apresentado pelas plantas devido a origem do material propagativo (Figura 2). Plantas provenientes de minitubérculos apresentam um maior vigor inicial, o que proporciona um rápido estabelecimento do sistema radicular e com isso melhores condições de crescimento e desenvolvimento da planta.

As médias de produção de tubérculos dos quatro clones testados no baixo e no alto nível de P foram, respectivamente, usados como parâmetros de eficiência de uso e de resposta ao P (Figura 3a, b). Desta forma, o clone Asterix apresentou-se não eficiente na utilização do P para a produção de MFT, para ambas as origens propagativas, porém apresentou-se responsivo ao P quando as plantas foram oriundas de minitubérculos. O clone Atlantic, quando as plantas foram oriundas de minitubérculos, foi classificado como não eficiente e responsivo para produção de MFT; e quando as plantas foram oriundas de micropropagação foi classificado como eficiente e não responsivo ao P. Já o clone SMIC 148-A quando proveniente de minitubérculo foi classificado como eficiente e responsivo ao P para a produção de MFT e quando proveniente de micropropagação foi classificado como responsivo, mas quanto a eficiência de uso do P ele ficou posicionado como intermediário, pois sua MFT coincidiu com a média da MFT de todos os clones. Enquanto isso, o clone SMINIA 793101-3 permaneceu no mesmo quadrante em ambas as origens propagativas e assim, foi classificado como eficiente na produção de MFT, mas não responsivo à adição de P.

No que se refere a eficiência e resposta ao P na MST, a origem propagativa interferiu na resposta do clone Asterix, que quando proveniente de minitubérculos foi não eficiente e responsivo; e quando proveniente de micropropagação foi eficiente e não responsivo (Figura 3c, d). Independente da origem propagativa das plantas, o clone Atlantic apresentou MST

inferior a média dos demais clones, sendo assim classificado como não eficiente na produção de MST, porém foi capaz de responder ao incremento de P apenas quando propagado a partir de micropropagação. A origem propagativa das plantas, não interferiu na produção de MST para os clones SMIC 148-A e SMINA 793101-3, que permaneceram num mesmo quadrante, sendo o primeiro classificado como não-eficiente e responsivo ao P e o segundo como eficiente e não-responsivo ao P. Os clones Asterix e Atlantic também foram classificados por Soratto et al. (2015) como não-eficientes na produção de MFT e MST em experimento em casa de vegetação usando solo como substrato. Esses mesmos autores observaram que estes clones apresentaram menor produção do que outras cultivares, fato também observado no presente trabalho quando as plantas foram originadas de minitubérculos e cultivadas em baixo nível de P, o que mostra que os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 são eficientes ao P e têm potencial para superar a produção das atuais cultivares utilizadas no Brasil.

Conclusão

A origem propagativa de plantas de batata interfere na relação de biomassa entre raiz e parte aérea, no índice de colheita e na eficiência de utilização do P.

Os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A sofrem interferência da origem do material propagativo na eficiência de uso e resposta ao P.

O clone SMINIA 793101-3 é eficiente no uso e não responsivo ao P na produção de massa fresca de tubérculos e a massa seca total, independente da origem propagativa das plantas.

Referências

- ANDRIOLO, J. L. Sistema hidropônico fechado com subirrigação para produção de minitubérculos de batata. In: SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO GENÉTICO E PREVISÃO DE EPIFITIAS EM BATATA. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2006. p. 26-40.
- BANDINELLI, M. G. et al. Concentração dos sais e da sacarose do meio MS na multiplicação *in vitro* e na aclimatização de batata. **Horticultura Brasileira**. v.31, p.242-247, 2013.
- BISOGNIN, D. A. DELLAI, J. Shoot growth restriction in dry matter partitioning and minituber production of potato plants. **Ciência Rural**. v.45, p.1917-1924, 2015.
- BISOGNIN, D. A. et al. Rooting potential of mini-cuttings for the production of potato plantlets. **American Journal of Plant Sciences**. v.6, p.366-371, 2015.
- COLEMAN, W. K.; DONNELLY, D. J.; COLEMAN, S. E. Potato microtubers as research tools: a review. **American Journal of Potato Research**. v.78, p.47-55, 2001.
- CORRÊA, R. M. et al. A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae**. v.116, p.17-20, 2008.

- CORRÊA, R. M. et al. The production of seed potatoes by hydroponic methods in Brazil. In: Fruit vegetable and cereal science and Biotechnology. **Global science books**. v.3, p.133-139, 2009.
- DEVAUX, A., P. KROMANN, O. ORTIZ. Potatoes for sustainable global food security. **Potato Research**. v.57, p.185-199, 2014.
- ESPINDULA, L. F.; MINELLA, E.; DELATORRE, C. A. Low-P tolerance mechanisms and differential gene expression in contrasting wheat genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.44, p.1100-1105, 2009.
- FACTOR, T. L. et al. Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**. v.25, p.082-087, 2007.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFPA)**, v.35, p.1039-1042, 2011.
- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.9, p.13-37, 1978.
- GILL, M. A.; SALIM, R. M.; ZIA, M. S. Maize growth and uptake of phosphate and copper at different ambient phosphate concentrations. **Soil Science and Plant Nutrition**. v.8, p.631-636, 1992.
- KAWAKAMI, J.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y. Effects of Planting Date on the Growth and Yield of Two Potato Cultivars Grown from Microtubers and Conventional Seed Tubers. **Plant Production Science**. v.8, p.74-78, 2005.
- KAWAKAMI, J.; IWAMA, K. Effect of Potato Microtuber Size on the Growth and Yield Performance of Field Grown Plants. **Plant Production Science**. v.15, p.144-148, 2012.
- LI, S. et al. Demonstrating a link between nutrient use and water management to improve crop yields and nutrient use efficiency in arid Northwest China. **Better Crops with Plant Food**. v. 95, p.20-22, 2011.
- LÓPEZ-ARREDONDO, D.; HERRERA-ESTRELLA, L. Engineered plants can use phosphite. **Nature**. v.489, p.181, 2012.
- MACHADO, C. T. T. et al. Índice de eficiência em variedades locais e melhoradas de milho ao P. **Bragantia**. v.60, p.225-238, 2001.
- MAIA, C. et al. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.11, p.270-275, 2011.
- MEDEIROS, C. A. B. et al. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**. v.20, p.110-114, 2002.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. **Physiologia Plantarum**. v.15, p.473-497, 1962.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**. v.27, p.31-36, 1962.
- MURREL, T. S.; FIXEN, P. E. Improving fertilizer phosphorus effectiveness: challenges for the future. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL- PLANT CONTINUUM, 3., 2006, Uberlândia. **Anais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p.150-151.

MUTHONI, J.; SHIMELIS, H.; MELIS, R. Alleviating potato seed tuber shortage in developing countries: Potential of true potato seeds. **Australian Journal of Crop Science**. v.12, p.1946-1954, 2013.

PEREIRA A. da S. **Melhoramento genético**. In: PEREIRA A da S; DANIELS J (eds). O cultivo da batata na Região Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 105-124. 2003.

QUEIROZ, L. R. M. et al. Tamanho de tubérculo-semnte e espaçamento na produtividade de batata em condições de campo. **Comunicata Scientia**. v.4, p.308-315, 2013.

RADOUANI, A.; LAUER, F. I. Field Performance of Cultivars Nicola and Russet Burbank Micro and Minitubers. **American Journal of Potato Research**. v.92, p.298-302, 2015.

RYKACZEWSKA, K. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. **American Journal of Potato Research**. v.92, p.339-349, 2015.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. v.30, p.507- 512, 1974.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**. v.4, p.289-302, 1981.

SILVA, E. C.; GIUSTO, A. B.; DIAS, J. A. C. S. Produção de minitubérculos a partir de brotos de cultivares de batata em diferentes combinações de substratos. **Horticultura Brasileira**. v.24, p.241-244, 2006.

SILVA, G. O. et al. Desempenho de clones elite de batata para caracteres agronômicos e de qualidade industrial. **Ceres**. v.62, p.71-77, 2015.

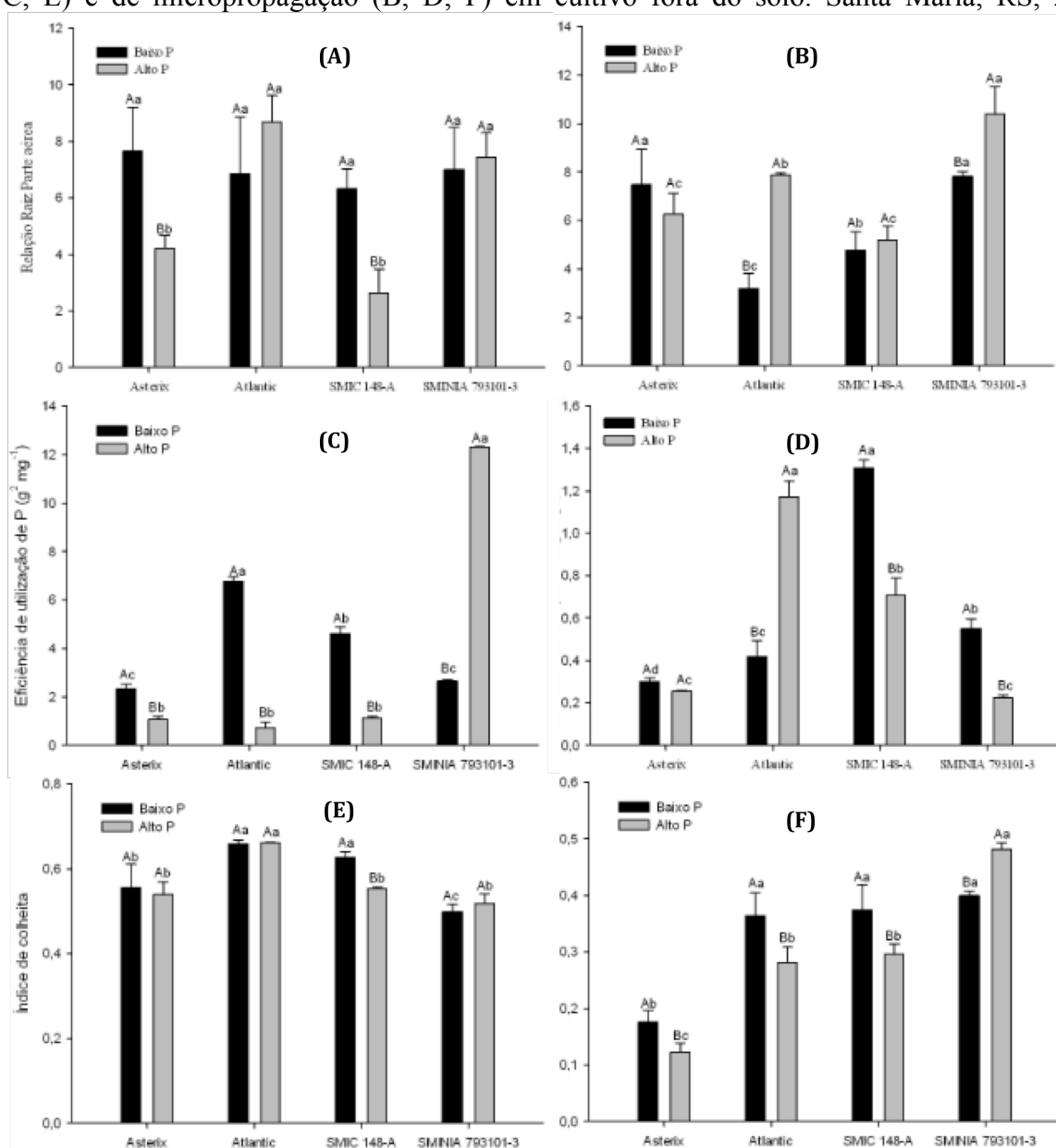
SORATTO, R. P. et al. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**. v.58, p.121-134, 2015.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2.ed. 1995. 174p.

VENEKLAAS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**. v.195, p.306-320, 2012.

WANG, J. SHEN, J. LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**. v.179, p.302-306, 2010.

Figura 1 – Efeito do P na relação de biomassa entre raízes e parte aérea, na eficiência de utilização de P e no índice de colheita em clones de batata provenientes de minitubérculos (A, C, E) e de micropropagação (B, D, F) em cultivo fora do solo. Santa Maria, RS, 2016.

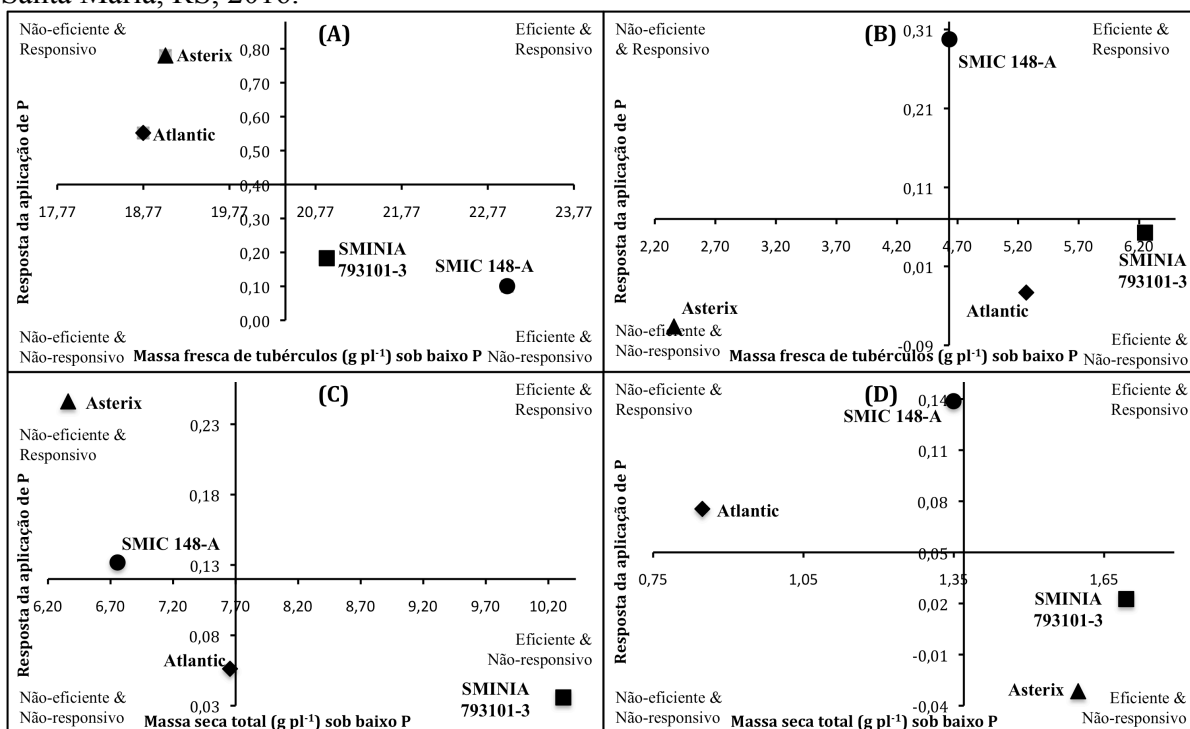


^aLetras maiúsculas indicam comparação entre níveis de P para cada clone e letras minúsculas indicam comparação entre clones em cada nível de P pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Figura 2 – Plantas de batata micropropagadas e plantas provenientes de minitubérculos no momento do transplante para o leito de cultivo. Santa Maria, RS, 2016.



Figura 3 – Representação gráfica da classificação dos clones de batata quanto a eficiência de uso e resposta ao P na produção de massa fresca de tubérculos e massa seca total, para plantas provenientes de minitubérculos (A, C) e micropropagação (B, D) em cultivo fora do solo. Santa Maria, RS, 2016.



5. MANUSCRITO 4

CARACTERIZAÇÃO DE CLONES DE BATATA PARA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL AO FÓSFORO

Resumo

Para desenvolver sistemas agrícolas que produzam mais alimentos com limitada disponibilidade de fósforo (P) é necessário explorar a variabilidade genética das plantas e selecionar clones de batata mais eficientes ao P. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de quatro clones de batata quanto à eficiência nutricional com diferentes disponibilidades de P no solo em casa de vegetação. Os tratamentos consistiram de dois níveis de P no substrato solo (0,025 e 0,11g kg⁻¹) e quatro clones de batata (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3). Aos 52 dias após o plantio foram avaliados a eficiência de enraizamento, de absorção de P, de translocação de P, de utilização de P e a partição de massa seca. Existe variabilidade entre os clones de batata quanto à eficiência nutricional ao P. Com base na produção de massa seca total, os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 são eficientes no uso de P, enquanto que Atlantic e SMINIA 793101-3 são responsivos ao incremento de P.

Palavras-chave: absorção, acumulação, enraizamento, translocação, utilização.

Abstract

Nutrition efficiency and response to phosphorus in potato clones

In order to develop agricultural systems that produce more food with limited phosphorus (P) availability, it is necessary to explore the genetic variability of plants and select more P efficient potato clones. The objective of this study was to assess the performance of four potatoes clones regarding the nutritional efficiency to P with different P availability in soil in a greenhouse.. The treatments consisted of two different levels of P in the soil substrate (0,025 and 0,11g kg⁻¹) and four potato clones (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3). Following 52 days of planting, we evaluated the rooting efficiency, P uptake, P translocation, P utilization and dry mass partitioning. There is variability among potato clones on the P nutritional efficiency. Based on the total dry mass production, SMIC 148-A and SMINIA 793101-3 clones are efficient in the P use, while Atlantic and SMINIA 793101-3 are responsive to the P increase.

Keywords: accumulation, rooting, translocation, uptake, utilization.

Introdução

O aumento da população e do consumo de alimentos nos próximos anos trará para a agricultura desafios a serem superados para manter ou até aumentar a produtividade das culturas utilizando-se menos recursos naturais (CHARLES et al., 2010; TESTER e LANGRIDGE, 2010). A produção de alimentos requer aplicação de fósforo (P), de nitrogênio e de potássio no solo para manter rendimentos elevados. O P não possui substituto na produção de alimentos e é um dos nutrientes menos disponível nos solos para a produção agrícola (GODFRAY et al., 2010). Assim, a utilização de adubos fosfatados para produzir alimentos acompanha a linha de crescimento da população. Garantir a disponibilidade a longo prazo e a acessibilidade do P é fundamental para a segurança alimentar mundial (CORDEL et

al, 2009), visto que, as reservas de rochas fosfatadas para a produção de adubos são finitas e a área agrícola é limitada (CHARLES et al., 2010).

O consumo de batata (*Solanum tuberosum* L.) é grande no mundo em virtude de ser um vegetal altamente energético e importante fonte de vitaminas e minerais (DALE e MACKAY, 1994). No que se refere ao potencial produtivo da cultura da batata, observa-se que este mostra-se, em média, duas vezes maior que o cultivo de uma lavoura de grãos (RHOADS, 2003). A planta de batata produz alimentos mais nutritivos em menor período de tempo e espaço, em comparação com plantas de trigo e arroz, que são as culturas mais produzidas no mundo (DALE e MACKAY 1994; FAO, 2015). Isto torna as plantas de batata altamente exigentes quanto à presença de nutrientes prontamente disponíveis na solução do solo. Assim, em sistemas intensivos de cultivo de batata são utilizados normalmente elevadas quantidades de adubos fosfatados e outros fertilizantes, o que reduz a sustentabilidade da cultura (SILVA et al., 2014).

A eficiência nutricional ao P tem sido definida com base no processo pelo qual as plantas adquirem, transportam, armazenam e usam o nutriente afim de produzir biomassa (PARENTONI e SOUZA, 2008). O elevado desempenho em condições limitantes de P é devido à maior capacidade de alguns genótipos em adquirir o P do meio e/ou a uma maior capacidade em utilizar o P internamente (PINTO et al., 2011). Portanto, explorar as características genéticas, fisiológicas e bioquímicas das plantas afim de selecionar clones de batata mais eficientes ao P e, assim, desenvolver sistemas agrícolas que possam produzir mais com limitada disponibilidade de P serão necessários para responder ao desafio da produção de alimentos (DOVALE et al., 2013). O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de quatro clones de batata quanto à eficiência nutricional com diferentes disponibilidade de P no solo em casa de vegetação.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura parcialmente controlada, mantido em 25 ± 3 °C, durante a primavera (29° 42' 56''S, 53° 43' 13''O). Foram utilizados dois clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 do Programa de Genética e Melhoramento da Batata da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e duas cultivares Asterix e Atlantic, que para fins de simplificação serão referidas neste trabalho como clones.

Para o experimento foram utilizados potes plásticos de 5 L (20 cm de diâmetro por 20 cm de altura) que continham 4 kg de solo (Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico, EMBRAPA 2006) proveniente de campo nativo. Os principais atributos do solo são: 18% de

argila; 25 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH_(água 1:1) de 4,6; 30,6% de Al; 26,5% de saturação de bases; 6,2 cmol_c dm⁻³ de CTC efetiva; 2,8 cmol_c dm⁻³ de Ca, 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg, 3 mg kg⁻¹ de P (Mehlich-1) e 76 mg kg⁻¹ de K (Mehlich-1). A calagem foi realizada através da incorporação de hidróxido de cálcio em conjunto com óxido de magnésio (foi realizado teste preliminar que mostra a eficácia desse procedimento). Três dias depois da calagem ocorreu a aplicação de uréia, cloreto de potássio conforme recomendado para cultivo de batata (Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2004) e então plantou-se os tubérculos, um por vaso.

No momento do plantio (06/10/14), os tubérculos usados tinham um peso médio de 37, 32, 26 e 28 g respectivamente para os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3. Os níveis de P utilizados foram 0,025 e 0,11g Kg⁻¹ de monofosfato de potássio (KH₂PO₄) níveis equivalentes respectivamente a 35 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O monofosfato de potássio foi dissolvido em água e incorporado no solo dez dias após o plantio dos tubérculos. A irrigação foi feita manualmente, conforme necessário para manter o solo com 70% da capacidade de campo.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em um fatorial 2 × 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram de dois níveis de P no solo, baixo P (0,025 g kg⁻¹) e alto P (0,11 g kg⁻¹) e quatro clones de batata (Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3).

Aos 52 dias após o plantio, no início da tuberização segundo HELDWEIN et al. (2009), as plantas foram colhidas, lavadas em água corrente e divididas em parte aérea, tubérculos e raízes. Para cada tratamento foi avaliada a massa seca (MS) da parte aérea, dos tubérculos e das raízes. A MS foi determinada após secagem do material durante 15 dias numa estufa com circulação forçada de ar a 60 °C. A partição de MS entre as partes da planta foi calculado como uma porcentagem de MS acumulada da parte aérea, tubérculos e raízes em relação a MS total da planta.

A análise da concentração de fósforo total nos tecidos foi realizada conforme Tedesco et al. (1995), com a digestão de 0,2 g de tecido com 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na₂SO₄, 10 g de CuSO₄.5H₂O e 1 g de selênio) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) permanecendo em bloco de digestão por uma hora na temperatura de 350°C. A determinação do P nos extratos dos tecidos das plantas foi realizada por colorimetria, conforme Murphy e Riley (1962).

O acúmulo de P nos tecidos foi obtido pelo produto entre a concentração de P e a MS de cada órgão da planta. Uma vez obtidos esses dados, estimaram-se os seguintes índices de

eficiência ao P: 1) eficiência de enraizamento ao P (EEP): $(MS \text{ de raiz})^2 / \text{acúmulo P na parte aérea}$, conforme Siddiqi e Glass (1981); 2) eficiência de absorção de P (EAP): $\text{acúmulo de P na planta} / MS \text{ de raiz}$, conforme Swiader et al. (1994); 3) eficiência de translocação de P (ETP): $\text{acúmulo de P na parte aérea} / \text{acúmulo de P total}$, conforme Li et al. (1991); e 4) eficiência de utilização de P (EUP): $(MS \text{ total da planta})^2 / \text{acúmulo de P na planta inteira}$, conforme Siddiqi e Glass (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias entre clones foram comparadas pelo teste de Skott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974) e entre os níveis de P pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, com a ajuda do programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011).

Para a classificação dos clones quanto à eficiência de uso e de resposta ao P para a produção de MS total da planta foi confeccionado um diagrama segundo a metodologia de acordo com Fox (1978). Para a representação gráfica no plano cartesiano temos no eixo x a MS total da planta verificado sob baixo nível de P e no eixo y a resposta à aplicação de P, onde a diferença entre a biomassa nos dois níveis de P foi dividida pela diferença nos níveis de P aplicado. O ponto de origem do eixo horizontal foi a média da biomassa no baixo nível P de todos os clones, enquanto o ponto de origem do eixo vertical foi a média da resposta do P aplicado de todos os clones. Os diagramas foram divididos em quatro quadrantes que separam quatro grupos de clones. No primeiro quadrante são representados os clones eficientes e responsivos ao P; no segundo os eficientes e não responsivos ao P; no terceiro os não eficientes e não responsivos ao P; e no quarto os não eficientes e responsivos ao P.

Resultados e discussão

Para todos os clones de batata do presente estudo a eficiência de enraizamento ao P (EEP) foi muito baixa, independente do nível de P (Tabela 1). Um bom desenvolvimento inicial do sistema radicular, que ocupe um grande volume de solo, poderia facilitar a aquisição de fósforo (P) e compensar a absorção ineficiente deste nutriente por plantas de batata, uma vez que, esse nutriente é pouco móvel no solo (ALVARADO et al., 2009). Apenas o clone SMINIA 793101-3 apresentou diferença entre os níveis de P, com menor eficiência de enraizamento em baixo P ($0,05 \text{ g}^2 \text{ massa seca raiz mg}^{-1} \text{ P na parte aérea}$). Esta baixa eficiência de enraizamento pode comprometer o desenvolvimento das plantas ou requer altos níveis de adubação fosfatada para que não afete o metabolismo e a produção da planta. O clone Atlantic obteve menor EEP em ambos os níveis, sem diferir do SMINIA 793101-3 no menor nível de P.

A absorção de P pelas raízes é o resultado da interação de características morfológicas e fisiológicas das plantas de batata com a rizosfera e o solo em torno do sistema radicular, que são os fatores que determinam o fluxo de nutrientes na interface solo-raiz (ALVES et al., 2002). Os clones Asterix, Atlantic e SMIC 148-A apresentaram redução na eficiência de absorção de P (EAP), respectivamente, de 27, 42 e 12% quando cultivados em baixo nível de P (Tabela 1). Como a EEP é naturalmente baixa para os clones de batata testados, a alta EAP no alto nível de P parece ter ocorrido em função do aumento do nível do nutriente aplicado e não devido a maior exploração do solo pelas raízes. Entre os clones, no baixo nível de P, o SMINIA 793101-3 ($81,1 \text{ mg g}^{-1}$) foi o mais eficiente na absorção de P. Já em alto nível de P, o Atlantic ($110,9 \text{ mg g}^{-1}$) foi o que mais absorveu P do solo.

A eficiência de translocação de P (ETP) das raízes para a parte aérea no clone Asterix não diferiu entre os níveis de P (Tabela 1). Entretanto, a ETP foi menor para o clone SMIC 148-A (11,5%) e maior para os clones Atlantic (9,6%) e SMINIA 793101-3 (19%) sob baixo P. Estes resultados mostram a variabilidade da ETP entre estes clones e esta diferença pode ser explorada de forma positiva pelos programas de melhoramento da batata. Para adquirir e distribuir de forma eficiente o P, em condição de limitação de P, o transporte do nutriente nos órgãos da planta deve ser coordenado por proteínas transportadoras, o que inclui os processos de absorção do P do solo pelas raízes, a translocação para órgãos aéreos e a redistribuição entre os órgãos da planta (IBARA e MIWA, 2014). Uma alteração possível de se observar em plantas numa condição de limitação de P é a indução de nucleases e transportadores de Pi de alta afinidade, que tem relação direta com o teor total de P na planta (TICCONI et al, 2004).

Uma das maneiras de se reduzir a quantidade de fertilizante aplicado na cultura da batata é escolhendo cultivares que fazem melhor uso dos nutrientes (FERNANDES e SORATTO, 2013). Embora não tenha ocorrido interação entre os níveis de P e clones de batata testados quanto a eficiência de utilização do P (EUP) (Tabela 1), observou-se que os clones Asterix e Atlantic apresentaram maior capacidade de converter o P absorvido em biomassa e o SMIC 148-A foi aquele com menor EUP. Estes resultados permitem a adoção de diferentes regimes de fertilização na cultura da batata, com aplicações menores de fertilizantes no plantio de cultivares não eficientes na utilização do P. Apesar de que, para os clones testados neste estudo a maior EUP ocorreu no alto nível de P. Esta constatação foi surpreendente porque outros trabalhos mostraram que quanto maior o teor de P disponível às plantas menor é a eficiência de utilização do P (GONDIM et al., 2010).

Para os clones Asterix, Atlantic e SMIC148-A a proporção de biomassa distribuída para as raízes foi maior no baixo nível de P em 18, 46 e 13%, respectivamente (Figura 1).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Soratto et al. (2015), que ao avaliar as eficiências de absorção, de uso e de resposta ao P de cinco cultivares de batata mais plantadas no país, dentre elas a Asterix e a Atlantic, verificaram que na baixa disponibilidade de P as raízes se tornaram os drenos preferenciais dos fotoassimilados no início do desenvolvimento das plantas, mas isso foi alterado no final do ciclo, onde os tubérculos passaram a ser o maior dreno (BALEMI e SCHENK, 2009; PÉRET et al, 2011). O SMIC 148-A apresentou partição maior de massa seca (MS) para as raízes em comparação com outros clones, tanto em baixo quanto em alto P. Isso pode ter facilitado o crescimento e desenvolvimento deste clone em baixo P e pode ter sido a razão pela qual ele foi o único clone que teve maior partição de MS para os tubérculos no baixo P, demonstrando o potencial deste clone em permanecer em programas de seleção de plantas de batata mais eficientes ao uso de P. Para os clones Asterix, Atlantic e SMINIA 793101-3 a maior partição de MS para os tubérculos ocorreu sob alto nível de P.

Em média, os clones cultivados sob baixo nível de P destinaram 16% da MS para as raízes, 21% para os tubérculos e 63% para a parte aérea em comparação, respectivamente com 15, 26 e 59% no alto nível de P (Figura 1). Exceto o Atlantic que distribuiu mais MS para os tubérculos (49%) sob alto nível de P, os demais clones destinaram para a parte aérea a maior parte dos fotoassimilados em ambos os níveis de P testados no momento da avaliação, por encontrarem-se em início de tubérização. Diferindo do encontrado por Soratto et al. (2015) e Fernandes et al. (2010), em que no final do ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas os tubérculos foram o destino preferencial dos fotoassimilados para todas as cultivares de batata e níveis de P testados. Para o clone Asterix a alocação de MS para a parte aérea representou mais do que 77% da massa seca total em ambos os níveis de P. Certamente isso deve ter ocorrido porque este clone tem rápida emergência mas maturação semi-tardia (ABBA, 2015) e no momento em que as plantas foram coletadas elas estavam no final da fase vegetativa, onde as folhas e hastes ainda são os drenos preferenciais das plantas (MULLER et al., 2007). Já para os clones mais precoces que o Asterix, no momento da avaliação ocorria uma maior destinação dos fotoassimilados para o crescimento dos tubérculos.

A classificação dos clones de batata quanto à eficiência de uso de P na produção de MS total da planta sob limitada oferta de P, bem como a resposta ao P aplicado possibilitou a divisão dos clones em quatro grupos (Fig. 2). O Atlantic foi considerado não-eficiente no uso, mas responsivo ao P. Genótipos com essas características são mais adequadas para os produtores que fazem alto uso de fertilizantes. Já o clone Asterix foi classificado como não-eficiente ao uso e não responsivos ao P. Estes resultados não devem ser extrapolados para uso

em condição de campo porque esse clone tem rápida emergência, mas maturação semi-tardia, o que prejudica sua comparação com outras cultivares que tem maturação mais precoce que a sua. Soratto et al. (2015) também classificaram os clones Asterix e Atlantic como não-eficiente ao P na produção de MS total da planta quando cultivados em vasos.

O clone SMIC 148-A produziu acima da média em ambiente com baixo P, mas sob alto nível de P obteve média de produção inferior aos demais. Por não produzir incremento na produção de MS total da planta quando se aumentou o nível de P esse clone foi classificado como eficiente no uso do P, mas apresentou-se como não responsivo ao P. Deste modo, esse clone pode ser recomendado para o cultivo em propriedades que adotam baixo nível tecnológico. O clone SMINIA 793101-3 foi considerado eficiente no uso de P e também responsivo a aplicação de P, portanto recomendado para o cultivo em propriedades que adotam baixo, médio e alto uso de fertilizantes.

Conclusão

Existe variabilidade entre os clones de batata quanto à eficiência nutricional ao P.

Com base na produção de massa seca total, os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 são eficientes no uso de P, enquanto que Atlantic e SMINIA 793101-3 são responsivos ao incremento de P.

Referências

- ABBA. Associação Brasileira da Batata. **Variedades**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2015/variedades.asp>>. Acesso em: 20 dez. 2015.
- ALVARADO, A. et al. Efecto de la fertilización con fósforo sobre el rendimiento y la absorción de nutrientes de la papa en un andisol de Juan Viñas, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**. v.33, p.45-61, 2009.
- ALVES, V. M. C. et al. Cinética de absorção e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, p.85-92, 2002.
- BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. **Plant and Soil**. v.172, p.669–677, 2009. DOI 10.1007/s11104-009-9897-0
- CHARLES, H. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v.327, p.812-818, 2010.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. Ed. Porto Alegre, 2004.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The Story of phosphorus: global food

- security and food for thought. **Global Environmental Change**. v.19, p.292-305, 2009.
- DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Inheritance of table and processing quality. In: BRADSHAW, J.E.; MACKAY, G.R. (eds.). **Potato Genetics**.p.285-315,1994.
- DoVALE, J. C. et al. Genetic responses of traits relationship to components of nitrogen and phosphorus use efficiency in maize. **Acta Scientiarum**. v.35, p.31-38, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- FERNANDES, A. M. et al. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**. v.28, p.299-304, 2010.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de batata. **Bioscience Journal**. v.29, p.91-100, 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFPA)**, v.35, p.1039-1042, 2011.
- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.9, p.13-37, 1978.
- GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**. v.327, p.812-818, 2010.
- GONDIM, A. R. O. et al. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Ceres**. v.57, p.539-544, 2010.
- HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. Batata. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.91-109.
- IBARA, I.; MIWA, K. Strategies for optimization of mineral nutrient transport in plants: multi-level regulation of nutrient-dependent dynamics of root architecture and transporter activity. **Plant and Cell Physiology**. v.55, p.2027-2036, 2014.
- LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**. v.37, p.613-626, 1991.
- MULLER, D. R. et al. Produção hidropônica de batata em diferentes concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, p.647-653, 2007.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**. v.27, p.31-36, 1962.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO. FAOSTAT data 2013. **Produção mundial de batata**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 12 de outubro. 2015.
- PARENTONI, S. N.; SOUZA, C. L. Jr. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, p.893-901, 2008.
- PÉRET, B. et al. Root developmental adaptation to phosphate starvation: better safe than sorry. **Trends in Plant Science**, v.16, p.442-450, 2011.
- PINTO, S. I. C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.523-533,

2011.

RHOADS, R. E. A batata excelente. 1982. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.53-143, 2003.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. v.30, p.507-512, 1974.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**. v.4, p.289-302, 1981.

SILVA, G. O. et al. Rendimento de tubérculos de clones elite de batata. **Horticultura Brasileira**, v.32, p.230-233, 2014.

SORATTO, R. P. et al. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**. v.58, p.121-134, 2015.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**. v.17, p.1687-1699, 1994.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2.ed. 1995. 174p.

TESTER, M.; LANGRIDGE, P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. **Science**. v.327, p.818-822, 2010.

TICCONI, C. A. et al, Arabidopsis pdr2 reveals a phosphate-sensitive checkpoint in root development. **The Plant Journal**. v.37,p.801-814, 2004.

Tabela 1 – Efeito do nível de P na eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização de P em clones de batata avaliados aos 52 dias após o plantio. Santa Maria, RS, 2016.

Nível de P	Asterix	Atlantic	SMIC 148-A	SMINIA 793103-3	Média
Eficiência de enraizamento ao P (EEP) ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$)					
Alto	0,11 Aa	0,04 Ab	0,09 Aa	0,10 Aa	0,09
Baixo	0,11 Aa	0,05 Ab	0,10 Aa	0,05 Bb	0,08
Média	0,11	0,05	0,09	0,08	
CV (%)	13,78				

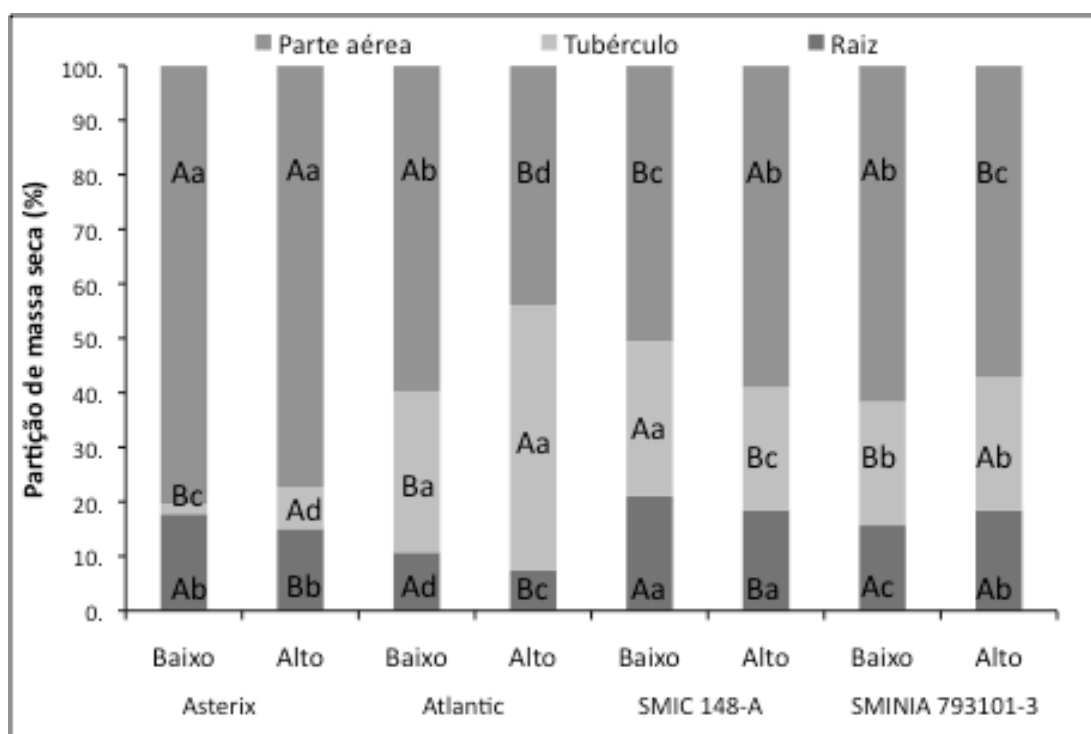
Eficiência de absorção de P (EAP) (mg g^{-1})					
Alto	59,79 Ac	110,87 Aa	82,33 Ab	79,29 Ab	83,07
Baixo	43,58 Bd	63,90 Bc	72,70 Bb	81,10 Aa	65,32
Média	51,69	87,39	77,51	80,20	
CV (%)	5,99				

Eficiência de translocação de P (ETP)					
Alto	35,97 Ab	22,89 Bc	38,10 Aa	35,69 Bb	33,16
Baixo	37,90 Ab	25,09 Ad	33,70 Bc	42,50 Aa	34,80
Média	36,94	23,99	35,90	39,10	
CV (%)	3,30				

Eficiência de utilização de P (EUP) ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$)					
Alto	1,72	1,74	1,00	1,31	1,44 A
Baixo	1,27	1,19	0,76	0,84	1,02 B
Média	1,49 a	1,46 a	0,88 c	1,07 b	
CV (%)	10,70				

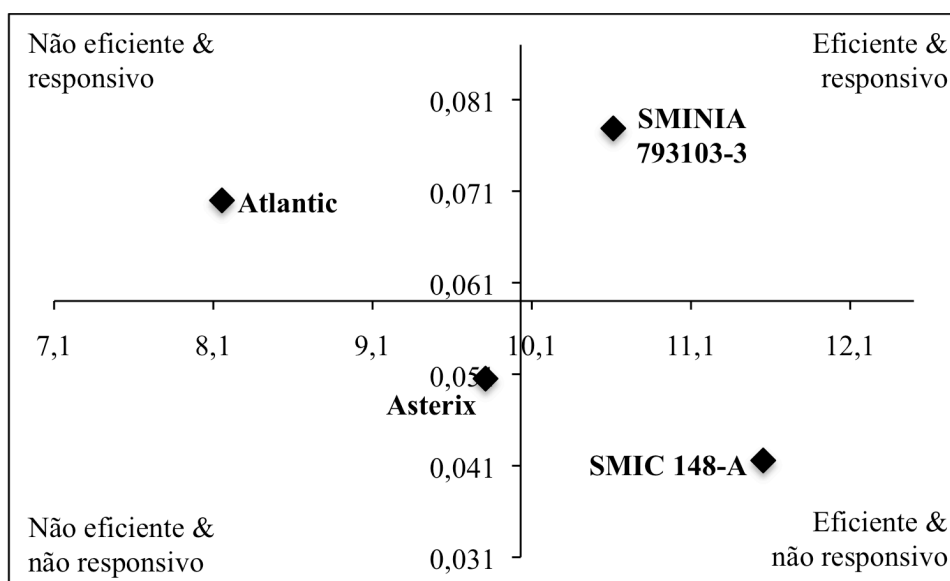
^aValores seguidos por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna e letras minúsculas diferentes na mesma linha, diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Figura 1 – Efeito do nível de P na partição de massa seca em clones de batata avaliados aos 52 dias após o plantio. Santa Maria, RS, 2016.



^aLetras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os níveis de P para um mesmo clone e letras minúsculas diferentes indicam diferença entre clones num mesmo nível de P pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Figura 2 – Diagrama de classificação de clones de batata quanto a eficiência de uso e resposta ao P na produção de massa seca total da planta avaliada aos 52 dias após o plantio. Santa Maria, RS, 2016.



6. DISCUSSÃO

O presente trabalho se propôs a caracterizar aspectos fisiológicos de clones de batata (*Solanum tuberosum* L.) submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (P) em cultivo a campo e substrato para validação do método de seleção visando a identificação de clones eficientes na aquisição e no uso do P.

É um desafio para o melhoramento identificar clones de batata eficientes na uso de P com potencial produtivo nos dois cultivos anuais que ocorre nas regiões subtropicais. No cultivo de primavera o período transcorrido do plantio até o início da tuberização é suficiente para a emissão e crescimento dos órgãos vegetativos da planta (MULLER et al., 2008). Nesse caso, uma alta disponibilidade de P para a planta é muito desejável, pois ele estimula a formação de tubérculos graúdos, apressa a maturação e reduz o ciclo cultural (PREZOTTI et al., 1986). Para os clones Asterix, Atlantic, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 analisados neste estudo na primavera, a alta disponibilidade de P resultou numa maior produção de tubérculos, tanto em número quanto em massa. Já no cultivo de outono, onde o fotoperíodo é decrescente, ocorre uma redução do ciclo da cultura, sendo os fotoassimilados particionados para o crescimento vegetativo e a formação dos tubérculos que ocorrem simultaneamente (DEMAGANTE e ZAAG, 1988), a baixa disponibilidade de P para a planta pode nem ser o fator que mais limita a produção de tubérculos. Fato comprovado com a produção de um número maior de tubérculos sob baixa disponibilidade de P para os quatro clones do estudo, sendo maior, inclusive, que os produzidos na primavera.

As condições ambientais dos cultivos de primavera e outono do RS são contrastantes, o que influencia na expressão dos caracteres sob seleção. As variações observadas neste trabalho em função da eficiência de utilização e resposta ao P em cultivo hidropônico, indicam que a seleção de um clone de batata para o cultivo de primavera, não seria necessariamente a mesma para o cultivo de outono. No entanto, o clone SMIC 148-A não foi influenciado pela época de cultivo, podendo ser indicado para o plantio tanto na primavera quanto no outono por apresentar baixa suscetibilidade ao fotoperíodo, desde que a disponibilidade de P não seja um fator limitante. Enquanto o Atlantic apresenta boa produção quando cultivado no outono, independente do nível de P utilizado. Já os clones Asterix e SMINIA 793101-3 apresentam maior potencial produtivo quando cultivados na primavera sem restrição de P.

Assim como a eficiência de utilização e a resposta ao P para cada clone de batata variam em função da época de cultivo nas regiões subtropicais, a eficiência de enraizamento, de absorção, de translocação e de utilização de P variam conforme o sistema de cultivo

empregado. Esses quatro índices de eficiência, que juntos compõem a eficiência nutricional ao P (BAILIAN et al., 1991; FOX, 1978; MOURA et al., 2001), foram diferentes entre os cultivos em campo e em casa de vegetação para os clones Asterix, SMIC 148-A e SMINIA 793101-3, testados no presente estudo. Essas diferenças estão diretamente associadas as condições experimentais de cada sistema de cultivo. Apesar de em ambos os cultivos ter sido ofertado as plantas dois níveis de P (baixo e alto), a disponibilidade deste nutriente para as plantas tornou-se diferente devido às interações que o P forma com as partículas do solo, além da diferença apresentada por cada clone na expressão dos mecanismos adaptativos para contornar a baixa disponibilidade de P. A massa fresca de tubérculos foi a única variável avaliada que apresentou resposta semelhante para o cultivo em campo e o cultivo sem solo para os três clones, sendo maior sob alta disponibilidade de P. O sistema de cultivo fora do solo com o uso de areia como substrato superestimou as respostas destes clones de batata em relação à disponibilidade de P nas condições testadas.

Os sistemas de multiplicação empregados para produção de batata-semente têm-se mostrado realmente promissores para obtenção de tubérculos com maior qualidade fitossanitária (MEDEIROS et al., 2002). Mas fatores como a origem propagativa das plantas de batata, utilizadas como matrizes para a produção de tubérculos-semente, nesses sistemas pode interferir na relação de biomassa entre raiz e parte aérea e na eficiência de utilização do P e, com isso, afetar o índice de colheita. Os resultados deste trabalho mostram que os clones Asterix e Atlantic apresentaram respostas contrastantes na eficiência de uso de P quando são provenientes de plantas micropropagadas ou a partir de minitubérculos. Enquanto os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 não são influenciados pela origem propagativa e foram considerados respectivamente como eficiente ao uso de P para produção de massa fresca de tubérculos e eficiente no uso e não responsivo ao P no cultivo fora do solo.

Como a planta de batata é altamente exigente quanto à presença de P prontamente disponível na solução do solo, para atingir altas produções são feitas altas aplicações de adubos fosfatados (SILVA et al., 2014). A escolha para o plantio de clones de batata mais eficientes no uso do P, produzindo mais com limitada disponibilidade de P ou respondendo com maior produção de biomassa por unidade de P aplicado, ajuda a aumentar a sustentabilidade do sistema de produção da batata. Os quatro clones testados nesse estudo foram suficientes para mostrar variabilidade genética tanto na eficiência nutricional ao P quanto na resposta ao aumento de sua aplicação. Em cultivo sob restrição de P, os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 são eficientes no uso do P para a produção de massa seca total, podendo ser recomendado para cultivo em áreas que adotam reduzido uso de fertilizantes

fosfatados. Enquanto os clones Atlantic e SMINIA 793101-3, por aumentarem a produção de massa seca total com o aumento do nível de P aplicado, são ideais para serem cultivados em áreas em que são utilizadas elevadas quantidades de adubos fosfatados e outros fertilizantes.

7. CONCLUSÃO

As condições contrastantes entre os cultivos de primavera e outono do Rio Grande do Sul afetam na eficiência nutricional ao P de clones de batata em cultivo sem solo, sendo a resposta do clone ao fotoperíodo determinante na eficiência de aquisição e uso do P.

Cada clone responde de uma maneira diferente aos sistemas de cultivo utilizados quanto a eficiência nutricional ao P. Novas pesquisas devem ser realizadas para ajustar o sistema de cultivo sem do solo as condições de campo para melhor inferir sobre a eficiência nutricional ao P em clones de batata.

Plantas de batata provenientes de micropropagação apresentam eficiência nutricional ao P diferente daquelas produzidas a partir de minitubérculos quando cultivadas em sistema de cultivo sem solo devido principalmente ao vigor inicial das plantas.

Existe variabilidade entre os clones de batata quanto à eficiência nutricional ao P, sendo os clones SMIC 148-A e SMINIA 793101-3 eficientes no uso de P, enquanto que Atlantic e SMINIA 793101-3 são responsivos ao incremento de P com base na produção de massa seca total.

REFERÊNCIAS

- ABEL, S.; TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiologia plantarum**. v.115, p.1-8, 2002.
- AI, P. H. et al. Two rice phosphate transporters, OsPht1;2 and OsPht1;6, have different functions and kinetic properties in uptake and translocation. **Plant Journal**. v.57, p.798-809, 2009.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Ciência Florestal**. v.37, p.613-626, 1991.
- BISOGNIN, D. A. (Coord.). **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996, 64p.
- BISOGNIN, D. A. DELLAI, J. Shoot growth restriction in dry matter partitioning and minituber production of potato plants. **Ciência Rural**. v.45, p.1917-1924, 2015.
- BISOGNIN, D. A. et al. Rooting Potential of Mini-Cuttings for the Production of Potato Plantlets. **American Journal of Plant Sciences**. v.6, p.366-371, 2015.
- CALDEVILLA, E. M.; LOZANO, M. G. **Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterraneo**. Reus: Ediciones de Horticultura. 1993. 123p.
- CHARLES, H. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**. v.327, p.812-818, 2010.
- COLEMAN, W. K.; DONNELLY, D. J.; COLEMAN, S. E. Potato microtubers as research tools: a review. **American Journal of Potato Research**. v.78, p.47-55, 2001.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**. v.19, p.292-305, 2009.
- CHANG, D. C. et al. Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution. **American Journal of Potato Research**. v.88, p.450-458. 2011.
- DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Inheritance of table and processing quality. In: BRADSHAW, J.E.; MACKAY, G.R. (eds.). **Potato Genetics**. p.285-315, 1994.
- DELLAI, J. et al. Densidade de plantio na produção hidropônica de minitubérculos de batata. **Ciência Rural**. v.38, p.1534-1539, 2008.
- DEMAGANTE, A.L.; ZAAG, P. V. The response of potato (*Solanum* spp.) to photoperiod and light intensity under high temperatures. **Potato Research**. v.31, p.73-83, 1988.
- DoVALE, J. C. et al. Genetic responses of traits relationship to components of nitrogen and phosphorus use efficiency in maize. **Acta Scientiarum**. v.35, p.31-38, 2013.
- EKELÖF, J. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. **Master project in the Horticultural Science Programme**, v.2, 2007, 20p.
- FLYNN, H. C.; SMITH, P. Greenhouse gas budgets of crop production - current and likely future trends. **International Fertiliser Industry Association**. Paris, 2010.
- FONTES, P. C. R.; ROCHA, F. A. T.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**. v.15, p.104-107, 1997.

- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.9, p.13-37, 1978.
- GAXIOLA, R. A.; EDWARDS, M.; ELSER, J. J. A transgenic approach to enhance phosphorus use efficiency in crops as part of a comprehensive strategy for sustainable agriculture. **Chemosphere**. v. 84, p.840–845, 2011.
- KAWAKAMI, J.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y. Effects of planting date on the growth and yield of two potato cultivars grown from microtubers and conventional seed tubers. **Plant Production Science**. v.8, p.74-78, 2005.
- KAWAKAMI, J.; IWAMA, K. Effect of potato microtuber size on the growth and yield performance of field grown plants. **Plant Production Science**. v.15, p.144-148, 2012.
- MAIA, C. et al. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.11, p.270-275, 2011.
- MEDEIROS, C. A. B. et al. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**. v.20, p.110-114, 2002.
- MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, v.19, p.174-180, 2001.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO. FAOSTAT data 2013. **Produção mundial de batata**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 21 de nov. de 2015.
- PARENTONI, S. N., SOUZA Jr. C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, p.893-901, 2008.
- PAULA, F. L. M. et al. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**. v.35, p.1034-1042, 2005.
- PLAXTON, W. C., TRAN, H. T. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. **Plant Physiology**. v.156, p.1006-1015, 2011.
- PREZOTTI, L. C.; CARMO, C. A. S.; ANDRADE NETO, A. P. M. **Nutrição mineral da batata**. Vitória: EMCAPA, 1986. 44p.
- RADOUANI, A.; LAUER, F. I. Field Performance of Cultivars Nicola and Russet Burbank Micro and Minitubers. **American Journal of Potato Research**. v.92, p.298-302, 2015.
- REMPELOS, L. et al. Quantitative proteomics to study the response of potato to contrasting fertilisation regimes. **Molecular Breeding**. v.31, p.363-378, 2013.
- RHOADS, R. E. A batata excelente. 1982. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.53-143, 2003.
- RYKACZEWSKA, K. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. **American Journal of Potato Research**. v.92, p.339-349, 2015.
- SILVA, E. C.; GIUSTO, A. B.; DIAS, J. A. C. S. Produção de minitubérculos a partir de brotos de cultivares de batata em diferentes combinações de substratos. **Horticultura Brasileira**. v.24, p.241-244, 2006.
- SILVA, G. O. et al. Rendimento de tubérculos de clones elite de batata. **Horticultura Brasileira**. v.32, p.230-233, 2014.

STERNER, R. W., ELSER, J. J., 2002. **Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere**. Princeton University Press, 464p.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**. v.157, p.423-457, 2003.

WANG, J. SHEN, J. LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**. v.179, p.302-306, 2010.

YANG, X. J.; FINNEGAN, P. M. Regulation of phosphate starvation responses in higher plants. **Annals of Botany**. v.105, p.513-526, 2010.