

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

**CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL
EM RELAÇÃO AO FÓSFORO EM GENÓTIPOS DE
BATATA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Darlene Sausen

Santa Maria, RS, Brasil

2013

CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM RELAÇÃO AO FÓSFORO EM GENÓTIPOS DE BATATA

Darlene Sausen

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Fisiologia e manejo de culturas agrícolas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Nicoloso

Santa Maria, RS, Brasil

2013

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

Sausen, Darlene
Caracterização da eficiência nutricional em relação ao
fósforo em genótipos de batata / Darlene Sausen.-2013.
112 f.; 30cm

Orientador: Fernando Teixeira Nicoloso
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Cultivo in vitro 2. Deficiência ao P 3.
Eficiência de utilização 4. Hidroponia 5. Solanum
tuberosum L I. Nicoloso, Fernando Teixeira II. Título.

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado

**CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM
RELAÇÃO AO FÓSFORO EM GENÓTIPOS DE BATATA**

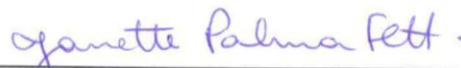
elaborada por
Darlene Sausen

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA



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



Janette Palma Fett, PhD (UFRGS)



Luciane Almeri Tabaldi, Dr^a (UFSM)

Santa Maria, RS, 28 de fevereiro de 2013.

*À meu pai.
Apreciador da agricultura orgânica, hidropônica e sustentável.
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, aos meus cunhados e à minha tia Du. Pelo carinho, compreensão e incentivo. Obrigada mãe por nunca deixarem de acreditar em mim, eu amo todos vocês.

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

Aos professores Dílson A. Bisognin, Maria R. Schetinger, Luciane A. Tabaldi, Juçara Paranhos e Valderi Dressler, pelo fornecimento dos genótipos utilizados, por ceder reagentes e possibilitar a utilização de equipamentos e laboratórios, 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 mestrado. E à CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Um agradecimento especial as minhas colegas e amigas Suzi U. Cerezer e Franciele A. Neis que desde o primeiro dia me auxiliaram na execução deste trabalho e formaram comigo “o trio” inseparável.

Às colegas Hilda S. Hildebrand e Liana V. Rossato que da mesma forma se dispuseram a participar deste trabalho com contribuições valiosas e ajuda nas correções.

Aos demais colegas do grupo de pesquisa em fisiologia de plantas de interesse agrobiológico Marcos, Jover, Leonardo, Pedro, Gabriel, Gessieli, Victória, Andrielle, Raíssa, Bianca, Júlia, Bibiana, Sibila, Eloíza e Jussianne pelo apoio, auxílio e amizade, que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao Tales do departamento de solos e ao Matheus do departamento de química, obrigada pela atenção e ajuda.

Às servidoras Tânia, Nair, Tatiana, Nilza e demais funcionários do Departamento de Biologia e da Fitotecnia.

Aos queridos Cristiano, Daniéla, Felipe, Franco, Gabriele, Gerarda, Guilherme, Laetícia, Márcio, Miguel, Riteli e Ramon. Obrigada pelos momentos de descontração, por ouvirem meus sonhos, pelos churrascos e pelos mates nos fins de tarde.

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

*“Apaixonar-se é um exercício de jardinagem:
arranque o que faz mal, prepare o terreno,
semeie, seja paciente, espere, regue e cuide.
Terá um jardim.
Mas esteja preparado porque haverá pragas,
secas ou excesso de chuvas.
Se desistir, não terá um jardim.
Terá um descampado.”*

Anônimo

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM RELAÇÃO AO FÓSFORO EM GENÓTIPOS DE BATATA

AUTORA: DARLENE SAUSEN

ORIENTADOR: FERNANDO TEIXEIRA NICOLOSO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2013.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar genótipos de batata quanto à eficiência nutricional para fósforo avaliada em sistemas de cultivo *in vitro* e em hidroponia. Para tanto, foram realizados experimentos *in vitro* com genótipos de batata crescidos em duas doses de P, 5 e 50% da concentração padrão do meio MS, as quais correspondem a 1,935 mg de P L⁻¹ e 19,346 mg de P L⁻¹, respectivamente. O experimento em hidroponia consistiu de sete genótipos de batata e duas doses de P, 5 e 50% da concentração padrão da solução nutritiva desenvolvida para o cultivo sem solo de batata (ANDRIOLO, 2006), chamados neste trabalho de baixo (2,32 mg P L⁻¹) e alto (23,2 mg P L⁻¹) níveis de P. As plantas *in vitro* foram avaliadas aos 40 dias após a inoculação e as em cultivo hidropônico aos 18, 39 e 62 dias após o plantio. Os efeitos diretos e indiretos de cada variável sobre a eficiência de utilização do P nos genótipos de batata são dependentes da condição de cultivo (*in vitro* ou hidropônico), da dose de P e da época de coleta. Pela união dos índices de eficiência de utilização ao P, foi possível caracterizar que os genótipos de batata responderam de modo diferenciado à deficiência de P em cada sistema de cultivo, com exceção do genótipo SMIJ 319-1 que nos dois sistemas se apresentou como eficiente na utilização e responsivo ao P. O sistema de cultivo *in vitro* não é adequado para a seleção de genótipos de batata quanto à eficiência de utilização e resposta ao P.

Palavras-chave: Cultivo *in vitro*. Deficiência ao P. Eficiência de utilização. Hidroponia. *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

Master Dissertation
Agronomy Graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

CHARACTERIZATION OF PHOSPHORUS NUTRITION EFFICIENCY IN POTATO GENOTYPES

AUTHOR: DARLENE SAUSEN

ADVISER: FERNANDO TEIXEIRA NICOLOSO

Date and Place of Presentation: Santa Maria, February 28th 2013

The objective of this work was to characterize the potato genotypes for phosphorus efficiency evaluated in *in vitro* and in hydroponics growth systems. Experiments were conducted in *in vitro* with potato genotypes grown at two P levels, 5 and 50% concentration of MS medium, $1.935 \text{ mg P L}^{-1}$ and $19.346 \text{ mg P L}^{-1}$, respectively. The hydroponic experiment consisted of seven potato genotypes and two doses of P, 5 and 50% of the strength of the nutrient solution developed for soilless cultivation of potatoes (ANDRIOLO, 2006), called as a low (2.32 mg P L^{-1}) and high (23.2 mg P L^{-1}) levels of P. The plants were evaluated in *in vitro* at 40 days after inoculation and in hydroponic culture at 18, 39 and 62 days after planting. The direct and indirect effects of each variable on the efficiency of utilization of P in potato genotypes are dependent on the condition of cultivation (hydroponic or *in vitro*), the P concentration and the harvest time. Taken together the efficiency indexes of P utilization, it was possible to characterize that the potato genotypes responded differently to P deficiency in each growth system, with the exception of the SMIJ 319-1 genotype which in the two systems presented efficient in utilization and response to P. The *in vitro* culture system is not appropriate for the selection of potato genotypes with regard to determining the efficiency of utilization and response to P.

Keywords: Deficiency of P. Efficiency of utilization. *In vitro* culture. Hydroponics. *Solanum tuberosum* L.

LISTA DE FIGURAS

MANUSCRITO 1

Figura 1 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A513-1(Y) e SMG (Z) quanto à resposta da aplicação de P na produção de massa seca total da planta aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR). 43

MANUSCRITO 2

Figura 1 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização e resposta no número de raízes (I), no comprimento de raízes (II) e na densidade do sistema radicular (III) aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. 67

Figura 2 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P na parte aérea e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. 74

Figura 3 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P nas raízes e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. 75

Figura 4 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P nas planta inteira e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. 74

Figura 5 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P e eficiência de absorção de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. 77

Figura 6 – Diagrama de resposta dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), quanto a eficiência e resposta à aplicação de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) na produção de massa fresca de tubérculos, avaliados aos 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico. 80

Figura 7 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) quanto a eficiência de utilização de P nas folhas e resposta à aplicação de P em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP. 89

Figura 8 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) quanto a eficiência de utilização de P nas raízes e resposta à aplicação de P em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP. 90

Figura 9 - Diagrama de classificação quanto à eficiência de utilização e resposta à aplicação de duas doses de fósforo 5 e 50%, dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) em condições de cultivo *in vitro* aos 40 DAI (I) e dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP (II). 92

LISTA DE TABELAS

MANUSCRITO 1

- Tabela 1** – Efeito de quatro doses de fósforo (5, 10, 50 e 100 % da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e massa fresca total da planta (MFT) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente. 29
- Tabela 2** – Efeito de quatro doses de fósforo (5,10, 50 e 100 % da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total da planta (MST) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente. 30
- Tabela 3** – Efeito de quatro doses de fósforo (5,10, 50 e 100 % da concentração padrão do meio MS) no comprimento de raízes (CR), densidade do sistema radicular (DSR) e relação entre massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente. 32
- Tabela 4** – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100 % da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), altura média da planta (ALM), número de brotações (NB) e número de raízes (NR) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação. 33
- Tabela 5** – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100 % da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e massa fresca total (MFT) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação. 34
- Tabela 6** – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100 % da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total da planta (MST) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação. 35
- Tabela 7** – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100 % da concentração padrão do meio MS) no comprimento de raízes (CR), densidade do sistema radicular (DSR) e relação entre a massa seca de raízes e a massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação. 36
- Tabela 8** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), na altura média da planta (ALM) e no número de brotações (NB) no cultivo *in vitro* dos genótiposSMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), , SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 38
- Tabela 9** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), na massa fresca de raízes (MFR) e na massa fresca total (MFT) no cultivo *in vitro* dos genótiposSMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), , SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 40
- Tabela 10** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), na massa seca de raízes (MSR) e na massa seca total da planta (MST) dos genótiposSMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), , SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 42
- Tabela 11** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) no número de raízes (NR), no número de raízes aéreas (NRA) e na relação entre massa seca de raízes e massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), , SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 45

MANUSCRITO 2

- Tabela 1** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), no número de brotações (NB) e na relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea (MSSR/MSPA) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação em cultivo *in vitro*. 63
- Tabela 2** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), na massa seca de raízes (MSR) e na massa seca total (MST) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação em cultivo *in vitro*. 64
- Tabela 3** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) no fósforo inorgânico presente na parte aéreas (PA) e nas raízes (Pi Raiz) e na atividade das fosfatases ácidas em parte aérea (APase PA) e nas raízes (APase Raiz) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 68
- Tabela 4** – Efeito de duas doses de P (5 e 50 % da concentração padrão do meio MS) no conteúdo acumulado de P na matéria seca de raízes, da parte aérea e do total da planta no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 70
- Tabela 5** – Eficiências de absorção de P (EAP), utilização de P nas raízes (EUPR), na parte aérea (EUPPA) e na planta (EUPP) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação. 71
- Tabela 6** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) no comprimento da parte aéreas (CPA), número de folhas (Folha), número de tubérculos (Tubérculo) e índice de colheita (Índice de Colheita) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico . 78
- Tabela 7** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) na massa fresca de folhas (MFF), de raízes (MFR), tubérculos (MFT), hastes (MFH) e total da planta (MFTotal) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico. 82
- Tabela 8** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) na massa seca de folhas (MSF), de raízes (MSR), de tubérculos (MST), de hastes (MSH) e da total da planta (MSTotal) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico. 83
- Tabela 9** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) na concentração de fósforo inorgânico presente na parte aérea (Pi PA) e nas raízes (Pi Raiz) e na atividade das fosfatases ácidas presentes na quarta folha (APase 4ª folha) e nas raízes (APase Raiz) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18 e 39 dias após plantio em condições de cultivo hidropônico. 85
- Tabela 10** – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50 % da concentração padrão da solução de Andriolo (2006)) no conteúdo acumulado de P na raiz e na 4ª folha dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 62 dias após plantio (DAP), em condições de cultivo hidropônico. 87
- Tabela 11** – Eficiências de utilização de P nas raízes (EUPR), nas folhas (EUFolhas) no cultivo hidropônico dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S) e P 150 (U) avaliados aos 62 dias após plantio. 88

LISTA DE APÊNCICES

Apêndice A - Concentração dos componentes dos meios de cultivo MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) e da solução nutritiva de Andriolo (2006) para produção de batata-semente utilizados nos experimentos com os quatorze genótipos.	112
---	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
MANUSCRITO 1 - SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA À EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E RESPOSTA AO FÓSFORO EM SISTEMA DE CULTIVO <i>in vitro</i>	20
Resumo	21
Abstract	22
1. Introdução	23
2. Material e métodos	24
2.1. Material vegetal	25
2.2. Experimento 1	25
2.3. Experimento 2	26
2.4. Experimento 3	26
2.5. Avaliações	27
2.6. Análise dos dados	27
3. Resultados e discussão	27
3.1. Experimento 1	28
3.2. Experimento 2	31
3.3. Experimento 3	36
4. Conclusões	44
5. Referências	45
MANUSCRITO 2 - VALIDAÇÃO DA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA PARA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E RESPOSTA AO FÓSFORO: EFEITO DO SISTEMA DE CULTIVO	50
Resumo	51
Abstract	52
1. Introdução	53
2. Materiais e métodos	55
2.1. Material vegetal e condições de crescimento – experimento <i>in vitro</i>	56
2.1.1. Avaliações – experimento <i>in vitro</i>	56
2.1.2. Análise estatística – experimento <i>in vitro</i>	57
2.2. Material vegetal e condições de crescimento – experimento hidroponia	57
2.2.1. Avaliações – experimento hidroponia	58
2.2.2. Análise estatística – experimento hidroponia	59
2.3. Determinação do conteúdo de P	60
2.4. Determinação dos índices de eficiência e classificação dos genótipos	60
3. Resultados e discussão	61
3.1. Experimento <i>in vitro</i>	61
3.1.1. Análise de crescimento – experimento <i>in vitro</i>	61
3.1.2. Análise bioquímica – experimento <i>in vitro</i>	66
3.1.3. Análise de eficiência nutricional – experimento <i>in vitro</i>	68
3.2. Experimento hidropônico	76
3.2.1. Análise de crescimento – experimento hidropônico	76
3.2.2. Análise bioquímica – experimento hidropônico	84
3.2.3. Análise de eficiência nutricional - experimento hidropônico	86
4. Conclusões	92
5. Referências	93

DISCUSSÃO GERAL	104
CONCLUSÕES GERAIS	105
REFERÊNCIAS GERAIS	105

INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) que tem origem na Cordilheira dos Andes, próxima ao sul do Peru, na América do Sul (HAWKES, 1993), foi introduzida por volta de 1570 na Europa, sendo posteriormente adaptada para o cultivo em dias longos e, depois disseminada para o restante do mundo. Num período de aproximadamente 300 anos, a batata passou de uma cultura restrita de algumas regiões da América do Sul para uma das mais importantes espécies cultivadas (PASSOS et al., 1973).

No Brasil, o cultivo de batata teve início no ano de 1920 e, assim como outras hortaliças, foi inicialmente estabelecida na região do cinturão verde de São Paulo. Hoje a batata é considerada a principal hortaliça cultivada no país, tanto em área como em preferência alimentar (LOPES; BUSO, 1997) e a mais importante no cenário agrícola do Rio Grande do Sul em produção (BISOGNIN, 1996).

O consumo de batata no mundo é grande, tanto por esta hortaliça ser uma fonte de proteína de boa qualidade e uma rica fonte de energia, apresentando uma relação favorável entre proteínas e total de calorias, quanto por constituir uma importante fonte de vitaminas e minerais como cálcio, potássio e fósforo (DALE; MACKAY, 1994). Além disso, existe uma variedade de pratos gastronômicos que podem ser elaborados com o uso de tubérculos de batata (SHIMAYAMA, 2006). No que se refere ao potencial produtivo da cultura da batata, observa-se que este se mostra em média duas vezes maior que o cultivo de uma lavoura de grãos (RHOADS, 2003). A planta de batata produz alimento mais nutritivo, em menor área e espaço de tempo, se comparada a plantas de arroz, trigo e milho, que são as culturas mais produzidas no mundo (DALE; MACKAY, 1994; FAO, 2013).

Dentre as variáveis que condicionam o desempenho da planta de batata, o manejo nutricional é um dos mais importantes e pode ser realizado pelo homem (WESTERMANN; DAVIS, 1992). Para atingir elevada produtividade na cultura da batata, a adubação é um dos fatores essenciais, porém, isso incide no aumento do custo de produção, podendo atingir até 17% dos custos totais (BISOGNIN, 2006). A adubação corresponde ao segundo maior custo na produção de batata, ficando atrás apenas do custo da batata-semente (EMBRAPA, 1999). Uma maneira para minimizar os custos seria evitar excessos e perdas, fornecendo somente os

nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento da cultura (BISOGNIN, 2006).

As exigências nutricionais variam conforme as fases de desenvolvimento da planta de batata. Nitrogênio, potássio, magnésio e enxofre têm seu máximo de absorção entre 40 e 50 dias após a emergência, enquanto que para o fósforo e cálcio isto ocorre durante todo o ciclo (TAVARES et al., 2002). Novas estratégias de gestão para otimizar a utilização do fósforo já vem sendo elaboradas no mundo (ZHANG, 2009).

Na região sul, a batata é cultivada predominantemente em solos com diferentes texturas, profundidades e níveis de fertilidade, mas com os mesmos problemas de elevada acidez, baixos teores de fósforo, cálcio e magnésio e teores elevados de elementos tóxicos, sendo necessário, entre outras práticas, o uso da calagem e da adubação para atingir alta produtividade (PEREIRA, 2003). Solos cultivados com pH acima de 5,5 mostram maior incidência de sarna-comum (*Streptomyces scabies*) nos tubérculos (PEREIRA, 2003), e solos que apresentam pH abaixo de 5,0, por outro lado, pela própria ação da acidez e pela diminuição da disponibilidade de nutrientes e aumento da disponibilidade de alumínio trocável, apresentam decréscimos de produção, mesmo que a planta de batata tolere uma acidez moderada no solo (CASTRO, 1983). Estabeleceu-se que para melhorar o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, deve ser usado o calcário para atingir pH do solo 5,5 (FREIRE, 1998).

Depois do nitrogênio, o fósforo (P) é considerado o nutriente mais limitante da produção agrícola (HALVIN et al., 2005). Ele é o elemento que promove aumentos mais significativos na produtividade da batata. Mesmo sendo o quinto nutriente em ordem decrescente de absorção para a cultura da batata, depois do N, K, Ca e Mg, o P atua na planta estimulando a formação de tubérculos graúdos, apressando a maturação e reduzindo o ciclo cultural (PREZOTTI et al., 1986). Esse macronutriente desempenha nas plantas função de armazenagem de energia, composição de membranas, além de ser constituinte de nucleotídeos e ácidos nucléicos (TAIZ; ZEIGER, 2010; SHEN et al., 2011), tendo também um papel fundamental na regulação fotossintética, no metabolismo do carbono e como regulador enzimático da glicólise (ABEL et al., 2002).

Apesar de em solos altamente fertilizados o P atingir maiores concentrações, na maior parte deles sua concentração na solução do solo varia entre 0,1 e 10 μ M,

valor muito inferior ao exigido para o crescimento ótimo de plantas como feijão, ervilha, cebola, espinafre, tomate e batata, as quais requerem teores muito superiores (HINSINGER, 2001). Para suprir as necessidades deste nutriente, as principais fontes de P disponíveis na agricultura são os fosfatos naturais, os parcialmente acidulados e os solúveis (McLAUGHLIN; SINGH, 1999). A principal matéria-prima destes produtos são rochas fosfatadas que apresentam em sua composição, além do fósforo, diversas impurezas, como o cádmio (Cd) (PROCHNOW et al., 2001), que por meio de sucessivas adubações fosfatadas podem contaminar águas superficiais e subsuperficiais (McLAUGHLIN; SINGH, 1999; UEMURA, 2000; WAALKES, 2000). Dessa forma o Cd pode entrar na cadeia de produção de alimentos, afetando os consumidores (NESET et al., 2008; MA et al., 2010).

Sob baixo pH, o principal mecanismo de fixação de P ocorre por complexação com o ferro (Fe) e o alumínio (Al) (BISSANI et al., 2004), e em pH alto a precipitação ocorre principalmente pela formação de fosfatos cálcicos insolúveis (FAGERIA, 1998); o que sugere que a disponibilidade do P é altamente dependente do pH. A forma mais facilmente absorvida de P pela planta é o fosfato inorgânico ($P_i = H_2PO_4^-$) (RAGHOTHAMA, 1999). O fósforo orgânico pode ser uma fonte de P_i disponível às plantas, dependendo da taxa de solubilização e da taxa de P_i liberado. Assim, vários tipos de proteínas fosfatases liberadas pela planta atuam na hidrólise do fósforo orgânico do solo e são capazes de aumentar a taxa de P_i liberado para as plantas (DUFF et al., 1994).

O processo de aquisição de P_i do solo pela planta é dificultado em função da sua concentração na solução do solo ser naturalmente baixa e pelo volume radicular reduzido da planta de batata em comparação com outras espécies vegetais. Este obstáculo à produção vegetal pode ser vencido melhorando a aquisição, translocação e utilização interna de P pelas plantas. Isto pode ser conseguido através da seleção de cultivares com alta eficiência de utilização e/ou absorção de P (HINSINGER, 2001; ZHU et al., 2005; CAO et al., 2009).

Os critérios de eficiência geralmente dividem-se entre os que enfatizam a produtividade e aqueles que enfatizam o requerimento interno do nutriente na planta (GOURLEY et al., 1994), associados a outras características dos vegetais como morfologia e fisiologia. A eficiência nutricional é dependente de dois fatores principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização. O primeiro é

influenciado por parâmetros cinéticos (absorção) e morfológicos (estrutura radicular), enquanto o segundo depende da translocação e de conversão em biomassa (FOX, 1978; MOURA et al., 2001).

Os melhores métodos para avaliar cultivares mais eficientes na absorção e utilização dos nutrientes têm sido aqueles que empregam o crescimento e desenvolvimento dos diferentes genótipos em condições de baixo nível do nutriente, verificando se a resposta se deve ao mecanismo de absorção e/ou de utilização do nutriente para a produção de matéria seca ou depende de ambos (WHITEAKER et al., 1976; LINDGREN et al., 1977; FURLANI; CLARK, 1981). Pode-se considerar uma planta eficiente quando: (I) ela produz uma maior quantidade de matéria seca por unidade do nutriente absorvido (BAILIAN et al., 1991); (II) a planta acumula maiores concentrações do nutriente quando cultivada em baixas doses deste elemento (CLARK; BROWN, 1974); e (III) a planta atinge maiores produções por unidade de tempo e área (FOX, 1978).

A eficiência pode ser definida como a habilidade da planta em produzir certa porcentagem de produção máxima com certa dose do nutriente no solo (FÖHSE et al., 1998). Assim, tanto plantas bem supridas como as deficientes em um nutriente podem apresentar alta taxa de eficiência. Portanto, visando evitar a seleção de plantas com alta taxa de eficiência, mas com baixa produção, propõe-se o uso do índice de eficiência de Siddiqi e Glass (1981), o qual resume num mesmo índice a eficiência de utilização do nutriente e o crescimento, através da equação: (matéria seca produzida)² (unidade do nutriente absorvido)⁻¹.

Vários são os fatores que influenciam nas diferenças entre genótipos de batata quanto à eficiência de absorção, translocação, uso e resposta ao fósforo. Sabendo a importância deste elemento para a planta de batata, é necessário uma busca por genótipos eficientes na absorção e utilização deste elemento, possibilitando uma redução nos custos de produção, bem como a conservação do agroecossistema. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar genótipos de batata quanto à eficiência nutricional para fósforo avaliada em sistemas de cultivo *in vitro* e em hidroponia.

MANUSCRITO 1

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA QUANTO À EFICIÊNCIA DE
UTILIZAÇÃO E RESPOSTA AO FÓSFORO EM SISTEMA DE CULTIVO *in vitro***

RESUMO

Plantas que crescem em ambientes deficientes em fósforo (P) desenvolvem várias estratégias para superar seu suprimento inadequado. O cultivo *in vitro* até o momento vem sendo utilizado como sistema adequado para o estudo da absorção e utilização dos nutrientes no metabolismo e no crescimento vegetal. Assim os objetivos deste trabalho foram: (I) determinar duas doses de fósforo do meio MS que possibilitem verificar respostas contrastantes entre os genótipos de batata para trabalhos de eficiência; (II) definir a melhor época para avaliação de parâmetros de crescimento; e (III) estudar o efeito da restrição de P no crescimento de treze genótipos de batata em sistema de cultivo *in vitro*. Para tanto, três experimentos foram desenvolvidos. Os genótipos Dakota Rose e SMIF 212-3 foram cultivados em meio MS com 5, 10, 50 e 100% de P a partir da concentração padrão. A variação da concentração de P (5 e 10%) possibilitou a diferenciação das respostas de crescimento dos genótipos (principalmente nas massas secas, comprimento e densidade do sistema radicular). Concomitantemente foram cultivados *in vitro* os genótipos SMINIA 793103-3, SMIE 040-6RY e SMIF 313-3 sob duas doses de P (10 e 100% da concentração padrão de P) e coletados em três épocas diferentes, aos 20, 30 e 40 dias após inoculação (DAI). Para que os genótipos expressem alguns sintomas de deficiência ao P, a coleta aos 40 DAI é a melhor época de avaliação. No terceiro experimento, os genótipos SMIC 148-A, Dakota Rose, SMINIA 793103-3, SMIB 106-7, SMIE 040-6RY, SMIF 212-3, SMIF 313-3, SMIJ 319-1, P 150, SMIJ 461-1, SMINIA 00017-6, A 513- 1 e SMG foram cultivados *in vitro* em meio MS com 5 e 50% de P e coletados aos 40 DAI. A maioria dos genótipos de batata apresentou maior crescimento na alta dose de P (50% de P). Os genótipos Dakota Rose e SMG não respondem à aplicação de P. Os genótipos SMIF 313-3, P 150, SMIA 00017-6 e A 513-1 são responsivos ao P. O genótipo SMIJ 319-1 é o genótipo mais eficiente na utilização do P em baixa dose (5%) de P.

Palavras-chave: Cultivo *in vitro*. Fósforo. Eficiência ao fósforo. Genótipos de batata. *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

Plants that grow in environments deficient in phosphorus (P) develop various strategies to overcome its inadequate supply. The *in vitro* culture has been used as an appropriate system for studying the absorption and utilization of nutrients in the plant metabolism and growth. The objectives of this study were: (I) to determine two doses of P from the MS medium which can give contrasting responses on P utilization and response efficiencies, (II) define the best time for evaluation of growth parameters, and (III) to study the effects of the restriction of P on the growth of thirteen genotypes of potato in *in vitro* culture system. For this purpose three experiments were carried out. The genotypes Dakota Rose and SMIF 212-3 were cultured on MS medium with 5, 10, 50 and 100% of P from the standard concentration. The variation of P concentration (5 and 50%) allowed the differentiation of growth responses of the genotypes (mainly in dry matter, length and density of the root system). Concomitantly the genotypes SMINIA 793103-3, 040-SMIE 6RY and SMIF 313-3 were grown in *in vitro* under two doses of P (10 and 100% from the standard concentration) and harvested at three different times at 20, 30 and 40 days after inoculation (DAI). For the expression of the symptoms of P deficiency, the harvested at 40 DAI is the best time of harvest. Genotypes SMIC 148-A, Dakota Rose, SMINIA 793103-3, SMIB 106-7, SMIE 040-6RY, SMIF 212-3, SMIF 313-3, SMIJ 319-1, P 150, SMIJ 461-1, SMINA 00017-6, A 513-1 and SMG were cultured *in vitro* on MS medium with 5 and 50% of P and harvested at 40 DAI. Most potato genotypes showed higher growth in the high dose of P (50% P). The genotypes Dakota Rose and SMG not respond to P. The genotypes SMIF 313-3, P 150, A 513-1 and SMIA 00017-6 are responsive to P. The genotype SMIJ 319-1 is more efficient in utilization of P at low dose (5%) of P.

Keywords: *In vitro* culture. Phosphorus efficiency. Phosphorus. Potato genotypes. *Solanum tuberosum* L.

1. Introdução

A produtividade de uma lavoura de batata (*Solanum tuberosum* L.) e a qualidade dos tubérculos produzidos é decorrente de vários fatores. Dentre eles, um que merece importância é a qualidade fitossanitária da batata-semente utilizada (ASSIS, 1999; LOPES; REIFSCHNEIDER, 1999), que representa o maior custo na produção de batata (EMBRAPA, 1999), pois, grande parte da batata-semente utilizada no Brasil é importada.

A propagação comercial da batata é feita vegetativamente através do uso de batata-semente, o que possibilita a obtenção de material idêntico ao material de origem. Porém, a utilização desse material propagativo por repetidos ciclos pode provocar a degenerescência devido ao efeito cumulativo de viroses. Uma das formas mais viáveis de se propagar plantas de batata isentas de doenças, especialmente viroses, é a micropropagação (KANE, 2000; PEREIRA et al., 2001a, FORTES; PEREIRA, 2003).

A micropropagação é a propagação fiel de um genótipo selecionado por meio das técnicas da cultura *in vitro*. Uma dessas técnicas é a cultura de segmentos nodais, que são constituídos de gemas laterais isoladas ou segmentos de caule com uma ou múltiplas gemas, sendo que cada gema se desenvolve para formar uma brotação. Para a cultura da batata, a micropropagação encontra-se bem estabelecida, podendo ser utilizada para obtenção de plantas com alta sanidade (WANG; HU, 1982; SCHILDE-RENTSCHLER; SCHMIEDICHE, 1984; BOXUS; DRUART, 1986). Essa técnica permite ainda a multiplicação massal de um genótipo em pequeno espaço físico, curto período de tempo e ao longo de todo o ano (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1998; GUERRA et al., 1999), além de permitir aperfeiçoar a interação entre fatores abióticos e bióticos (TORRES et al., 1998).

Um dos principais estresses abióticos que limita a produtividade das culturas é a deficiência de fósforo, ocorrendo em 30 a 40% das terras aráveis do mundo (VON UEXKÜLL; MUTERT, 1995). Plantas que crescem em ambientes deficientes em P desenvolvem várias estratégias para tentar superar o suprimento inadequado deste nutriente. Para melhorar a aquisição e utilização de P, as plantas induzem a formação de transportadores de alta afinidade, secretam exsudatos pelas raízes para liberar o P adsorvido aos coloides, promovem alterações na morfologia e na

arquitetura do sistema radicular e maximizam a conservação e remobilização interna do P (ESPINDULA et al., 2009; LIN et al., 2009).

Diferenças na aquisição P pela planta e eficiência de utilização têm sido observadas não apenas entre espécies, mas também entre indivíduos da mesma espécie (GAUME et al., 2001;. LI et al., 2007). Assim, ao compreendermos as respostas das plantas à deficiência de P e usarmos as diferenças genotípicas para aumentar a eficiência de utilização de P dentro de cada espécie vegetal poderemos desenvolver cultivares eficientes ao baixo nível de P, proporcionando uma solução ecologicamente aceitável para a demanda por fosfato sem afetar a produtividade das culturas (GOOD et al., 2004; ESPINDULA et al., 2009; VENEKLAAS et al., 2012).

O cultivo *in vitro*, até o momento, vem sendo utilizado como sistema adequado para o estudo da utilização dos nutrientes no metabolismo e no crescimento vegetal, uma vez que as plantas cultivadas nesse sistema são altamente dependentes da composição química do meio de cultivo. Com isso, os objetivos deste trabalho foram: (I) determinar duas doses de fósforo do meio MS que possibilitem verificar respostas contrastantes entre os genótipos para trabalhos de eficiência; (II) definir a melhor época para avaliação de parâmetros de crescimento e (III) estudar o efeito da restrição do P no crescimento de treze genótipos de batata em sistema de cultivo *in vitro*.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Biotecnologia Vegetal do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

2.1. Material vegetal

O material vegetal utilizado foi oriundos do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria.

A multiplicação desses genótipos foi realizada através de explantes caulinares obtidos de plantas cultivadas *in vitro* sob MS com 100% dos sais. Os segmentos nodais com 1,0 cm de comprimento foram inoculados em meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962), suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, 0,1 g L⁻¹ de mio-inositol e 6 g L⁻¹ de ágar.

Os tubos de ensaio contendo os explantes foram mantidos em sala de crescimento com temperatura de 25 ± 2°C, fotoperíodo de 16 h com intensidade luminosa de 35 μmol m⁻²s⁻¹ fornecida por lâmpadas fluorescentes brancas frias.

2.2. Experimento 1

No primeiro experimento, os tratamentos consistiram de dois genótipos de batata Dakota Rose (D) e SMIF 212-3 (M) (escolhidos em experimentos anteriores por apresentarem baixa e alta taxa de crescimento, respectivamente) e submetidos a quatro concentrações de fósforo (P) no meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962): 5, 10, 50 e 100% da concentração padrão de P do meio MS, respectivamente 1,935; 3,869; 19,346 e 38,693 mg P L⁻¹, sendo a fonte de P utilizada o KH₂PO₄. Para manter o teor de potássio nas concentrações de 5, 10 e 50% de P, utilizou-se KCl. Os outros nutrientes foram mantidos na mesma concentração independente dos níveis de P aplicados. Para a coleta das plantas foi respeitada a taxa de crescimento de cada genótipo, sendo que o experimento foi finalizado quando 10% das plantas atingiram a máxima altura do tubo de cultivo (15 cm). O final de cultivo para o genótipo SMIF 212-3 (M) ocorreu aos 21 dias após inoculação (DAI) e para o genótipo Dakota Rose (D) apenas aos 55 DAI. A unidade experimental foi constituída de dez tubos de ensaio, cada um contendo 10,0 mL de meio de cultivo e três segmentos nodais com uma gema e folha, sendo utilizadas quatro repetições, em um delineamento inteiramente casualizado.

2.3. Experimento 2

O segundo experimento foi realizado concomitantemente ao primeiro, os tratamentos consistiram de três épocas de coleta, sendo 20, 30 e 40 dias após a inoculação (DAI) e três genótipos de batata: SMINIA 793103-3 (F), SMIE 040-6RY (L) e SMIF 313-3 (N) submetidos a duas concentrações de P no meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962): 10 e 100% da concentração padrão de P do meio MS (que já vinham sendo utilizados em experimentos anteriores visando a seleção de genótipos para eficiência ao P), respectivamente 3,869 e 38,693 mg P L⁻¹, sendo a fonte de P utilizada o KH₂PO₄. Para manter o teor de potássio no baixo nível de P, foi realizada a adição de 83,8183 mg L⁻¹ de KCl. A unidade experimental assim como o delineamento foi igual ao do experimento 1.

2.4. Experimento 3

Neste experimento, os tratamentos consistiram de treze genótipos de batata: SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513- 1(Y) e SMG (Z), submetidos a duas concentrações de P no meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962): 5 e 50% da concentração padrão de P do meio MS, chamados nesse trabalho de baixo (1,935 mg P L⁻¹) e alto (19,346 mg P L⁻¹) níveis de P, respectivamente. A fonte de P utilizada foi o KH₂PO₄ e para manter o teor de potássio constante, utilizou-se o KCl. As plantas foram coletadas aos 40 dias após a inoculação (DAI). A unidade experimental assim como o delineamento, foi igual ao experimento 1 e 2.

2.5. Avaliações

Ao final de cada experimento, foram avaliadas nas plantas as seguintes

variáveis: comprimento da parte aérea (a maior haste foi medida com régua de precisão de 0,1 cm), altura média das plantas (exceto para o experimento 1), número de brotações, comprimento do sistema radicular (estimado de acordo com Tennant (1975)), número de raízes, número de raízes aéreas (exceto para o experimento 2), as massas fresca e seca de parte aérea, do sistema radicular e do total das plantas. A massa seca foi determinada após secagem do material por 15 dias em estufa a 65 °C, utilizando balança com 0,0001 g de precisão. Além disso, determinou-se a densidade do sistema radicular e a relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea.

Apenas para o terceiro experimento foi confeccionado um diagrama de resposta dos genótipos à produção de massa seca total da planta inteira sob as duas doses de P (5 e 50%). Para tanto, a média geral dos genótipos no alto e no baixo nível de P constitui o ponto de intercessão do eixo das abscissas e das ordenadas.

2.6. Análise dos dados

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se o software Sisvar 5.0 (Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG). As análises complementares foram realizadas através de comparação de médias pelos testes de Tukey (experimento 1 e 2) e Scott-Knott (experimento 3), a 5% de probabilidade de erro.

3. Resultados e discussão

3.1. Experimento 1

Através do resultado da análise de variância, para o primeiro experimento, que consistiu de dois genótipos (D e M) submetidos a quatro concentrações de fósforo (5, 10, 50 e 100% do meio MS) não se verificou diferença significativa entre

os tratamentos, em relação ao comprimento da parte aérea (média de 15,6 e 17,2 cm pl^{-1} para os genótipos D e M, respectivamente), número de brotações (média de 10,0 e 12,5 brotações pl^{-1} , para os genótipos D e M, respectivamente), número de raízes (média de 23,5 e 17,5 raízes pl^{-1} , para os genótipos D e M, respectivamente) e no número de raízes aéreas (média de 21,0 e 11,4 raízes aéreas pl^{-1} para os genótipo D e M, respectivamente). Também não houve diferença na massa fresca da parte aérea e massa fresca total entre as doses para os dois genótipos (Tabela 1).

Tabela 1 – Efeito de quatro doses de fósforo (5, 10, 50 e 100% da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e massa fresca total da planta (MFT) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente.

GENÓTIPO	DOSE (% de P)	MFPA (mg pl^{-1})	MFR (mg pl^{-1})	MFT (mg pl^{-1})
D	5	25,28 a*	5,63 a	30,91 a
D	10	24,93 a	11,38 a	36,31 a
D	50	35,91 a	13,47 a	49,37 a
D	100	34,71 a	12,33 a	47,04 a
CV (%)		25,25	61,21	33,48
M	5	23,52a	3,05 ab	26,57 a
M	10	18,11 a	2,94 b	21,05a
M	50	36,12 a	11,02 a	47,14 a
M	100	21,03 a	7,12 ab	28,15 a
CV (%)		41,88	53,2	41,77

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o genótipo M a maior produção de massa fresca de raízes (MFR) ocorreu na dose de 50% não diferindo do produzido na dose de 100% de P (Tabela 1). Já foi relatado em muitos trabalhos que o meio de cultura MS possui uma concentração de sais (macro e micronutrientes) considerada elevada, tornando-se, inclusive, prejudicial ao enraizamento de brotos em algumas espécies (PASQUAL; LOPES, 1991). Na micropropagação de videiras, a redução na concentração de macro e micronutrientes do meio MS tem sido recomendada (BOTTI et al., 1993).

O genótipo D não apresentou diferença entre as doses de P para a massa fresca de raízes (Tabela 1), massa seca de raízes e do total da planta (Tabela 2). Outros autores também já observaram ausência de efeito da redução na disponibilidade de nutrientes sobre o crescimento vegetativo. Rego e Faria (2005) trabalhando com a orquídea brasileira *Cyrtopodium paranaensis*, também não observaram diferença na massa seca da planta quando cultivada em meio MS completo ou com apenas metade dos sais.

Tabela 2 – Efeito de quatro doses de fósforo (5,10, 50 e 100% da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total da planta (MST) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente.

Genótipo	Dose (% de P)	MSPA (mg pl ⁻¹)	MSR (mg pl ⁻¹)	MST (mg pl ⁻¹)
D	5	2,35 bc*	0,57 a	2,93 a
D	10	2,06 c	0,54 a	2,60 a
D	50	3,25 a	0,41 a	3,66 a
D	100	3,10 ab	0,51 a	3,61 a
CV (%)		15,29	40,95	18,37
M	5	1,35ab	0,30 b	1,65 ab
M	10	1,01 b	0,23 b	1,24 b
M	50	1,98 a	0,52 a	2,50 a
M	100	1,60 ab	0,39 ab	1,99 ab
CV (%)		26,13	31,86	26,24

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A dose de 50% de P proporcionou maior incremento de massa seca da parte aérea para o genótipo D, diferindo significativamente das doses de 5 e 10% de P (Tabela 2). O decréscimo na massa seca de parte aérea nas doses mais baixas de P (5 e 10%) são os primeiros sintomas visíveis da deficiência, a qual é devido a redução da expansão da área foliar e a diminuição da emissão de novas folhas (MOLLIER; PELLERIN, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2010). Consequentemente, a relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea foi maior nas doses de 5 e 10% de P do que na dose de 50% de P (Tabela 3).

Para o genótipo M a maior produção de massa seca da parte aérea, de raízes

e do total da planta ocorreu na dose de 50% de P, não diferindo da dose de 100% de P (Tabela 2). O que sugere, que mesmo reduzindo a concentração dos sais, que conseqüentemente reduz o custo de produção, é possível manter a mesma produção.

Quanto a densidade do sistema radicular, o genótipo D apresentou maior densidade de raízes na dose de 5% de P, enquanto as plantas cultivadas na dose de 50 e 100% de P apresentaram uma redução na densidade de raízes de 59 e 42%, respectivamente (Tabela 3). No geral, o surgimento de raízes secundárias e pelos radiculares, representam um mecanismo de resposta à deficiência de P, pois aumentam a área da superfície da raiz e permitem que uma área maior do substrato seja explorada em busca de P (BATES; LYNCH, 2001; JUNGK, 2001; ZHANG et al, 2003). Entre os macronutrientes N, P e K, o P é o nutriente mais limitante para o crescimento de algumas culturas e, em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, o que certamente está relacionado à absorção de nutrientes e, conseqüentemente, à eficiência nutricional (FAGERIA, 1998).

No parâmetro comprimento do sistema radicular, o resultado encontrado para os dois genótipos entre as doses testadas não se aproxima com os resultados citados na literatura, uma vez que o genótipo D, não apresenta diferença entre as doses de P e o genótipo M tem maior comprimento das raízes na dose de 50% de P não diferindo das doses de 100 e 5% de P (Tabela 3). Alves et al. (2002) e Machado et al. (2004) relacionaram o maior comprimento de raízes em plantas de milho, sob deficiência de P em solo e solução nutritiva, respectivamente, com a eficiência a este nutriente. Nesse trabalho não foi possível associar o comprimento de raízes com a eficiência nutricional pelas respostas divergentes apresentadas pelos dois genótipos.

No presente trabalho, a variação da concentração de P possibilitou a diferenciação parcial das respostas de crescimento dos genótipos estudados, principalmente quando comparadas as doses de 5 e 10% com a dose de 50%. Para tanto, escolheu-se usar nos próximos experimentos, que avaliarão as eficiências de utilização e de resposta de genótipos, as doses contrastantes de 5 e 50% de P no meio MS, ou seja, a dose de 50% como testemunha e o tratamento com uma redução de 90% de P no meio MS a dose de 5%.

Tabela 3 – Efeito de quatro doses de fósforo (5,10, 50 e 100% da concentração padrão do meio MS) no comprimento de raízes (CR), densidade do sistema radicular (DSR) e relação entre massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) dos genótipos D e M avaliados aos 55 e 21 dias após inoculação respectivamente.

Genótipo	Dose (% de P)	CR (cm pl ⁻¹)	DSR (µg cm pl ⁻¹)	MSR/MSPA
D	5	13,12 a*	45,81 a	0,24 a
D	10	16,84 a	31,96 ab	0,27 a
D	50	20,87 a	18,40 b	0,12 b
D	100	18,77 a	26,48 b	0,16 ab
CV (%)		35,83	25,5	28,62
M	5	10,00 ab	29,99 a	0,22 a
M	10	7,54 b	31,94 a	0,23 a
M	50	14,86 a	34,9 a	0,26 a
M	100	12,25 ab	30,72 a	0,24 a
CV (%)		27,72	21,48	23,01

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.2. Experimento 2

Nesse experimento, no qual foram utilizados três genótipos de batata (F, L e N) submetidos a duas concentrações de P no meio MS (10 e 100% da concentração padrão), verificou-se que aos 20 DAI houve diferenças de resposta entre as doses de 10 e 100% de P quanto ao número de raízes para os genótipos F e L (Tabela 4). O genótipo F ainda apresentou diferença de resposta ao P para a massa fresca da parte aérea e do total da planta (Tabela 5), massa seca de parte aérea e do total da planta (Tabela 6) e na densidade do sistema radicular (Tabelas 7).

O genótipo F apresentou aumento de 51% no número de raízes quando cultivado na alta dose de P (100% de P), enquanto que o genótipo L apresentou redução de 24% no número de raízes quando cultivado em alta dose de P (Tabela 4). Foram avaliados apenas o número de raízes primárias, o que pode ter ocorrido foi o genótipo F ter emitido maior número de raízes secundárias e pelos radiculares para auxiliar na absorção de P no baixo nível deste nutriente. Frequentemente é

observado em plantas deficientes de P aumentos na relação de massa entre raiz/parte aérea, do número de raízes ramificadas, do alongamento das raízes e do número e tamanho de pelos radiculares (LOPEZ-BUCIO et al., 2003; DESNOS, 2008; LYNCH; BROWN, 2008; VANCE, 2008).

Tabela 4 – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100% da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), altura média da planta (ALM), número de brotações (NB) e número de raízes (NR) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação (DAI).

Época de coleta	Genótipo	CPA (cm pl ⁻¹)		ALM (cm pl ⁻¹)		NB (n° pl ⁻¹)		NR (n° pl ⁻¹)	
		10% P	100% P	10% P	100% P	10% P	100% P	10% P	100% P
20	Dose								
	F	4,04 a*	4,59 a	2,82 a	2,91 a	1,02 a	1,08 a	2,05 b	3,11 a
	L	2,95 a	2,67 a	1,56 a	1,46 a	1,00 a	1,04 a	2,55 a	1,94 b
	N	4,69 a	4,11 a	3,08 a	2,71 a	1,06 a	1,08 a	2,49 a	2,09 a
CV (%)		12,3		36,98		7,73		15,66	
30	F	6,16 a	5,94 a	3,52 a	3,63 a	1,28 a	1,34 a	2,05 a	2,34 a
	L	3,86 a	3,53 a	1,87 a	1,96 a	1,11 a	1,16 a	2,57 b	3,53 a
	N	6,35 a	5,51 b	3,07 a	3,13 a	1,50 b	1,89 a	2,28 a	2,16 a
	CV (%)	10,65		28,25		10,54		14,94	
40	F	7,18 b	9,31 a	3,65 a	2,23 b	1,63 b	3,05 a	1,85 a	2,28 a
	L	5,14 a	4,12 b	2,72 a	1,95 a	1,30 a	1,47 a	2,57 a	3,13 a
	N	7,97 a	8,04 a	4,25 a	3,13 b	1,25 b	4,63 a	1,97 a	2,38 a
	CV (%)	6,82		23,81		20,06		24,38	

*médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quando as plantas de batata foram avaliadas aos 30 DAI, o número de variáveis de crescimento onde foi possível observar diferenças de resposta entre as doses de P aumentou. Para o genótipo L, houve diferença entre as doses de P no número de raízes (Tabela 4). Já para o genótipo N, houve resposta no comprimento da parte aérea (Tabela 4), no número de brotações (Tabela 4) e na massa fresca de raízes (Tabela 5). Enquanto que o genótipo F, apresentou diferença entre as doses de P para a massa seca total (Tabela 6) e a densidade do sistema radicular (Tabela 7). Ainda observou-se diferença entre 10 e 100% de P na massa seca da parte

aérea para os genótipos F e N (Tabela 6) e no comprimento de raízes para os genótipos F e L, onde ocorreu um aumento de 50 e de 30% do baixo para o alto nível de P, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 5 – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100% da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e massa fresca total (MFT) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação (DAI).

Época de coleta	Genótipo	MFPA (mg pl ⁻¹)		MFR (mg pl ⁻¹)		MFT (mg pl ⁻¹)	
		10% P	100% P	10% P	100% P	10% P	100% P
20	Dose						
	F	19,78 b*	30,01 a	6,88 a	7,97 a	26,66 b	37,98 a
	L	13,06 a	11,95 a	13,81 a	9,57 a	26,87 a	21,51 a
	N	21,15 a	20,07 a	11,58 a	11,68 a	32,73 a	31,75 a
	CV (%)	17,54		37,17		16,71	
30	F	36,31 a	36,21 a	7,44 a	11,92 a	43,75 a	48,12 a
	L	18,03 a	20,29 a	9,84 a	11,17 a	27,87 a	31,45 a
	N	44,47 a	37,01 a	10,96 b	20,60 a	55,43 a	57,61 a
	CV (%)	20,3		43,55		14,22	
40	F	52,65 b	82,27 a	11,19 b	21,65 a	63,8 b	103,92 a
	L	32,80 a	28,99 a	16,59 a	24,03 a	49,39 a	53,01 a
	N	56,06 b	121,77 a	14,72 b	36,55 a	70,78 b	158,32 a
	CV (%)	24,70		30,58		18,27	

*médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os genótipos de batata apresentaram diferenças de crescimento entre as doses de P, de forma mais evidente aos 40 DAI. Os genótipos F e L apresentaram diferenças de crescimento entre as doses de P para o comprimento da parte aérea (Tabela 4). Para massa seca de raízes, os genótipos F, L e N apresentaram diferenças significativas entre as doses de P, com aumentos respectivos de 58, 78 e 157% quando cultivados na dose de 100% de P (Tabela 6). Os três genótipos ainda apresentaram diferença entre as doses de P para comprimento de raízes (Tabela 7), com maior comprimento no alto nível de P (100%).

Tabela 6 – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100% da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total da planta (MST) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação (DAI).

Época de coleta	Genótipo	MSPA (mg pl ⁻¹)		MSR (mg pl ⁻¹)		MST (mg pl ⁻¹)	
		10% P	100% P	10% P	100% P	10% P	100% P
20	Dose						
	F	1,54 b*	2,08 a	0,53 a	0,53 a	2,07 b	2,62 a
	L	1,12 a	0,96 a	0,70 a	0,63 a	1,83 a	1,59 a
	N	1,55 a	1,38 a	0,86 a	0,79 a	2,41 a	2,17 a
CV (%)		9,34		21,26		12,48	
30	F	3,30 a	2,57 b	1,02 a	0,82 a	4,32 a	3,39 b
	L	1,81 a	1,97 a	0,81 a	0,87 a	2,62 a	2,84 a
	N	3,37 a	2,96 b	1,05 a	1,05 a	4,42 a	4,01 a
	CV (%)	9,57		19,24		9,04	
40	F	4,68 b	6,56 a	0,89 b	1,41 a	5,57 b	7,97 a
	L	3,25 a	3,01 a	0,82 b	1,46 a	4,07 a	4,47 a
	N	4,80 b	9,48 a	0,92 b	2,37 a	5,72 b	11,86 a
	CV (%)	12,07		20,47		13,88	

*médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea, o genótipo L apresentou diferença entre as doses de P, com um aumento aproximado de 50% nessa relação na alta dose de P aos 40 DAI (Tabela 7), quando o esperado era um aumento dessa relação no baixo nível de P (LYNCH; BROWN, 2008; VANCE, 2008) uma vez que em baixo nível de P ocorre uma redução do crescimento da parte aérea das plantas devido a remobilização dos carboidratos para as raízes.

A redução na massa fresca e seca da parte aérea das plantas cultivadas em meio de cultivo com baixo teor de P é o primeiro sintoma da deficiência de P (MOLLIER; PELLERIN, 1999), apresentado pelos genótipos F e N (Tabela 5 e 6). Estes genótipos ainda apresentaram diferenças entre as doses de 10 e 100% de P para a altura média da planta (Tabela 4), número de brotações (Tabela 4), massa fresca de raízes e total da planta (Tabela 5), bem como na massa seca da parte aérea e total da planta quando coletados aos 40 DAI (Tabela 6).

Tabela 7 – Efeito de duas doses de fósforo (10 e 100% da concentração padrão do meio MS) no comprimento de raízes (CR), densidade do sistema radicular (DSR) e relação entre a massa seca de raízes e a massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) dos genótipos F, L e N avaliados aos 20, 30 e 40 dias após inoculação (DAI).

Época de coleta	Genótipo	CR (cm pl ⁻¹)		DSR (µg/cm)		MSR/MSPA	
		10% P	100% P	10% P	100% P	10% P	100% P
20	Dose						
	F	9,47 a*	12,90 a	56,40 a	41,11 b	0,35 a	0,26 a
	L	18,39 a	18,77 a	38,11 a	33,76 a	0,63 a	0,65 a
	N	17,79 a	16,79 a	47,97 a	47,49 a	0,55 a	0,57 a
	CV (%)	15,67		15,62		13,12	
30	F	13,64 b	20,41 a	83,52 a	40,57 b	0,31 a	0,33 a
	L	22,19 b	28,90 a	36,31 a	30,17 a	0,45 a	0,45 a
	N	19,36 a	21,96 a	54,52 a	47,52 a	0,31 a	0,35 a
	CV (%)	14,84		33,99		19,43	
40	F	15,22 b	34,61 a	58,60 a	41,19 b	0,19 a	0,22 a
	L	25,48 b	47,76 a	32,47 a	30,59 a	0,25 b	0,49 a
	N	15,70 b	52,19 a	58,73 a	45,49 b	0,19 a	0,25 a
	CV (%)	23,19		9,59		17,72	

*médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O genótipo F foi o que apresentou maior número de variáveis com diferença entre as doses de P analisadas aos 20 DAI. Aos 30 e 40 DAI, os genótipos F e N apresentaram um número igual de variáveis com diferença entre as doses de P testadas. Além disso, o genótipo L se apresentou mais tolerante à deficiência de P que os demais, por apresentar diferença entre as doses de P mais tardiamente. Para os genótipos testados somente não ocorreu diferença de resposta ao P para o número de raízes aos 40 DAI (Tabela 4). Na micropropagação de plantas há a necessidade de se compatibilizar o tempo de cultivo, o número de subcultivos e a taxa de proliferação do material (GUERRA et al., 1999) para que seja possível obter resultados que realmente representem as características dos genótipos. Desta forma, para que os genótipos expressem os sintomas de deficiência ao P em um número maior de variáveis, a coleta aos 40 DAI representa ser a melhor época de coleta e foi a utilizada no terceiro experimento.

3.3 Experimento 3

As plantas de batata cultivadas sob baixo nível de fósforo (5% da concentração padrão de P no meio MS) apresentaram redução média de 26% no comprimento da parte aérea (Tabela 8). Esse resultado é semelhante ao encontrado por Machado (2000) em plantas de milho submetidas a estresse de P, os quais que apresentaram inibição de crescimento da parte aérea e aumento relativo do crescimento do sistema radicular.

A metade dos genótipos estudados apresentou diferença de resposta ao P, sendo que grande parte destes genótipos obtiveram maior comprimento de parte aérea na alta dose de P (50% da concentração padrão de P no meio MS), sugerindo desse modo, que os outros genótipos (D, N, S, U, X e Y) já estavam desenvolvendo mecanismos de adaptação à baixa disponibilidade de P que estão relacionados à eficiência de aquisição e à eficiência de utilização deste nutriente. Resposta semelhantes também foram sugeridas por Parentoni et al. (2011). Na dose de 5% de P, os genótipos V e Y obtiveram os menores comprimentos de parte aérea, enquanto que os demais genótipos ficaram com comprimentos maiores, com exceção dos genótipos D e X que ficaram com valores intermediários (Tabela 8). Já na dose de 50% de P os genótipos com os maiores comprimentos da parte aérea foram os genótipos C, J, L, M, N e V e os menores comprimentos apresentados pelos genótipos D, S e X (Tabela 8). Isso está de acordo, em grande parte, com os resultados encontrados por Castro (2009), que cultivando batata *in vitro* observou que em baixo nível de P os genótipos C e S tiveram os maiores comprimentos da parte aérea; já na alta dose de P foram os genótipos C, D, F, M e N.

Tabela 8 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), na altura média da planta (ALM) e no número de brotações (NB) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	CPA (cm pl ⁻¹)		ALM (cm pl ⁻¹)		NB (n° pl ⁻¹)		
	Dose	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
C		6,91 Ba*	8,07 Aa	4,29 Ab	4,10 Ab	1,03 Ad	1,11 Ad
D		4,72 Ab	4,79 Ac	3,50 Ab	2,56 Bd	1,12 Ab	1,14 Ac
F		5,72 Ba	7,20 Ab	2,65 Bc	4,23 Ab	1,05 Bd	1,10 Ad
J		6,31 Ba	7,58 Aa	2,93 Bc	4,06 Ab	1,07 Bc	1,12 Ad
L		6,50 Ba	8,68 Aa	3,89 Bb	5,33 Aa	1,08 Bc	1,15 Ac
M		6,26 Ba	7,71 Aa	4,25 Ab	3,76 Ac	1,09 Bc	1,27 Ab
N		6,90 Aa	7,94 Aa	5,38 Aa	4,18 Bb	1,12 Bb	1,49 Aa
S		6,62 Aa	6,22 Ac	4,63 Aa	3,01 Ad	1,03 Bd	1,11 Ad
U		7,60 Aa	7,10 Ab	5,19 Aa	3,37 Ac	1,04 Bd	1,11 Ad
V		3,58 Bc	7,51 Aa	2,57 Bc	5,62 Aa	1,03 Bd	1,13 Ac
X		5,09 Ab	5,44 Ac	3,67 Ab	2,58 Ad	1,18 Aa	1,08 Be
Y		4,10 Bc	6,72 Ab	1,99 Bc	2,95 Ad	1,02 Bd	1,12 Ad
Z		6,16 Aa	6,78 Ab	3,93 Ab	3,36 Ac	1,03 Bd	1,08 Ae
Média		5,88	7,06	3,76	3,78	0,07	0,15
CV (%)		12,00		15,69		1,61	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Para os genótipos F, J, L, V e Y observou-se a maior altura média das plantas na dose de 50% de P, enquanto que para os genótipos D e N a altura média das plantas foi maior na dose de 5% de P (Tabela 8). A não eficiente utilização de P por parte de alguns genótipos (C, D, F, J, L, M, V, W, X, Y e Z) na altura média das plantas no baixo nível desse nutriente, pode estar ligada à incapacidade da planta em liberar o fósforo inorgânico (Pi) do vacúolo quando o estresse se desenvolve após um período de suprimento adequado de fósforo (BIELESKI, 1973), esse período corresponde ao crescimento prévio das plantas matrizes no meio MS com 100% dos sais. No alto nível de P foram os genótipos L e V que obtiveram as maiores alturas médias das plantas (Tabela 8).

Quanto ao número de brotações, apenas os genótipos C e D não apresentaram diferenças entre as doses, os demais genótipos apresentaram maior

número de brotações na dose de 50% de P, com exceção do genótipo X que teve resultado oposto (Tabela 8). No baixo nível de P foi observado o maior número de brotações por planta no genótipo X (1,2), e no alto nível de P pelo genótipo N (1,5). Este resultado encontrado em genótipos de batata é contrário ao encontrado para *Pfaffia glomerata*, por exemplo, que mostrou que modificações nas concentrações de N e P não alteraram o número de brotações por planta (RUSSOWSKI; NICOLOSO, 2003).

As plantas cultivadas em alto nível de P apresentaram um incremento marcante de 45% na massa fresca da parte aérea comparado com àquelas em baixo nível de P (Tabela 9). Apenas os genótipos D, S e Z não apresentaram diferença entre as doses testadas. Entre os genótipos estudados, na dose de 5% de P, os genótipos C, L, N, S, U e Z apresentaram a maior produção de massa fresca da parte aérea, enquanto que na dose de 50% de P foi o genótipo C que mostrou a maior produção e os genótipos D e Z as menores produções de massa fresca de parte aérea, ficando os demais genótipos em condição intermediária.

Houve diferença de resposta às doses de P na produção de massa fresca de raízes para mais da metade dos genótipos em estudo (Tabela 9). No entanto, no baixo nível de P os genótipos não apresentaram diferença significativa entre si, atingindo uma média de 16 mg pl⁻¹ (Tabela 9). Já para o alto nível de P, os genótipos C, U e Y apresentaram maior produção de massa fresca de raízes, diferindo dos demais genótipos, com produção média de 65 mg pl⁻¹ (Tabela 9).

Somente os genótipos D e Z não apresentaram diferença entre as doses de P na massa fresca total da planta (Tabela 9). Por outro lado, foi observado aumento médio significativo de 50% na massa fresca total das plantas cultivadas no alto nível de P para os demais genótipos. Na dose de 5% de P, os genótipos D, F, V e X apresentaram a menor produção de massa fresca total da planta (aproximadamente 33,8 mg pl⁻¹). Já na dose de 50% de P, o genótipo C apresentou a maior produção de massa fresca total da planta (165,6 mg pl⁻¹) e os genótipos D e Z as menores 49,5 e 64,1 mg pl⁻¹, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) na massa fresca de parte aérea (MFPA), na massa fresca de raízes (MFR) e na massa fresca total (MFT) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	MFPA (mg pl ⁻¹)		MFR (mg pl ⁻¹)		MFT (mg pl ⁻¹)		
	Dose	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
C		47,56 Ba*	99,82 Aa	14,54 Ba	65,74 Aa	62,10 Ba	165,57 Aa
D		27,18 Ab	36,22 Ad	10,23 Aa	13,30 Ac	37,41 Ab	49,52 Ae
F		25,75 Bb	63,38 Ac	3,54 Aa	17,05 Ac	29,29 Bb	80,43 Ad
J		35,69 Bb	79,08 Ab	20,53 Aa	23,61 Ac	56,22 Ba	102,70 Ac
L		46,48 Ba	64,98 Ac	17,93 Ba	48,95 Ab	64,41 Ba	113,93 Ac
M		33,87 Bb	75,99 Ab	21,75 Aa	16,57 Ac	55,62 Ba	92,55 Ad
N		47,54 Ba	78,23 Ab	13,72 Ba	39,60 Ab	61,26 Ba	117,83 Ac
S		41,77 Aa	56,77 Ac	16,89 Ba	42,66 Ab	58,67 Ba	99,43 Ac
U		45,90 Ba	71,55 Ab	15,56 Ba	66,38 Aa	61,46 Ba	137,92 Ab
V		27,12 Bb	52,59 Ac	3,46 Aa	19,33 Ac	30,58 Bb	71,91 Ad
X		31,84 Bb	52,42 Ac	6,05 Ba	52,03 Ab	37,89 Bb	104,45 Ac
Y		35,78 Bb	58,74 Ac	39,86 Ba	63,76 Aa	75,63 Ba	122,50 Ac
Z		39,97 Aa	44,80 Ad	24,40 Aa	19,30 Ac	64,37 Aa	64,11 Ae
Média		37,42	64,2	16,03	37,56	53,45	101,76
CV (%)		22,8		46,65		23,76	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Na condição de baixo nível de P, as maiores produções de massa seca da parte aérea foram obtidas pelos genótipos C, L, M, S, U, Y e Z. Já no alto nível de P a maior produção foi atingida pelo genótipo N (Tabela 10). A maior produção de massa seca da parte aérea foi alcançada no alto nível de P, apesar dos genótipos D, L, M, S e Z não apresentarem diferença significativa entre as doses de P. Castro (2009) verificou no alto nível de P que o genótipo C obteve maior massa seca de raízes e de parte aérea, diferindo do encontrado nesse trabalho em função, possivelmente, da época de avaliação das plantas. Esse autor levou em consideração a taxa de crescimento de cada genótipo, sendo que parara o genótipo C foi de 51 dias após a inoculação.

A maior produção de massa seca de raízes entre os genótipos no baixo nível de P foi obtida pelo genótipo S (4,37 mg pl⁻¹) que foi o único genótipo também a

apresentar entre as doses maior produção de massa seca de raízes no baixo nível de P (Tabela 10). Possivelmente o genótipo S esteja emitindo uma maior quantidade de raízes secundárias, pelos radiculares ou aumentando o comprimento das raízes primárias na deficiência de P na tentativa de proporcionar aumento na capacidade de absorção do P, e que conseqüentemente proporcionam uma maior produção de massa seca de raízes no baixo nível de P.

No alto nível de P, o genótipo X foi o que apresentou a maior produção de massa seca de raízes ($3,15 \text{ mg pl}^{-1}$), o que sugere alta resposta ao aumento da disponibilidade de P (Tabela 10). Os genótipos N, U, X e Y apresentaram maior produção de massa seca de raízes no alto nível de P, diferentemente do observado por Balemi e Schenk (2009) no cultivo de genótipos de batata em solução nutritiva que apresentaram maior massa seca de raízes quando cultivados com baixa dose de P comparado com o fornecimento normal de P.

A massa seca total da planta dos genótipos D e Z não variou entre as doses de P testadas. Já para os demais, a maior produção ocorreu na dose de 50% de P, exceto para o genótipo S que teve maior produção na dose de 5% de P (Tabela 10). Devido à maior contribuição da parte aérea na massa seca total da planta, no baixo nível de P, a maior produção foi atingida pelo genótipo S ($8,1 \text{ mg pl}^{-1}$) e no alto nível de P pelo genótipo N ($9,2 \text{ mg pl}^{-1}$). Os genótipos D e Z foram os únicos que não apresentaram variação de massa fresca e seca de parte aérea, de raízes e do total da planta entre os níveis de P, o que sugere que esses materiais não respondem à aplicação de P.

Pelo diagrama de classificação dos genótipos quanto à resposta a aplicação de P na produção de massa seca total da planta, o genótipo S foi classificado como eficiente e responsivo ao P (Figura 1), teve uma alta produção na baixa dose desse nutriente e ainda aumentou a produção de biomassa com maior disponibilidade do nutriente, o que é altamente desejável. Já o genótipo D, respondeu de maneira totalmente contrária, não sendo nem eficiente nem responsivo ao P (Figura 1). Os demais genótipos foram classificados como não eficientes mas responsivos ao P (Figura 1), produziram abaixo da média em condições de deficiência de P, mas responderam positivamente ao aumento no fornecimento do nutriente.

Tabela 10 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), na massa seca de raízes (MSR) e na massa seca total da planta (MST) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	MSPA (mg pl ⁻¹)		MSR (mg pl ⁻¹)		MST (mg pl ⁻¹)		
	Dose	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
C		3,36 Ba*	5,77 Ab	0,98 Ab	1,59 Ac	4,35 Bc	7,36 Ab
D		1,91 Ab	2,11 Ad	1,05 Ab	0,64 Ac	2,96 Ae	2,75 Ae
F		2,21 Bb	3,80 Ac	0,35 Ac	0,78 Ac	2,55 Be	4,57 Ad
J		2,44 Bb	4,30 Ac	1,53 Ab	1,09 Ac	3,97 Bd	5,39 Ad
L		3,92 Aa	4,81 Ac	0,95 Ab	1,54 Ac	4,86 Bc	6,35 Ac
M		3,75 Aa	4,58 Ac	0,50 Ac	0,93 Ac	4,25 Bc	5,50 Ad
N		2,48 Bb	7,11 Aa	1,21 Bb	2,14 Ab	3,69 Bd	9,25 Aa
S		3,75 Aa	4,49 Ac	4,37 Aa	2,27 Bb	8,12 Aa	6,76 Bc
U		3,63 Ba	5,76 Ab	0,23 Bc	2,11 Ab	3,86 Bd	7,86 Ab
V		2,35 Bb	3,82 Ac	1,26 Ab	1,21 Ac	3,61 Bd	5,03 Ad
X		2,06 Bb	3,97 Ac	0,54 Bc	3,15 Aa	2,60 Be	7,12 Ab
Y		3,25 Ba	4,32 Ac	1,37 Bb	2,27 Ab	4,63 Bc	6,58 Ac
Z		4,45 Aa	4,20 Ac	1,57 Ab	1,06 Ac	6,02 Ab	5,25 Ad
Média		3,04	4,54	1,4	1,6	4,44	6,14
CV (%)		17,36		33,8		10,36	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

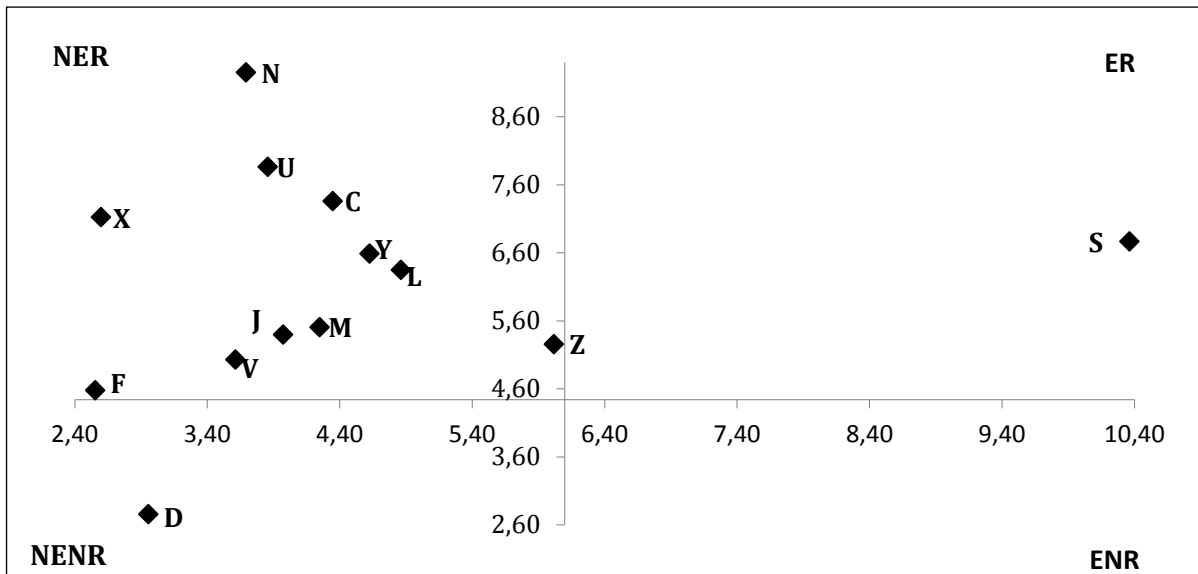


Figura 1 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A513-1(Y) e SMG (Z) quanto à resposta da aplicação de P na produção de massa seca total da planta aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

As plantas sob deficiência de P têm o desenvolvimento do sistema radicular alterado, incluindo modificações morfológicas, topológicas e padrão de distribuição (POIRIER; BUCHER, 2002; LIN et al., 2009). Essas alterações podem proporcionar aumentos na relação entre a massa seca de raízes e de parte aérea, no número de ramificações, no alongamento e na produção de pelos radiculares (LYNCH; BROWN, 2008; VANCE, 2008). No baixo nível de P os genótipos C, J, L, S, U, Y e Z foram os que produziram maior número de raízes (Tabela 11), já no alto nível de P foi o genótipo U que apresentou o maior número de raízes. Os genótipos D, L, N, S, U, V e X apresentaram maior número de raízes na dose de 50% de P. Em contra partida, os genótipos C, F, J, M, Y e Z parecem não responder à variação no suprimento de P.

Essas respostas diferentes, dos genótipos de batata cultivados sob restrição de P, das encontradas na literatura para a maioria das plantas pode ser devido ao meio de cultivo *in vitro*. As plantas crescidas nessa condição são heterotróficas, uma vez que é adicionado ao meio sacarose, como fonte de carboidrato, para suprir as necessidades metabólicas das plantas (NAGAO, 1993). Esse fato pode influenciar

na partição dos carboidratos, que em condição de deficiência de P seria redistribuídos para as raízes. Isso já foi comprovado por Flores et al. (1999) que trabalhando com macieira observou que variações na concentração de sacarose no meio de cultura afetam as condições osmóticas e o metabolismo da planta *in vitro*, influenciando no crescimento e na diferenciação das culturas.

O sistema radicular da planta de batata é considerado pequeno e superficial (FREIRE, 2003). Os genótipos estudados responderam distintamente ao baixo suprimento de P, sendo que alguns deles, ao invés de aumentar o número de raízes em contato com o substrato, desenvolveram raízes aéreas que cresceram em direção ao meio de cultura, podendo assim contribuir na absorção do P. Observou-se diferença entre as doses de P para os genótipos C e D, os quais apresentaram maior número de raízes aéreas no baixo nível de P, e para os genótipos N e Z que apresentaram maior número de raízes aéreas no alto nível de P (Tabela 11). Na dose de 5% de P os genótipos D, L, N e U apresentaram maior número de raízes aéreas que os demais genótipos. Na dose de 50% de P foi o genótipo N que apresentou o maior número de raízes aéreas (média de 1,35 raízes por planta) e o menor número de raízes aéreas foi encontrado para os genótipos C, F, S e Y (com média de 0,07 raízes por planta) (Tabela 11).

Na relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea (MSR/MSPA), houve diferença entre as doses de P para os genótipos N e S, com os maiores valores na dose 5% de P (Tabela 11). No baixo nível de P foram esses mesmos genótipos, N e S, que apresentaram maior relação MSR/MSPA, os quais diferiram dos demais. Na alta dose de P não foi possível observar diferença entre os genótipos na relação MSR/MSPA. A restrição de alguns nutrientes ocasiona uma maior redução no crescimento da parte aérea do que das raízes (MARSCHNER, 1995), o que comprova que as raízes tornam-se drenos preferenciais dos assimilados na deficiência de P (VANCE et al., 2003), como apresentados pelos genótipos C, D, J, N, S, V, Z.

Tabela 11 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) no número de raízes (NR), no número de raízes aéreas (NRA) e na relação entre massa seca de raízes e massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	NR (n° pl ⁻¹)		NRA (n° pl ⁻¹)		MSR/MSPA	
	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
C	2,96 Aa*	3,03 Ac	0,20 Ab	0,06 Bd	0,32 Ab	0,28 Aa
D	2,21 Bb	2,99 Ac	0,37 Aa	0,15 Bc	0,55 Ab	0,31 Aa
F	1,77 Ab	2,16 Ae	0,14 Ac	0,05 Ad	0,16 Ab	0,20 Aa
J	2,95 Aa	3,37 Ac	0,22 Ab	0,15 Ac	0,61 Ab	0,25 Aa
L	3,03 Ba	3,57 Ac	0,27 Aa	0,24 Ac	0,24 Ab	0,33 Aa
M	2,48 Ab	2,81 Ac	0,12 Ac	0,16 Ac	0,14 Ab	0,21 Aa
N	2,20 Bb	3,25 Ac	0,38 Ba	1,35 Aa	1,69 Aa	0,29 Ba
S	3,03 Ba	3,72 Ac	0,13 Ac	0,09 Ad	1,72 Aa	0,51 Ba
U	2,96 Ba	5,23 Aa	0,37 Aa	0,47 Ab	0,07 Ab	0,41 Aa
V	2,22 Bb	3,58 Ac	0,13 Ac	0,18 Ac	0,57 Ab	0,31 Aa
X	2,12 Bb	4,20 Ab	0,19 Ab	0,18 Ac	0,32 Ab	0,82 Aa
Y	3,27 Aa	3,51 Ac	0,05 Ac	0,09 Ad	0,43 Ab	0,53 Aa
Z	3,34 Aa	3,29 Ac	0,05 Bc	0,17 Ac	0,36 Ab	0,26 Aa
Média	2,66	3,44	0,2	0,26	0,55	0,36
CV (%)		11,68		30,86		120,48

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

4. Conclusões

A dose de 5% de P do meio MS afetou negativamente vários parâmetros de crescimento. A combinação das doses de 50 e 5% de P e/ou 50 e 10% de P pode ser utilizada para experimentos visando a classificação de genótipos de batata quanto à eficiência nutricional ao P.

A melhor época de coleta das plantas de batata cultivadas *in vitro* para estudos de eficiência nutricional ao P foi aos 40 dias após a inoculação.

Os genótipos D e Z não responderam à aplicação de P quanto à produção de massa fresca e seca da parte aérea, de raízes e do total da planta. Enquanto, os genótipos N, U, X e Y parecem ser responsivos ao P e apresentaram menor

produção de massa fresca e seca da parte aérea, de raízes e do total da planta quando cultivados em 5% de P do meio MS.

Os genótipos N e S apresentaram maiores quocientes entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea quando cultivados em 5% de P. O genótipo S é o genótipo mais eficiente na utilização do P em baixa dose deste elemento, seguido dos genótipos U, C, L, N e Z.

5. Referências

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**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 85-92, 2002.

ASSIS, M. Novas tecnologias na propagação de batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.197, p. 30-33, 1999.

BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic difference of potato in carbon budgeting as a mechanism of phosphorus utilization efficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v. 322, p. 91-99, 2009.

BATES, T. R.; LYNCH, J. P. Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability. **Plant and Soil**, The Hague, v. 236, p. 243-250, 2001.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto v. 24, p. 225-252, 1973.

BOTTI, C.; GARAY, L.; REGINATO, G. The influence of culture dates, genotype and size and type of shoot apices on in vitro shoot proliferation of *Vitis vinifera* cvs. Thompson Seedless, Ribier and Black Seedless. **Vitis**, Las Condes, v. 32, n. 2, p. 125-126, 1993.

BOXUS, P. H.; DRUART, P. H. Virus-free trees through tissue culture. In: BAJAJ, Y.P.S., ed. **Biotechnology in Agriculture and Forestry**, Berlin, v. 1, p. 24-30, 1986.

CASTRO, G. Y. **Eficiência de absorção e utilização de fósforo em batata cultivada in vitro**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

DESNOS, T. Root branching responses to phosphate and nitrate. **Plant Biology**, London v. 11, p. 82-87, 2008.

EMBRAPA. **A cultura da batata**. Brasília: Embrapa SNH, 1999, 184 p.

ESPINDULA, L. F.; MINELLA, E.; DELATORRE, C. A. Low- P tolerance mechanisms and differential gene expression in contrasting wheat genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1100-1105, 2009.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 2, p. 49-64, 1998.

FLORES, R. et al. Efeito da sacarose e do Benomyl na multiplicação *in vitro* da macieira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 34, n. 12, p. 2363-2368, 1999.

FORTES, G. R. L.; PEREIRA, J. E. S. Batata-semente pré-básica: Cultura de Tecidos. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Embrapa Clima Temperado. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, p. 421-433.

FREIRE, C. J. da S. Práticas culturasis In: PEREIRA, A. S.; DANIEL J. (Coord). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. 1. ed. Brasília: Embrapa Clima Temperado. Brasília, 2003, p. 105-124.

GAUME, A. et al. Low P tolerance by maize genotypes: significance of root growth, and organic acids and acid phosphatase root exudation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 228, p. 253-264, 2001.

GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production. **Trends in Plant Science**, London, v. 9, p. 597-605, 2004.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Org.) **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: EMBRAPA-CNPH, p. 183-260,1998.

GUERRA, M. P. et al. Estabelecimento de um protocolo regenerativo para a micropropagação do abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1557-1563, 1999.

JUNGK, A. Root hairs and the acquisition of plant nutrients from soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.164, p. 121-129, 2001.

KANE, M. E. Micropropagation of potato by node culture and microtuber production. In: Trigiano RN, Dennis JG (Eds) **Plant Tissue Culture Concepts and Laboratory Exercises** (2nd Edn), Boca Raton, p. 103-110, 2000.

LI, K. et al. Efficient production and characterization for maize inbred lines with low-phosphorus tolerance. **Plant Science**, Wuhan, v. 172, p. 255-264, 2007.

LIN, W.; LIN, S.; CHIOU, T. Molecular regulators of phosphate homeostasis in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 5, p. 1427-1438, 2009.

LOPES, C. A.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Manejo integrado das doenças da batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 56-60, 1999.

LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMIREZ, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 280-287, 2003.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Root strategies for phosphorus acquisition. In: The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions, v. 7. New York: **Springer**, p. 83-116, 2008.

MACHADO, C. T. T. **Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos, fisiológicos e microbiológicos associados à eficiência de absorção e uso de fósforo**. 366 f. (Tese de doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000.

MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; FURLANI, A. C. Variação intrapopulacional em milho para características relacionadas com a eficiência de absorção e utilização de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 77-91, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London, 888 p.1995.

MOLLIER A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 333, p. 487-497, 1999.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, p. 473-497, 1962.

NAGAO, E. O. **Efeitos da sacarose, nitrogênio inorgânico e ácido indolbutírico na propagação *in vitro* do porta-enxerto *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.** UFLA, Lavras, 56 p. 1993.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência de fósforo. In: **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos.** Viçosa, 2011.

PASQUAL, M.; LOPES, P. A. Influência de diversos fatores sobre o enraizamento do porta-enxerto de pereira (*Pyrus calleryana*) *in vitro*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 331-334, 1991.

PEREIRA, J. E. S. et al. Avaliação de dois sistemas hidropônicos na produção de material pré-básico de batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, suplemento CD-Rom, 3 p. 2001.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. In: Somerville CR, Meyerowitz EM, eds. **The Arabidopsis book.** Rockville, MD: The American Society of Plant Biologists, p. 1-35, 2002.

REGO, L. V.; FARIA, R. T. In vitro propagation of Brazilian orchids using traditional culture media and commercial fertilizers formulations. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 1-5, 2005.

RUSSOWSKI, D.; NICOLOSO, F. T. Nitrogênio e fósforo no crescimento de plantas de ginseng brasileiro [*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen] cultivadas *in vitro*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 57-63, 2003.

SCHILDE-RENTSCHLER, L.; SCHMIEDICHE, P.E. Tissue culture: past, present and future. **Circular CIP**, Lima, v. 12, n. 1, p. 1-6, 1984.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Editora Sinauer Associates, Inc. 782 p. 5.ed. 2010.

TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **The Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TORRES A. C, CALDAS L. S.; BUZZO J. A. (Eds). **Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas**. v. 1. e 2. Brasília, Embrapa, 864 p. 1998.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Oxford, v. 157, n. 3, p. 423-457, 2003.

VANCE, C. P. Plants without mycorrhizae. In PJ White, JP Hammond, eds, *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. v. 7. New York: **Springer** p. 117-142, 2008.

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

VON UEXKÜLL, H. R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 171, n. 1, p. 1-15, 1995.

WANG, P.; HU, C. *In vitro* mass tuberization and virus free seed potato production in Taiwan. **American Potato Journal**, Orono, v. 59, p. 33-37, 1982.

ZHANG, Y. J.; LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Ethylene and phosphorus availability have interacting yet distinct effects on root hair development. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 2351-2361, 2003.

MANUSCRITO 2

VALIDAÇÃO DA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA PARA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E RESPOSTA AO FÓSFORO: EFEITO DO SISTEMA DE CULTIVO

RESUMO

Na produção de batata a adubação é uma prática essencial na determinação da qualidade e quantidade dos tubérculos produzidos. A utilização de cultivares eficientes na utilização do fósforo é uma alternativa para reduzir o custo de produção, bem como a contaminação ambiental. O objetivo deste estudo foi selecionar genótipos de batata para eficiência de utilização e resposta ao fósforo, bem como comparar as respostas de dois sistemas de cultivo. Para tanto foram realizados experimentos *in vitro* com quatorze genótipos de batata e duas doses de P, 5 e 50% da concentração padrão do meio MS, 1,935 mg de P L⁻¹ e 19,346 mg de P L⁻¹, respectivamente. E outro experimento em hidroponia com sete genótipos de batata e duas doses de P, 5 e 50% da concentração padrão da solução nutritiva desenvolvida para o cultivo sem solo de batata (ANDRIOLO, 2006), chamados neste trabalho de baixo (2,32 mg P L⁻¹) e alto (23,2 mg P L⁻¹) níveis de P. Em ambos foram avaliados parâmetros de crescimento, bioquímicos, de conteúdo de P e índices de eficiência propostos por Siddiqi e Glass (1981). A atividade das fosfatases ácidas não foi um bom parâmetro para medir a eficiência nutricional ao P nos dois sistemas de cultivo. A eficiência de utilização do P mostrou-se um bom parâmetro para explicar a produção de matéria seca em hidroponia. Na comparação entre os sistemas de cultivo, quanto à eficiência de utilização de P nas raízes, apenas o genótipo SMIF 212-3 recebeu a mesma classificação em ambos os sistemas de cultivo. E o genótipo SMIJ 319-1 permaneceu nos dois sistemas de cultivo classificado como eficiente na utilização e resposta ao P. O sistema de cultivo *in vitro* não é adequado para a seleção de genótipos de batata quanto à eficiência de utilização e resposta ao P.

Palavras-chave: Cultivo hidropônico. Cultivo *in vitro*. Eficiência nutricional. Fósforo. *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

For potato production the fertilization is an essential practice in determining the quality and quantity of tubers produced. The use of cultivars efficient utilization of phosphorus (P) is one alternative to reduce the production cost and environmental contamination. The objective of this study was to select potato genotypes for utilization efficiency and response to phosphorus, as well as comparing the responses of two cultured systems. The experiment carried out in *in vitro* condition consisted of fourteen potato genotypes and two P doses, 5 and 50% concentration of MS medium, $1.935 \text{ mg P L}^{-1}$ and $19.346 \text{ mg P L}^{-1}$, respectively. And another experiment in hydroponic condition with seven potato genotypes and two phosphorus levels, 5 and 50% of the strength of the nutrient solution developed for soilless cultivation of potatoes (ANDRIOLO, 2006), called in this work as low (2.32 mg P L^{-1}) and high (23.2 mg P L^{-1}) levels of P, was carried out. In both experiments growth and biochemical parameters, content of P and P efficiency indexes proposed by Siddiqi and Glass (1981) were evaluated. The activity of tissue acid fosfatases did not appear to be a good parameter to measure the nutritional efficiency to P in both cultured systems. The utilization efficiency of P proved to be a good parameter to explain the dry matter yield in hydroponics. Comparing the culture systems regarding to the utilization efficiency of P in roots, only the genotype SMIF 212-3 received the same rating in both systems, whereas the genotype SMIJ 319-1 rated as efficient in use and response to P in both growth systems. The *in vitro* culture system is not suitable for the selection of potato genotypes regarding the utilization and response efficiency to P.

Keywords: *In vitro* culture. Hydroponics. Phosphorus. Nutritional efficiency. *Solanum tuberosum* L.

1. Introdução

A batata é uma excelente fonte de nutrientes para a alimentação humana, incluindo carboidratos, proteínas, vitamina C, vitamina B e vários minerais (CAMIRE et al., 2009; WHITE et al., 2009; LEFÉVRE et al., 2012). Entre as olerícolas, a batata é a cultura de maior importância no Brasil e no mundo, devido ao seu ciclo curto e produtividade elevada.

Um dos fatores limitantes da cultura é a suscetibilidade a doenças (PEREIRA; FORTES, 2004). A cultura de meristemas associada à micropropagação proporcionam plantas livres de vírus (FORTES; PEREIRA, 2003), mas com elevado custo. Uma alternativa que vem sendo usada para propagação rápida de material pré-básico são as técnicas hidropônicas (MEDEIROS et al., 2001; PEREIRA et al., 2001b; MEDEIROS et al., 2002; PEREIRA, 2003)

Há muitas vantagens associadas ao uso de hidroponia visando à produção de sementes pré-básicas de batata sobre métodos mais convencionais, que incluem: (I) taxas elevadas de multiplicação de tubérculos (MEDEIROS, 2001; FATOR et al., 2007; CORRÊA et al., 2008); (II) ausência de risco da contaminação dos tubérculos por patógenos de solo (CORRÊA et al., 2008), (III) menor incidência de doenças fisiológicas, (IV) não há necessidade de correção nutricional do solo e (V) sistemas de gestão de água e nutrientes facilitada (RANALLI, 1997).

A planta de batata é exigente em nutrientes, sendo a adubação uma prática essencial na determinação da qualidade e quantidade dos tubérculos produzidos (FILGUEIRA, 2003). Dentre os macronutrientes, o fósforo (P) está envolvido em vários processos bioquímicos e fisiológicos, sendo componente essencial em ácidos nucléicos, membranas e moléculas fonte de energia. A aquisição do P pelas plantas é alcançada principalmente pelo transporte de fosfato inorgânico (Pi) através de transportadores de Pi presentes nas raízes (MARSCHNER, 2012). Por causa da complexação com outros cátions e da conversão em compostos orgânicos no solo, a disponibilidade de Pi é frequentemente limitada às plantas, apesar da grande quantidade de P total presente no solo (RAGHOTHAMA, 1999; POIRIER; BUCHER, 2002; TIESSEN, 2008).

A aplicação de fertilizantes fosfatados, portanto, torna-se uma prática agrícola intensiva para garantir a produtividade da cultura da batata. Essas aplicações de

fertilizantes químicos constantes não apenas aumentam os custos de produção, mas também causam impactos ambientais e de sustentabilidade dos recursos naturais contendo P (BENNETT et al., 2001). Em função da grande limitação da disponibilidade das rochas fosfatadas no mundo, o melhor aproveitamento dessas reservas é fundamental para manter a produtividade agrícola atual ou até mesmo aumentá-la (CORDELL et al., 2009). O uso eficiente de P no cultivo da batata depende do melhor manejo do P presente no solo e da utilização de cultivares com maior capacidade de aquisição, utilização e resposta a esse elemento (CHIOU; LIN, 2011).

A absorção de P pelas plantas não depende apenas da quantidade de P disponível no solo, mas também do potencial genético das plantas (NILSSON et al., 2007; NILSSON et al., 2010). Modificações no crescimento da raiz e na arquitetura radicular são respostas das plantas sob deficiência de P (JIANG, 2007; DESNOS, 2008; LYNCH, BROWN, 2008; VANCE, 2008), assim como um aumento na proporção de massa entre raízes/parte aérea (RAGHOTHAMA, 1999), possibilitando ao sistema radicular uma maior área de superfície capaz de explorar um dado volume de solo de forma mais eficaz (LYNCH, 1995). Essas alterações adaptativas de crescimento das raízes e da arquitetura em deficiência de P estão relacionadas com a alteração na distribuição de carboidratos na planta e estas mudanças podem ser causadas por fitormônios (NEUMANN, ROMHELD, 2002; NARCY et al., 2005) ou outras substâncias sinalizadoras (KARTHIKEYAN et al., 2007; VANCE, 2010). Outra resposta das plantas à deficiência de P é a indução da expressão de genes para as fosfatases intra e extracelulares.

As fosfatases ácidas (APases) normalmente não têm especificidade pelo substrato e parecem ser importantes na produção, transporte e reciclagem do Pi, podendo ter diferentes funções metabólicas. Nas plantas, as APases são encontradas dentro da parede celular, e/ou podem ser secretadas pelas raízes na rizosfera, bem como também ser encontradas no meio intracelular, principalmente no vacúolo (DUFF et al., 1994; ZIMMERMANN et al., 2004). As APases asseguram a liberação de Pi de ésteres fosfato, assim como solubilizam o fósforo mineral do solo. Desse modo, as APases desempenham um papel importante no fornecimento e no metabolismo do Pi para a manutenção do metabolismo celular (TEJERA et al., 2004; TABALDI et al., 2007; MISHRA; DUBEY, 2008).

Plantas eficientes na utilização do P são aquelas que possuem elevada produtividade sobre baixo nível do nutriente, enquanto plantas responsivas ao P incrementam a produção à uma maior aplicação deste nutriente (FAGERIA; BELIGAR, 1993). A utilização de cultivares eficientes na utilização e/ou na resposta é uma alternativa para reduzir o custo de produção, a contaminação ambiental e para maximizar a produtividade das culturas sob condições de estresse (SILVA et al., 2008). A eficiência nutricional pode ser definida como a habilidade da planta em produzir certa porcentagem de produção máxima com certa dose do nutriente no solo (FÖHSE et al., 1998). Basicamente, a eficiência ao P em uma planta pode surgir devido às variações na eficiência de aquisição (eficiência de absorção e enraizamento) ou na eficiência de utilização (eficiência de translocação e conversão em biomassa) em condições de baixa disponibilidade deste nutriente (MOURA et al., 2001; HAMMOND et al., 2009) que podem variar muito em função do genótipo. A batata apresenta baixa eficiência de aquisição de P e geralmente não tem tolerância à baixa disponibilidade de P no solo, comparada a outras espécies (PURSEGLOVE; SANDERS, 1981; ALVAREZ-SANCHEZ et al., 1999; DECHASSA et al., 2003). Assim, o objetivo deste estudo foi selecionar genótipos de batata para eficiência de utilização e resposta ao fósforo, bem como comparar as respostas de dois sistemas de cultivo.

2. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Biotecnologia Vegetal e na casa de vegetação do Departamento de Biologia, bem como no Laboratório de Análises Químicas, Industriais e Ambientais do Departamento de Química, Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria, de maio a outubro de 2012.

2.1. Material vegetal e condições de crescimento - experimento *in vitro*

O material vegetal utilizado para esse experimento *in vitro*, foi constituído por 14 genótipos de batata oriundos do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria: SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1 (S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z).

A multiplicação desses 14 genótipos foi realizada através de explantes caulinares obtidos de plantas cultivadas *in vitro* em meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) padrão. Os segmentos nodais com 1,0 cm de comprimento foram inoculados em meio MS, suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, 0,1 g L⁻¹ de mio-inositol e 6 g L⁻¹ de ágar. Os tratamentos de fósforo consistiram de 5 e 50% da concentração padrão de P do meio MS, chamados neste trabalho de baixo (1,935 mg P L⁻¹) e alto (19,346 mg P L⁻¹) níveis de P, respectivamente. A fonte utilizada de P foi o KH₂PO₄. Para manter o teor de potássio, usou-se o KCl. Assim, os teores dos demais nutrientes foram mantidos iguais para ambos os tratamentos. A unidade experimental foi constituída de dez tubos de ensaio, cada um contendo 10,0 mL de meio de cultivo e três segmentos nodais com uma gema e folha, sendo utilizadas quatro repetições, em um delineamento inteiramente casualizado.

Os tubos de ensaio contendo os explantes foram mantidos em sala de crescimento com temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 16 h com intensidade luminosa de 35 μmol m⁻² s⁻¹ fornecida por lâmpadas fluorescentes brancas frias. As plantas foram coletadas aos 40 dias após inoculação (DAI).

2.1.1. Avaliações - experimento *in vitro*

No final do tempo de cultivo foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento da parte aérea (a maior haste foi medida com régua de precisão de 0,1 cm), número de brotações, número de raízes, massa fresca e seca de parte aérea, de raízes e do total da planta. A massa seca foi determinada após secagem do

material por 15 dias em estufa a 65 °C, utilizando balança com 0,0001 g de precisão. Além disso, foi avaliada a relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea, o comprimento do sistema radicular, estimado de acordo com Tennant (1975) e a densidade do sistema radicular. Foi coletado material vegetal para análise da concentração de fósforo solúvel e da atividade das enzimas fosfatases ácidas, bem como da concentração de P total dos tecidos.

2.1.2. Análise estatística - experimento *in vitro*

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se o software Sisvar 5.0 (Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG). As análises complementares foram realizadas através de comparação de médias pelos testes de Scott-Knott e teste F, a 5% de probabilidade.

2.2. Material vegetal e condições de crescimento - experimento hidroponia

Esse experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, (29° 42' 56"S, 53° 43' 13"O e altitude de 95m) no período de 16 de agosto a 17 de outubro de 2012.

Para o experimento em hidroponia, foram utilizados apenas os genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), provenientes de plantas de batata micropropagadas no Laboratório de Biotecnologia Vegetal e aclimatizadas por 14 dias em sistema de cultivo sem solo, mantidas sob sombrite (60% de extinção luminosa) durante 5 dias.

As plantas foram transplantadas para um sistema de cultivo em areia (BISOGNIN, 2007; BANDINELLI, 2009) composto de uma bandeja preta de polietileno (55 x 34 x 15 cm), na qual foi colocada uma camada de 7 cm de brita média para drenagem da solução de irrigação. Esta camada de brita foi coberta por

uma tela fina de polietileno para separar o substrato, o qual foi formado por uma camada de 8 cm de areia de granulometria média. 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 doze plantas num espaçamento 10 X 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, respectivamente. Para manter o teor de potássio da solução padrão, utilizou-se o KCl. A condutividade elétrica (CE) foi mantida em 2 dS m^{-1} (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. Inicialmente as plantas tiveram um consumo de solução nutritiva baixo, devido ao seu tamanho bastante reduzido. Já a partir dos 18 dias após o plantio (DAP) o consumo ficou em média 0,6 L/ciclo de cultivo por planta durante o cultivo na baixa dose de P e de 1,1 L/ciclo por planta na alta dose de P.

2.2.1. Avaliações - experimento hidroponia

Aos 18 e 39 DAP foram feitas análises de crescimento e análises bioquímicas. Aos 62 DAP alguns genótipos apresentaram sinais visíveis do início da senescência quando cultivados na dose de 5% de P, realizando-se então, a última avaliação do crescimento e da concentração de Pi.

Para a determinação da atividade das enzimas fosfatases ácidas (APases), em ambos os experimentos, as raízes e folhas foram congeladas em N_2 líquido, maceradas e homogeneizadas em 100 mM Tris-HCl (pH 7,4), 1 mM ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA) e 0,1% albumina na proporção de 1 : 3 e depois centrifugadas a 20.000 g durante 30 min. O sobrenadante resultante da centrifugação foi utilizado para o ensaio enzimático. A atividade da fosfatase ácida foi determinada de acordo com Tabaldi et al. (2007) num meio de reação que

consistia em 3,5 mM de azida de sódio, 2,5 mM de cloreto de cálcio, 100 mM de tampão citrato, pH 5,5 para um volume final de 200 μ L. Uma alíquota de 20 μ L da preparação de enzima foi adicionada à mistura de reação, com exceção ao controle, e pré-incubada durante 10 min a 35 °C. A reação foi iniciada pela adição de substrato (3 mM de PPI) e finalizada pela adição de 200 μ l de TCA a 10%. O valor médio de proteína utilizado nos cálculos para determinação da atividade da APase foi aproximadamente 0,30 mg g⁻¹ de massa fresca (MF). Houve variação na concentração de proteína nos tecidos entre as doses de P testadas apenas em tecidos de parte aérea (PA) de plantas cultivadas em hidroponia coletadas aos 18 DAP, onde os tecidos submetidos à dose de 5% de P apresentaram 0,38, já na dose de 50% de P observou-se 0,31 mg g⁻¹ de massa fresca (MF) . A concentração de proteínas totais foi quantificada pelo método de Bradford (1976).

O fosfato inorgânico (Pi), produto da reação da enzima, foi quantificado a 630 nm em espectrofotômetro, modelo SF325NM (Bel Engineering, Itália) utilizando verde de malaquita como reagente colorimétrico e KH₂PO₄ como padrão para a curva de calibração.

Para o teor de fósforo solúvel (Pi) em ambos os experimentos foi utilizado o mesmo material da análise enzimática. Uma alíquota da amostra diluída (800 μ L) foi incubada a 45 °C durante 45 min em meio contendo 2,5 N de ácido sulfúrico, 4,8 mM de molibdato de amônio e 35 mM de ácido ascórbico, em um volume total de 1 mL. A curva padrão foi construída utilizando K₂HPO₄. Após resfriamento à temperatura ambiente, as amostras foram lidas em comprimento de onda de 650 nm em espectrofotômetro, modelo SF325NM (Bel Engineering, Itália).

2.2.2. Análise estatística - experimento hidroponia

O experimento em hidroponia foi um fatorial (7 x 2 x 3, sendo sete genótipos, 2 doses de P e três épocas de coleta) com delineamento em blocos ao acaso, utilizando-se seis repetições. A unidade experimental consistiu-se de três plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias entre genótipos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 1%, e as médias entre doses e entre épocas de coletas foram comparadas pelo teste t a 1% de probabilidade de erro,

com o auxílio do programa estatístico Sisvar 5.0 (UFLA). Para as análises de eficiência nutricional o experimento foi considerado um bifatorial por ser analisado apenas em uma época de coleta.

2.3. Determinação do conteúdo de P

As amostras dos dois sistemas de cultivo foram submetidas a um procedimento de digestão ácida em sistema aberto com bloco digestor (Velp Scientifica, Modelo DK, Itália). As amostras foram previamente pesadas e transferidas para os frascos de decomposição (tubo de vidro). A cada tubo de vidro contendo as amostras foram adicionados 5 mL de HNO_3 14 mol L^{-1} . Os tubos foram tampados com tampas de polipropileno e mantidos a 140 °C durante 2 h. Após a etapa de digestão, as amostras foram transferidas para frascos de polipropileno e avolumadas a 25 mL. A determinação de P foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) num espectrômetro da Perkin Elmer (Optima 4300 DV, EUA) equipado com nebulizador Gencone[®], câmara de nebulização do tipo ciclônica e tocha de quartzo com injetor de alumina de 2,0 mm de diâmetro interno.

2.4. Determinação dos índices de eficiência e classificação dos genótipos

Baseados na proposta de Siddiqi e Glass (1981) foram determinados os seguintes índices de eficiência: I) eficiência de absorção de P (EAP) = (μg de P acumulado na planta) (mg de matéria seca de raízes)⁻¹; II) eficiência de utilização de P nas raízes (EUPR) = (mg de matéria seca das raízes)² (μg de P acumulado nas raízes)⁻¹; III) eficiência de utilização de P na parte aérea (EUPPA) = (mg de matéria seca da parte aérea)² (μg de P acumulado na parte aérea)⁻¹ e IV) eficiência de utilização de P na planta (EUPP) = (mg de matéria seca total)² (μg de P acumulado na planta)⁻¹.

Para a classificação dos genótipos quanto à eficiência de utilização e resposta ao P para a produção de matéria seca de parte aérea, raiz e da planta inteira foram confeccionados diagramas. Nestes, utilizou-se o índice EUPPA, EUPR e EUPP verificado sob baixo nível de P e a resposta à aplicação de P foi determinada de acordo com Fox (1978). Este valor foi obtido pela diferença entre a produção de matéria seca nos dois níveis, dividida pela diferença nas doses do P aplicado.

Para fazer um comparativo de resposta entre os dois sistemas de cultivo, em função dos experimentos serem realizados em condições experimentais diferentes, realizou-se um ranqueamento para cada um dos experimentos, dentro de cada variável e, posteriormente criou-se um gráfico que representasse todas as variáveis num único diagrama de resposta para cada experimento.

3. Resultados e discussão

3.1. Experimento *in vitro*

3.1.1. Análise de crescimento - experimento *in vitro*

No cultivo *in vitro* não houve diferença entre as doses de P testadas para o número de brotações por planta, com exceção do genótipo C que aumentou no baixo nível de P (Tabela 1). Russowski e Nicoloso (2003) verificaram em *Pfaffia glomerata* e *Pfaffia tuberosa* que o número de brotações é o parâmetro de crescimento menos afetado pela variação do P no meio MS. Entretanto, no presente trabalho houve diferença no comprimento da parte aérea (CPA), onde a dose de 5% de P causou redução nesta variável para a maioria dos genótipos testados (Tabela 1).

Tabela 1 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) no comprimento da parte aérea (CPA), no número de brotações (NB) e na relação entre a massa seca de raízes e a massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação em cultivo *in vitro*.

Genótipo	CPA (cm pl ⁻¹)		NB (n° pl ⁻¹)		MSR/MSPA	
	5%P	50%P	5%P	50%P	5%P	50%P
C	7,94 aA*	8,86 aA	1,35 bA	1,12 cB	0,40 cA	0,34 cA
D	5,16 cB	6,00 bA	1,14 cA	1,15 cA	0,60 bB	0,77 aA
F	6,22 bB	8,38 aA	1,20 cA	1,17 cA	0,21 dA	0,29 cA
J	6,44 bA	6,50 bA	1,44 bA	1,36 bA	0,40 cA	0,55 bA
L	5,68 cA	5,95 bA	1,21 cA	1,24 bA	0,37 cA	0,39 cA
M	6,95 aB	8,92 aA	1,20 cA	1,11 cA	0,20 dA	0,30 cA
N	6,06 bB	9,57 aA	1,12 cA	1,12 cA	0,17 dA	0,30 cA
S	8,08 aA	8,13 aA	1,32 bA	1,19 cA	0,32 cA	0,31 cA
U	6,40 bA	6,29 bA	1,97 aA	1,56 aA	0,13 dA	0,28 cA
V	3,58 dB	5,22 cA	1,06 dA	1,06 dA	0,41 cB	0,88 aA
W	4,51 dB	6,27 bA	1,33 bA	1,28 bA	0,43 cA	0,13 cB
X	3,95 dB	4,67 cA	1,15 cA	1,14 cA	0,25 dB	0,57 bA
Y	4,01 dB	6,25 bA	1,14 cA	1,08 dA	0,71 bA	0,56 bB
Z	5,53 cA	5,71 bA	1,06 dA	1,02 dA	0,84 aA	0,45 cB
Média	5,75	6,91	1,26	1,19	0,39	0,44
CV (%)	5,82		34,65		25,64	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

A redução de crescimento por efeito da deficiência de P normalmente é maior na parte aérea do que nas raízes, permitindo desta forma que o crescimento radicular seja mantido visando explorar uma maior superfície de solo em busca de P (MACHADO, 2000). Em sistema de cultivo *in vitro*, esse efeito pela falta de P não foi evidente para todos os genótipos na relação entre a massa seca de raiz e da parte aérea (MSR/MSPA). Dos quatorze genótipos em estudo, oito não apresentaram diferença na relação MSR/MSPA entre as doses de P. No entanto, os genótipos D, V e X apresentaram uma maior relação na alta dose de P, enquanto apenas os genótipos W, Y e Z apresentam o resultado esperado de uma maior relação

MSR/MSPA na baixa dose de P (Tabela 1). Esta partição diferenciada da massa seca entre os órgãos sugere que nesses genótipos (W, Y e Z) estava ocorrendo a deficiência de P. Nos demais genótipos, os dados sugerem uma melhor capacidade em acumular e mobilizar o P.

Tabela 2 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) na massa seca de parte aérea (MSPA), na massa seca de raízes (MSR) e na massa seca total (MST) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação em cultivo *in vitro*.

Genótipo	MSPA (mg pl ⁻¹)		MSR (mg pl ⁻¹)		MST (mg pl ⁻¹)		
	Dose	5%P	50%P	5%P	50%P	5%P	50%P
C		3,73 aB*	7,29 aA	1,54 bB	2,36 aA	5,27 aB	9,65 aA
D		1,79 bB	2,99 cA	1,02 bB	2,30 aA	2,81 bB	5,29 cA
F		3,03 aB	6,13 bA	0,63 cB	1,73 bA	3,65 bB	7,86 bA
J		2,87 aA	3,35 cA	1,15 bB	1,85 bA	4,02 bB	5,20 cA
L		2,52 bB	3,75 cA	0,91 bB	1,47 cA	3,44 bB	5,22 cA
M		2,53 bB	5,57 bA	0,49 dB	1,62 bA	3,03 bB	7,19 bA
N		3,23 aB	5,13 bA	0,54 dB	1,50 cA	3,77 bB	6,63 bA
S		3,28 aB	5,31 bA	1,05 bB	1,49 cA	4,33 bB	6,80 bA
U		3,32 aA	4,18 cA	0,44 dB	1,14 dA	3,75 bA	5,32 cA
V		1,89 bA	2,32 cA	0,77 cB	1,79 bA	2,66 bA	4,11 cA
W		4,05 aB	6,79 aA	1,74 aA	0,89 eB	5,79 aB	7,68 bA
X		2,76 bA	3,58 cA	0,67 cB	2,06 aA	3,43 bB	5,64 cA
Y		2,10 bB	3,28 cA	1,50 aB	1,81 bA	3,60 bA	5,09 cA
Z		2,18 bA	3,32 cA	1,83 aA	1,44 dB	4,01 bA	4,76 cA
Média		2,81	4,5	1,02	1,67	3,83	6,17
CV (%)		21,78		93,1		22,19	

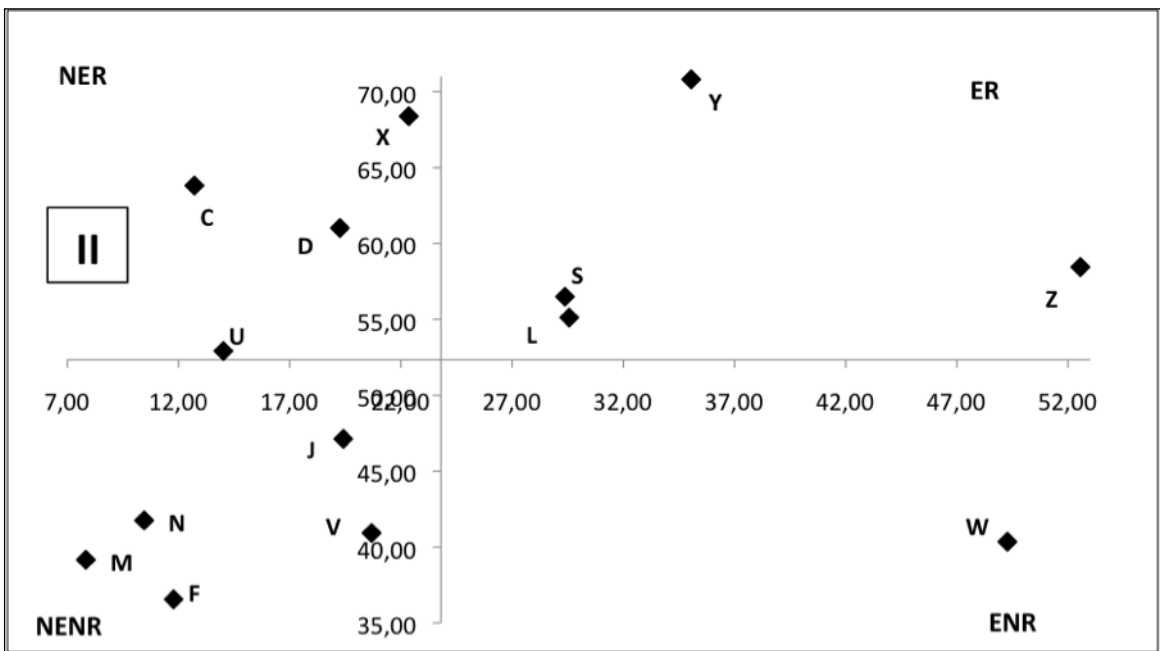
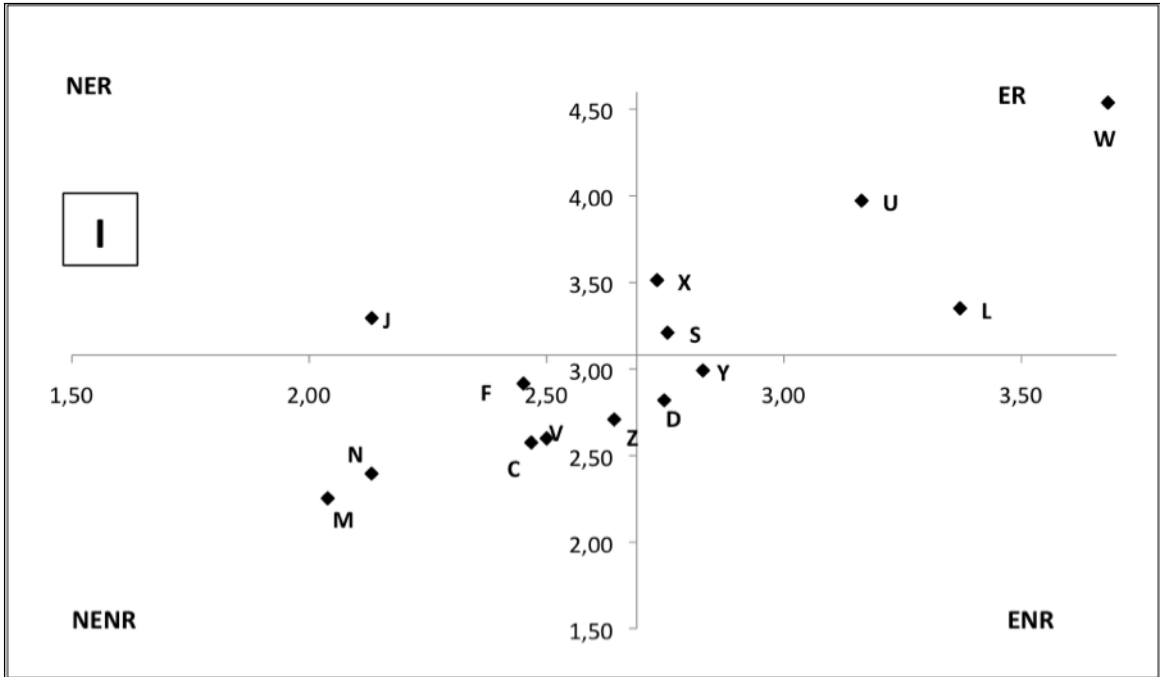
*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

O aumento na superfície do sistema radicular aumenta a habilidade da planta em acessar e absorver o P do solo (LYNCH, 1995). No presente trabalho apenas os genótipos W e Z apresentaram aumento na massa seca de raízes quando cultivados em meio deficiente em P (Tabela 2). Plantas sob deficiência de P podem apresentar menor crescimento das raízes primárias (CHEN et al., 2000; LINKOHR et al., 2002), o que provoca um aumento do comprimento das raízes laterais, dos pelos

radiculares e na densidade (LÓPEZ-BUCIO et al., 2003; DESNOS, 2008). Ou seja, a deficiência de P pode modificar toda a arquitetura do sistema radicular, incluindo morfologia, topologia e padrão de distribuição das raízes (LYNCH; BROWN, 2008; VANCE, 2008).

O sistema radicular da batateira é bastante superficial (FREIRE, 2003). No sistema de cultivo *in vitro*, a capacidade de alguns genótipos como F, M e N em produzir maior número de raízes ou aumentar o comprimento das mesmas foi restrita, e esses genótipos podem ser considerados como não eficientes na aquisição do P e, também, não responsivos a uma maior disponibilidade de P (Figura 1). Entretanto, é preciso destacar, nesse estudo, a presença de genótipos que parecem ser eficientes e responsivos ao P quanto à produção de raízes primárias, que é o caso dos genótipos L, S, U, W e X. Estes genótipos que apresentaram maior eficiência de enraizamento são de interesse para trabalhos de melhoramento, assim como aqueles genótipos que possuem boa capacidade de absorção do P na fase de plântula. Este último parâmetro já vem sendo usado na seleção de genótipos eficientes na aquisição de P nos programas de melhoramento de sorgo, trigo e milho (GORZ et al., 1987; AHSAN et al., 1996; FURLANI et al. 1998).

Os genótipos L, S, W, Y e Z tiveram o comprimento de suas raízes aumentado quando cultivados *in vitro* sob baixa dose de P. Essa modificação facilita a exploração do substrato de cultivo, sendo considerada uma das estratégias adaptativas das plantas à falta do nutriente (TERUEL et al., 2001). Quanto à densidade de raízes, os genótipos foram agrupados em dois grupos principais, os eficientes e responsivos ao P, composto pelos genótipos F, J, M e N e aqueles que não são nem eficientes nem responsivos ao P, composto pelos genótipos L, S, U, W, X, Y e Z (Figura 1).



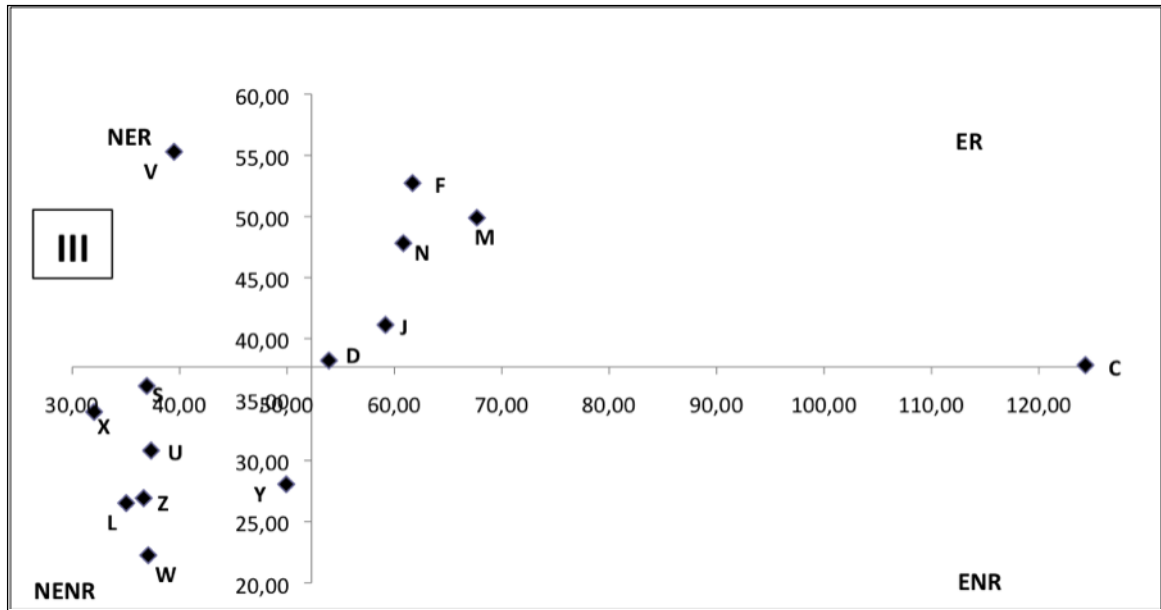


Figura 1 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto à resposta da aplicação de P no número de raízes (I), no comprimento de raízes (II) e na densidade do sistema radicular (III) aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

3.1.2. Análise bioquímica – experimento *in vitro*

Aparentemente existe uma coordenação na mobilização do P entre os diferentes tecidos e órgãos visando sincronizar o crescimento e desenvolvimento das plantas quando ocorre mudanças na oferta de Pi (LIN, et al., 2009). A maioria dos genótipos de batata estudados apresentou maior concentração de Pi na alta dose de P, tanto nas raízes quanto na parte aérea, com exceção dos genótipos C e X que apresentaram maior concentração de Pi nas raízes quando cultivados na baixa dose de P (Tabela 3).

As APases estão envolvidas na produção, transporte e reciclagem de Pi (BOZZO et al., 2002). A atividade das APases da parte aérea foi aumentada para os genótipos C, F, J, L, M, S e Y na baixa disponibilidade de P (Tabela 3). Outros autores já observaram que a medida que ocorre uma maior restrição de P a

atividade das APases aumenta (ASCENCIO,1994). No entanto, neste trabalho os genótipos U e Z apresentaram maior atividade das APases da parte aérea na alta dose de P (Tabela 3) e, de forma similar, esses genótipos também apresentaram maior atividade das APases de raízes na alta dose de P. Também os genótipos D, F, L, M e N mostraram maior atividade de APases de raízes na alta dose de P. Resultados similares foram relatados por Ascencio (1994) e Fernandes et al. (2000), os quais observaram em feijão (*Phaseolus vulgaris*) menor atividade das APases no nível mais baixo de P.

Tabela 3 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) no fósforo inorgânico presente na parte aéreas (PA) e nas raízes (Pi Raiz) e na atividade das fosfatases ácida em parte aérea (APase PA) e nas raízes (APase Raiz) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	Pi PA ($\mu\text{mol Pi g tecido}^{-1}$)		Pi Raiz ($\mu\text{mol Pi g tecido}^{-1}$)		APase PA (U.mg ⁻¹ proteína)		APase Raiz (U.mg ⁻¹ proteína)	
	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
C	0,506 eB	1,502 fA	1,182 aA	0,502 hB	663,01 bA*	489,74 aB	853,75 aA	55,46 dB
D	0,230 fB	2,146 cA	1,304 aB	2,620 cA	587,28 cA	477,15 bA	217,45 fB	400,06 bA
F	0,645 dB	1,775 eA	0,425 cB	1,562 fA	681,31 bA	530,11 aB	208,49 fB	574,13 aA
J	0,404 eB	2,156 cA	0,859 bB	4,702aA	836,43 aA	377,30 bB	589,14 bA	379,05bB
L	0,758 dB	2,851 bA	0,553 cB	2,924 bA	736,03 bA	373,60 bB	474,40 cB	624,40 aA
M	0,423 eB	1,841 eA	0,268 dB	0,951 gA	897,04 aA	636,52 aB	120,91 gB	252,37 cA
N	0,973 cB	1,804 eA	0,139 dB	0,909 gA	548,58 cA	601,13 aA	127,88 gB	272,59 cA
S	0,480 eB	1,970 dA	0,431 cB	2,342 dA	786,92 aA	587,36 aB	802,10 aA	285,10 cB
U	1,565 bB	2,776 bA	0,566 cB	2,324 dA	448,03 dB	648,95 aA	191,37 fB	381,22 bA
V	0,483 dB	2,000 dA	0,500 cB	2,038 eA	460,25 cA	400,00 bA	250,00 eA	221,53 cA
W	0,778 dB	1,924 dA	0,345 dA	0,395 hA	337,42 dA	404,65 bA	387,94 dA	114,44 dB
X	1,758 aB	3,752 aA	1,347 aA	0,198 iB	511,75 cA	396,12 bA	544,12 bA	395,77 bB
Y	0,282 gA	0,439 gA	0,205 dB	0,471 hA	662,06 bA	443,47 bB	584,35 bA	121,47 dB
Z	0,159 fB	1,637 fA	0,411 cB	1,712 f A	439,11 bB	635,37 aA	277,40 eB	364,30 bA
Média	1,36		1,15		557,02		359,68	
CV (%)	9,55		11,39		15,44		11,11	

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em 1% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 5% de probabilidade.

A atividade das APases em raízes foi maior na baixa dose de P para os genótipos C, J, S, W, X e Y e permaneceu inalterada entre as doses de P apenas para o genótipo V. Nas duas doses de P testadas, a atividade das APases foi maior em PA que em raízes para a maioria dos genótipos. Essa maior atividade em PA também foi encontrada por Tabaldi et al. (2011) ao estudar o efeito do alumínio no cultivo de batata *in vitro*.

3.1.3. Análise da eficiência nutricional - experimento *in vitro*

O conteúdo acumulado de P foi maior na PA do que em raízes tanto no alto quanto no baixo nível de P (Tabela 4). Quando a concentração de P no meio foi maior, a proporção de P acumulado na PA também foi maior, fato já observado por Gill et al. (1992) e Machado et al. (2001) em plantas de milho, o mesmo ocorreu nas raízes das plantas de batata nesse estudo, quando a concentração de P no meio aumentou, o acúmulo de P nas raízes foi maior. Os genótipos C e Z são os que apresentam maiores acúmulos de P nas raízes quando cultivados sob baixo nível de P. Os genótipos C, F, M, N e S foram aqueles que mais acumularam P na massa seca total quando cultivados no alto nível de P. Diferentemente do encontrado por Castro (2009) que, ao trabalhar com alguns destes genótipos de batata submetidos a duas doses de P *in vitro*, observou que o genótipo D apresentou maior conteúdo acumulado de P na alta dose de P.

Assim como observado por Castro (2009), o conteúdo acumulado de P nos órgãos das plantas, nesse trabalho, apresentou pouca ou nenhuma variação entre os genótipos, especialmente no baixo nível de P. A menor acumulação de P no meio com 5% de P foi uma resposta ao menor fornecimento deste nutriente, o que mostra que apenas esta característica não pode ser usada para diferenciar os genótipos quanto à eficiência ao P.

Do ponto de vista fisiológico, a eficiência nutricional refere-se à habilidade do genótipo em absorver o nutriente do meio, distribuí-lo e utilizá-lo internamente (LAUCHLI, 1987). A adaptação das plantas à baixa disponibilidade de P pode ser alcançada mediante utilização mais eficiente do nutriente presente no tecido vegetal

para a produção de biomassa (eficiência de utilização) ou por meio de maior capacidade de aquisição de P do meio (WANG et al., 2010).

Tabela 4 – Efeito de duas doses de P (5 e 50% da concentração padrão do meio MS) no conteúdo acumulado de P na matéria seca de raízes, da parte aérea e do total da planta no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	PA ($\mu\text{g planta}^{-1}$)		Raiz ($\mu\text{g planta}^{-1}$)		Total ($\mu\text{g planta}^{-1}$)		
	Dose	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P
C		7,5 aB*	31,3 aA	4,1 aB	7,5 aA	23,5 aB	71,5 aA
D		3,5 aB	13,1 cA	2,5 bB	8,6 aA	12,2 aB	42,9 bA
F		6,5 aB	28,2 aA	0,6 bB	6,1 aA	11,5 aB	63,7 aA
J		5,7 aB	17,6 bA	2,3 bB	6,7 aA	16,1 aB	46,1 bA
L		7,1 aB	19,0 bA	1,2 bB	5,4 aA	14,2 aB	45,8 bA
M		8,7 aB	27,7 aA	1,0 bB	6,2 aA	16,6 aB	63,3 aA
N		7,6 aB	28,9 aA	0,9 bB	5,6 aA	15,3 aB	62,3 aA
S		7,2 aB	22,4 bA	1,7 bB	6,4 aA	16,7 aB	58,1 aA
U		7,2 aB	20,8 bA	1,1 bB	4,6 aA	17,5 aB	47,9 bA
V		6,1 aB	13,8 cA	1,3 bB	5,7 aA	13,0 aB	37,4 bA
W		7,6 aB	27,7 aA	2,0 bA	2,3 bA	17,6 aB	51,1 bA
X		6,7 aB	20,5 bA	1,1 bB	7,2 aA	13,7 aB	52,0 bA
Y		5,5 aB	19,5 bA	1,8 bB	6,4 aA	13,8 aB	48,2 bA
Z		11,0 aA	8,1 cA	5,6 aA	1,3 bB	32,6 aB	15,8 cA
Média			14,15		3,82		33,59
CV (%)			27,65		41,29		26,98

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

A eficiência de absorção (quantidade de nutriente absorvida por massa seca de raiz) variou entre as doses de P para metade dos genótipos, sendo maior no alto

nível de P (Tabela 5). Moura et al. (2001) e Castro (2009) também encontraram grandes aumentos na EAP com o maior fornecimento de P em estudo com linhagens de pimentão cultivadas em solo e em genótipos de batata cultivados *in vitro*, respectivamente.

Tabela 5 – Eficiências de absorção de P (EAP), utilização de P nas raízes (EUPR), na parte aérea (EUPPA) e na planta (EUPP) no cultivo *in vitro* dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) avaliados aos 40 dias após inoculação.

Genótipo	EAP ($\mu\text{g mg}^{-1}$)		EUPPA ($\text{mg}^2 \mu\text{g}^{-1}$)		EUPR ($\text{mg}^2 \mu\text{g}^{-1}$)		EUPP ($\text{mg}^2 \mu\text{g}^{-1}$)	
	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P
C	20,82 bA*	29,97 bA	1,87 aA	1,71 aA	0,61 bA	0,78 bA	1,21 bA	1,33 aA
D	11,82 bA	19,27 bA	0,93 cA	0,69 cA	0,42 bA	0,62 bA	0,65 dA	0,66 cA
F	18,90 bB	36,87 a A	1,41 bA	1,33 bA	1,25 bA	0,50 bB	1,24 bA	0,97 bA
J	14,39 bB	25,39 bA	1,47 bA	0,64 cB	0,57 bA	0,52 bA	1,01 cA	0,59 cB
L	15,54 bB	31,30 bA	0,90 cA	0,74 cA	0,74 bA	0,40 bA	0,85 cA	0,59 cA
M	34,58 aA	38,73 aA	0,74 cA	1,12 bA	0,24 bA	0,42 bA	0,55 dA	0,82 cA
N	30,57 aB	41,66 aA	1,37 cA	0,91 cB	0,32 bA	0,40 bA	0,93 cA	0,70 cA
S	15,89 bB	39,04 aA	1,50 bA	1,27 bA	0,64 bA	0,35 bA	1,13 bA	0,80 cB
U	42,01 aA	43,03 aA	1,54 bA	0,84 cB	0,17 bA	0,29 bA	0,80 cA	0,59 cA
V	16,77 bA	22,23 bA	0,59 dA	0,39 cA	0,48 bA	0,57 bA	0,55 dA	0,45 cA
W	10,17 bB	59,09 aA	2,17 aA	1,66 aB	1,52 aA	0,35 bB	1,93 aA	1,16 bB
X	21,43 bA	25,26 bA	1,14 cA	0,63 cB	0,42 bA	0,60 bA	0,86 cA	0,61 cA
Y	9,30 bB	26,77 bA	0,80 cA	0,56 cA	1,25 aA	0,51 bB	0,94 cA	0,54 cB
Z	18,73 bA	24,27 bA	0,43 dB	1,36 bA	0,60 bB	1,66 aA	0,49 dB	1,44 aA
Média	26,56		1,09		0,61		0,87	
CV (%)	29,44		25,14		53,05		25,42	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Os mecanismos desenvolvidos pelas plantas para aumentar a eficiência de absorção variam com a espécie, estando relacionadas com o número e comprimento

dos pelos radiculares, estabelecimento de associações simbióticas, expressão de transportadores de alta afinidade e alterações na região da rizosfera (FÖHSE et al., 1988; MARSCHENER, 1998; BATES; LYNCH, 2000).

Na dose de 5% de P os genótipos M, N e U foram os mais eficientes na absorção de P, o que está relacionado à baixa produção de matéria seca de raízes nesses genótipos (Tabela 5). Enquanto na dose de 50% de P foram os genótipos F, M, N, S, U e W os mais eficientes na absorção de P. No entanto, também estudando eficiência nutricional ao P, Castro (2009) verificou o genótipo V e os genótipos D e V como os mais eficientes na absorção de P na dose de 10 e 100% de P, respectivamente.

A eficiência de utilização é a habilidade de um genótipo em fornecer altas produções num ambiente deficiente no nutriente em estudo (GRAHAM, 1984). Para a caracterização da eficiência de utilização de P foram empregados três índices: eficiência de utilização de P nas raízes (EUPR); eficiência de utilização de P na parte aérea (EUPPA) e eficiência de utilização de P pela planta (EUPP). Estes índices representam a habilidade de produção de biomassa para cada unidade de P absorvido.

A EUPPA para os genótipos J, N, U, W e X foi maior no baixo nível de P que no alto nível (Tabela 5), enquanto para a EUPR apenas três dos quatorze genótipos em estudo (F, W e Y) obtiveram maior eficiência no baixo nível de P que no alto nível (Tabela 5). Quanto à EUPP foram os genótipos J, S, W e Y que apresentaram maior eficiência no baixo nível de P (Tabela 5), confirmando que há redução da eficiência de utilização com o aumento da disponibilidade de nutrientes (ELLIOT; WHITE, 1994; SANGINGA et al., 2000). O genótipo Z apresentou menor EUPPA, EUPR e EUPP no baixo nível de P. Os demais genótipos não apresentaram diferenças entre as doses testadas.

Quando há disponibilidade elevada de P_i , ocorre o seu armazenamento no vacúolo (HART; JESSOP, 1983), fato que contribui para elevar o teor do nutriente na planta. O P_i vacuolar não participa diretamente das reações metabólicas e/ou formação de estruturas (P orgânico). Já para plantas cultivadas em baixa disponibilidade de P, o P presente no vacúolo contribui em menor proporção para o P total (FURTINI NETO et al., 1998; MARTINEZ et al., 2005). Em condições de deficiência de P, a EUP é aumentada como resultado de alterações na atividade de enzimas na rota da glicólise (Tabela 5), que passam a operar em vias alternativas no

catabolismo de carboidratos durante a deficiência, contribuindo para uso mais eficiente do P por meio de reciclagem, redução de consumo e utilização de outras frações do nutriente (THEODORU; PLAXTON, 1993; SHENOY; KALAGUDI, 2005; ZAMBROSI, 2012).

Entre os genótipos estudados, a maior EUPPA em ambas as doses de P foi atingida pelos genótipos C e W (Tabela 5), enquanto a EUPR no baixo nível de P foi superior para os genótipos W e Y e no alto nível pelo genótipo Z (Tabela 5). Na dose de 5% de P, dentre os genótipos estudados a EUPP foi maior para o genótipo W e na dose de 50% de P para os genótipos C e Z (Tabela 5).

Mesmo com a variação dos níveis de P, os genótipos C, D, L, M e V não apresentaram diferenças significativas nos índices de eficiência de utilização (Tabela 5). Com destaque para o genótipo C que apresentou valores intermediário no baixo nível de P e alta eficiência de utilização no alto nível de P. Castro (2009) fez a mesma observação para o genótipo C e relata que alta eficiência de utilização sob alto nível de P resulta em elevada responsividade à aplicação deste nutriente.

A classificação dos genótipos quanto à eficiência de utilização e resposta ao P *in vitro* segundo a proposta de Fox (1978) possibilitou a confecção de três diagramas (Figuras 2, 3 e 4). Cada diagrama confeccionado gerou quatro grupos de genótipos: eficientes e responsivos (ER), não eficientes e responsivos (NER); não eficientes e não responsivos (NENR); eficientes e não responsivos (ENR).

Quanto à eficiência de utilização do P na PA e resposta à aplicação de P os genótipos são classificados como **ER:** C, F, N, S e W; **NER:** M; **NENR:** D, L, V, X, Y e Z e **ENR:** J e U (Figura 2). Castro (2009), trabalhando com alguns destes quatorze genótipos, os classificaram como **ER:** C, J; **NER:** N; **NENR:** L, M, S e V e **ENR:** D e F, desse modo, apenas os genótipos C, L e V possuem a mesma classificação em ambos os experimentos. Essa discrepância se deve ao fato das avaliações do crescimento nesses experimentos terem sido feitas em épocas de coletas distintas.

A eficiência de utilização do P nas raízes e resposta à aplicação de P possibilita a classificação dos genótipos em três grupos **ER:** C e F; **NER:** D, J, M, N, U, V e X; **ENR:** L, S, W, Y e Z (Figura 3). Enquanto a classificação gerada pela eficiência de utilização na planta inteira e resposta à aplicação de P, mostra os genótipos como **ER:** C, F, N e S; **NER:** D e M; **NENR:** L, V, X, Y e Z; **ENR:** J, U e W (Figura 4).

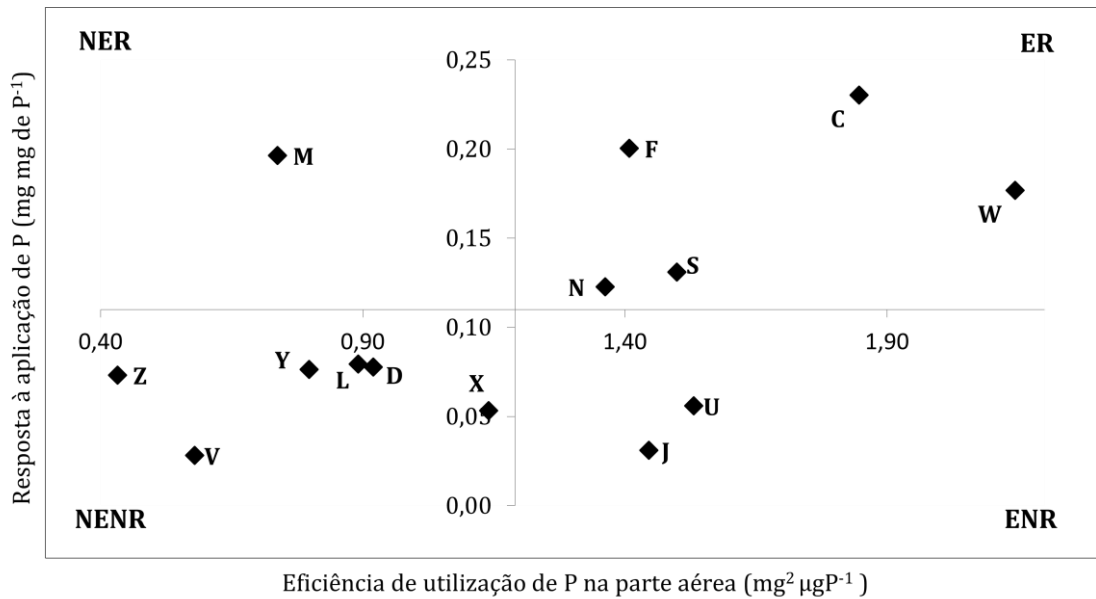


Figura 2 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P na parte aérea e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

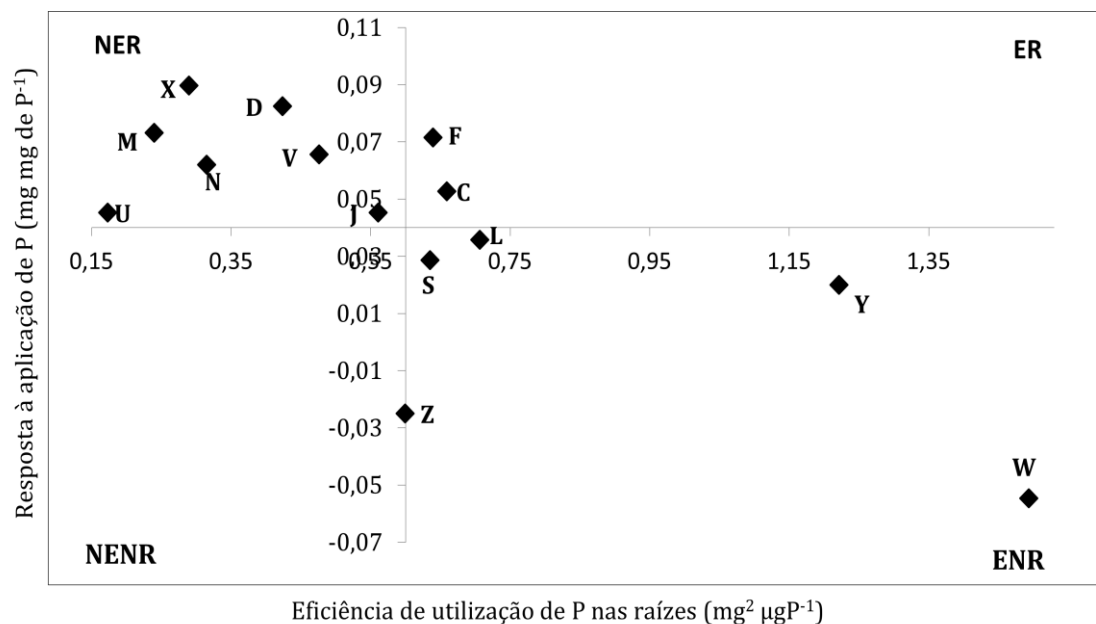


Figura 3 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto a eficiência de utilização de P nas raízes e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

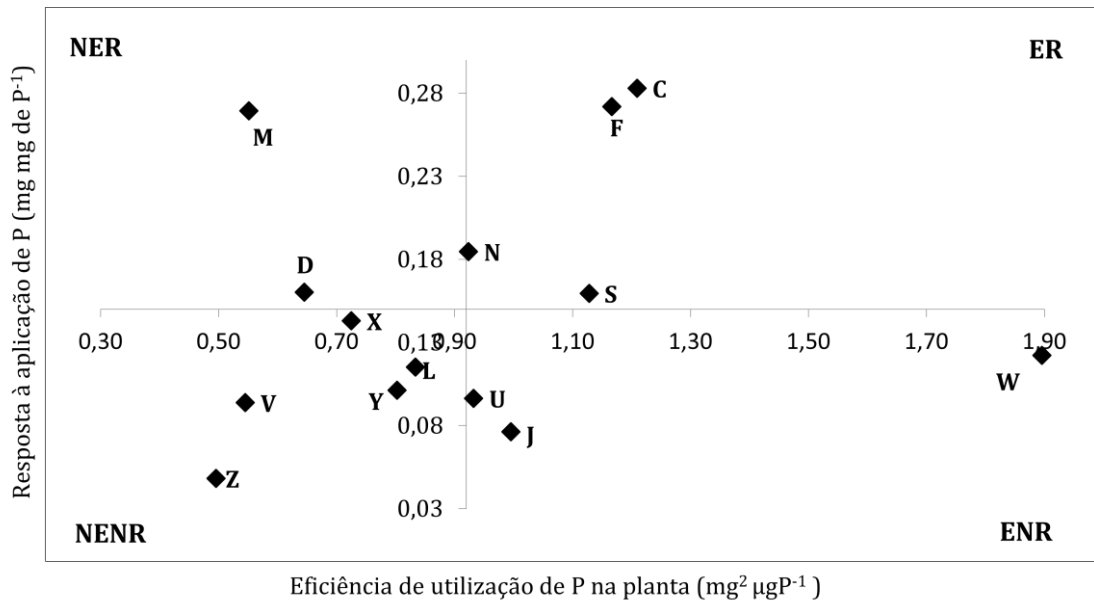


Figura 4 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto à eficiência de utilização de P na planta inteira e resposta à aplicação de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

Os três índices de utilização (parte aérea, raiz e planta inteira) determinados neste trabalho mostraram a mesma tendência entre os genótipos (Figura 2, 3 e 4), com os quais é possível afirmar que os genótipos C e F são eficientes na utilização e responsivos ao P (ER), porque produziram acima da média tanto em condições de baixo P como em condições de alta disponibilidade deste nutriente. Esses genótipos podem ser indicados para os programas de melhoramento. A obtenção de plantas de batata mais eficientes na utilização do P é uma maneira econômica de se reduzir os custos de produção dessa cultura.

O genótipo M não é eficiente na utilização mas é responsivo ao P (NER), ou seja, produz abaixo da média em condições de deficiência de P, mas responde positivamente ao aumento no fornecimento do nutriente, com produção acima da média no ambiente sem deficiência (Figuras 2, 3 e 4). O genótipo Z não é nem eficiente na utilização nem responsivo ao P (NENR), apresentando produtividade abaixo da média nos dois ambientes (Figuras 2, 3 e 4).

Para outros genótipos, essa classificação não ficou tão evidente, mas possibilita dizer que os genótipos D, V e X não são eficientes na utilização do P, não

possuem a capacidade de produzir mais com uma dose menor de fertilizante que a comumente utilizada. Os genótipos L e Y não são responsivos a uma maior aplicação de P, não são capazes de alcançar aumentos significativos em produtividade com uma maior adubação. E os genótipos S e W são eficientes na utilização de P.

A caracterização da eficiência nutricional dos genótipos em relação à eficiência de absorção e utilização ao P permite separá-los em quatro grupos (Figura 5) **grupo I**: formado por genótipos com alta eficiência na absorção e utilização de P, como o caso do genótipo N; **grupo II**: formado por genótipos com alta eficiência na absorção de P, porém com baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção biomassa, fazem parte desse grupo os genótipos C, F, J, S, W e Y; **grupo III**: formado por genótipos com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do P, estão nesse grupo os genótipos D, L, V e Z e **grupo IV**: formado por genótipos com baixa eficiência na absorção de P, mas com grande eficiência de utilização desse nutriente, esse grupo é composto pelos genótipos M, U e X.

Assim, considerando que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos genótipos não seja alterado durante o ciclo de cultivo da batata, o genótipo N seria o genótipo mais apropriado para atender às demandas de P, necessitando de menores investimentos na adubação fosfatada, uma vez que esse genótipo, entre os estudados, é o mais eficiente na absorção e utilização do P.

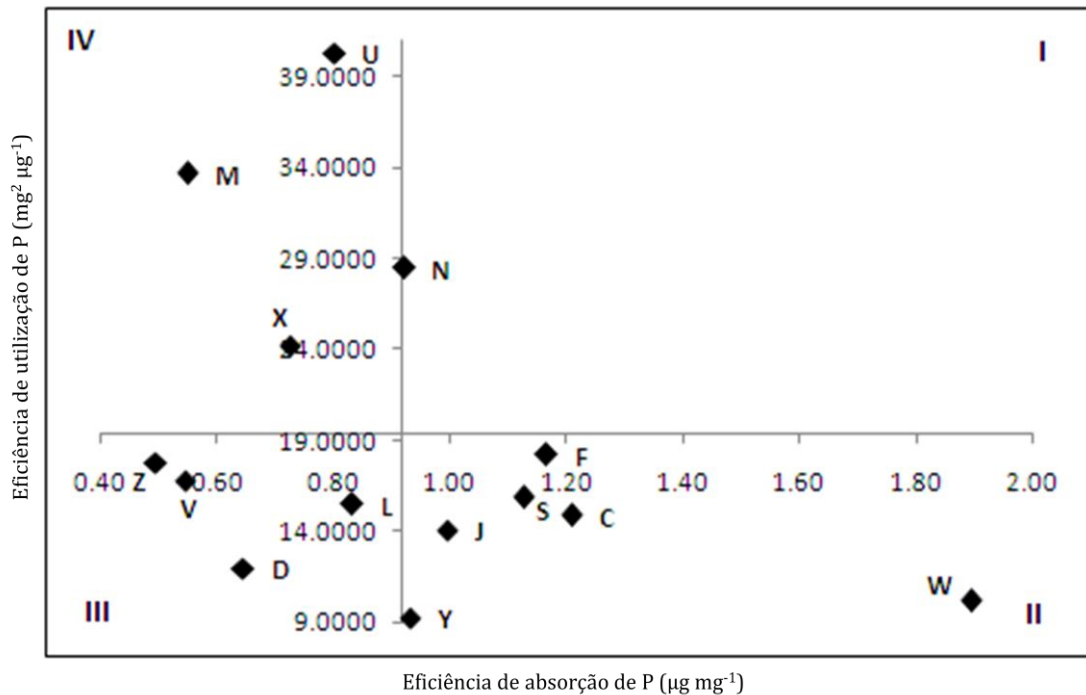


Figura 5 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) quanto à eficiência de utilização de P e eficiência de absorção de P aos 40 dias após inoculação (DAI) em condições de cultivo *in vitro*. Alta eficiência de absorção e utilização de P (I); alta eficiência de absorção mas baixa eficiência de utilização de P (II); baixa eficiência de absorção e utilização de P (III) e baixa eficiência de absorção mas alta eficiência de utilização de P (IV).

3.2. Experimento hidropônico

3.2.1. Análise de crescimento – experimento hidropônico

Em cultivo hidropônico, todas as variáveis analisadas, com exceção do índice de colheita, não apresentaram diferenças entre as doses de P aos 18 dias após o plantio (DAP) (Tabelas 6, 7 e 8), o que demonstra que inicialmente as plantas dependem de suas reservas acumuladas previamente e o suprimento externo tem pouco efeito sobre o crescimento das plantas. Conforme as fases de desenvolvimento da planta de batata as exigências nutricionais variam, tendo em vista o balanço entre os suprimentos internos e externos e a demanda da planta por nutrientes (GRANT et al., 2001).

Tabela 6 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) no comprimento da parte aérea (CPA), número de folhas (Folha), número de tubérculos (Tubérculo) e índice de colheita (Índice de Colheita) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico.

Coleta	18 DAP		39 DAP		62 DAP	
Dose	5% P	50%P	5 %P	50% P	5% P	50% P
Genótipo	CPA (cm pl ⁻¹)					
C	7,63 aAβ*	7,93 aAγ	15,04 abBα	21,60 bcdAβ	17,89 abBα	41,69 bAα
D	7,89 aAβ	9,51 aAβ	19,83 aBα	30,46 aAα	21,39 aBα	29, 11 cAα
F	7,58 aAβ	8,01 aAβ	11,93 cAα	15,98 dAα	11,44 bcAαβ	15,03 dAα
J	7,23 aAβ	9,93 aAβ	16,21 abBα	25,52 abAα	13,03 bcBα	26,94 cAα
M	8,09 aAα	9,13 aAβ	11,58 cBα	18,06 cdAα	10,28 cBα	18,03 dAα
S	7,43 aAγ	9,20 aAγ	15,96 abBβ	30,07 aAβ	22,28 aBα	53,91 aAα
U	8,10 aAβ	7,63 aAγ	12,04 cBαβ	24,10 abcAβ	13,19 bcBα	32,56 cAα
Genótipo	Folha (n° pl ⁻¹)					
C	6,42 aAβ	6,83 aAγ	12,58 bAαβ	15,42 bAβ	13,56 bcBα	31,94 cAα
D	6,92 aAα	9,17 aAβ	13,25 bAα	15,08 bAαβ	12,61 bcAα	19,28 dAα
F	6,92 aAα	7,08 aAβ	11,42 bAα	16,75 bAα	11 ,72 cAα	15,92 dAα
J	6,50 aAβ	8,42 aAγ	14,25 bAα	17,75 bAβ	14,28 bcBα	32,89 cAα
M	6,50 aAα	8,83 aAβ	10,75 bBα	18,42 bAα	11,70 cAα	14,89 dAαβ
S	7,17 aAβ	7,58 aAγ	18,00 abAα	22,17 bAβ	22,72 bBα	60,89 bAα
U	7,40 aAβ	9,42 aAγ	28,00 aBα	49,50aAβ	33,78 aBα	93,89 aAα
Genótipo	Tubérculo (n° pl ⁻¹)					
C	0,75 aAγ	0,83 aAγ	2,00 abAβ	2,00 cAβ	3,28 bBα	4,89 deAα
D	0,67 aAγ	0,83 aAγ	3,08 abBβ	4,50 aAβ	4,28 abBα	6,17 bcdAα
F	1,25 aAβ	0,92 aAγ	3,08 abAα	3,00 abcAβ	3,67 abBα	6,69 bcAα
J	0,75 aAβ	1,08 aAγ	2,25 abAα	2,58 cAβ	2,94 bBα	5,44 cdAα
M	0,67 aAγ	1,17 aAβ	1,92 bAβ	2,67 bcAα	3,62 abAα	3,22 eAα
S	0,75 aAγ	1,17 aAγ	2,92 abAβ	2,75 bcAβ	5,06 aBα	7,83 bAα
U	1,80 aAγ	1,83 aAγ	3,67 aAβ	4,33 aAβ	5,17 aBα	12,44 aAα
Genótipo	Índice de Colheita					
C	0,36 abcAα	0,46 aAα	0,39 aAα	0,34 bcAβ	0,34 aAα	0,28 abAβ
D	0,30 cAβ	0,10 bBβ	0,51 aAα	0,48 abAα	0,41 aAαβ	0,42 aAα
F	0,44 abAαβ	0,41 aAα	0,52 aAα	0,40 abcBα	0,37 aAβ	0,41 aAα
J	0,22 cAβ	0,32 aAβ	0,51 aAα	0,45 abcAα	0,46 aAα	0,37 aAαβ
M	0,43 abAα	0,50 aAαβ	0,49 aAα	0,54 aAα	0,49 aAα	0,40 aAβ
S	0,34 abcAαβ	0,33 aAα	0,45 aAα	0,27 cBαβ	0,33 aAβ	0,20 bBβ
U	0,49 aAα	0,33 aBα	0,45 aAα	0,38 abcAα	0,44 aAα	0,36 abAα

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey em 1% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada coleta não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra grega na mesma dose entre as coletas não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade.

Após o período de adaptação a partir do transplante, a taxa de crescimento é determinada pelo suprimento de nutrientes através de um balanço dinâmico entre fatores internos da planta e o suprimento externo, que em cultivo hidropônico para plantas de batata tornou-se visível a partir dos 39 DAP e evidenciou-se fortemente aos 62 DAP (Tabelas 6, 7 e 8). Esse período coincidiu com a maior demanda por fotoassimilados para o crescimento e maturação dos tubérculos. A partir dessa fase, a taxa de crescimento relativa pode diminuir por razões outras que a nutrição mineral inadequada. Nesse ponto, a taxa de crescimento das plantas deficientes em nutrientes minerais e não deficientes pode ser a mesma, já que o fator mais limitante ao crescimento não é o suprimento de nutrientes inorgânicos (GRANT et al., 2001) e sim o estágio de maturação.

Aos 18 DAP, os genótipos cultivados em hidroponia sob baixa dose de P (5% de P) apresentavam um número médio de 6,8 folhas por planta, enquanto os genótipos cultivados na alta dose de P (50% de P) apresentavam 8,2 folhas por planta (Tabela 6). Já aos 39 DAP verificou-se um aumento médio de 126 e 170% no número de folhas por planta, para o baixo e alto nível de P, respectivamente. Porém, esse aumento não progrediu linearmente na mesma proporção. No período seguinte (até os 62 DAP), observou-se um aumento médio de 11 e 73% no número de folhas por planta no baixo e alto nível de P, respectivamente. Em deficiência de P, ocorre uma redução na síntese de citocininas, o que resulta na redução do crescimento e desenvolvimento da planta, dada a importância das citocininas no processo de divisão e diferenciação celular (TAIZ; ZEIGER, 2010). Inicialmente as plantas respondem diminuindo a formação de novas folhas, mas mantendo o crescimento das existentes (MOLLIER; PELLERIN, 1999). Aos 62 DAP, apenas os genótipos D, F e M não foram afetados pela baixa dose de P (Tabela 6). Entretanto, esses genótipos apresentaram o menor número de folhas entre os genótipos estudados. O genótipo F foi o único que não apresentou resposta às doses de P em nenhuma das coletas para o comprimento da parte aérea.

O coeficiente de partição de massa seca normalmente aumenta progressivamente após o início da tuberização, o que indica que a maior parte dos fotoassimilados disponíveis são alocados para o crescimento dos tubérculos (OLIVEIRA, 2000; SILVA; PINTO, 2005; TEKALIGN; HAMMES, 2005; SILVA et al., 2009). Aos 62 DAP, quanto ao número de tubérculos, foi possível observar que a restrição de P causou redução de mais de 30% para todos os genótipos, chegando a

uma redução maior que 58% para o genótipo U, com exceção do genótipo M que produziu um maior número de tubérculo no baixo nível de P (Tabela 6).

O produto final desejado comercialmente no cultivo da batata é o tubérculo. A antecipação da colheita resulta em perdas de rendimento de tubérculos e de nutrientes minerais e quando a colheita ocorre no ponto ótimo aumenta a gravidade específica e a massa seca, enquanto o teor de açúcares decresce (ASGHAR et al., 2003). Na produção de massa fresca de tubérculos (MFT), novamente os genótipos F e M apresentaram as menores médias entre os genótipos nas duas doses de P, mostrando não serem nem eficientes nem responsivos ao P, assim como o genótipo C. Por outro lado, os genótipos D, S e U mostraram-se eficientes e responsivos ao P, com uma produção próxima a 80 g de MFT por planta na alta dose de P. O genótipo J demonstrou não ser eficiente na utilização do P, mas responde a um maior fornecimento de P, produzindo na baixa dose de P 28,6 g de MFT por planta e na alta dose 80,5 g de MFT por planta (Figura 6 e Tabela 7).

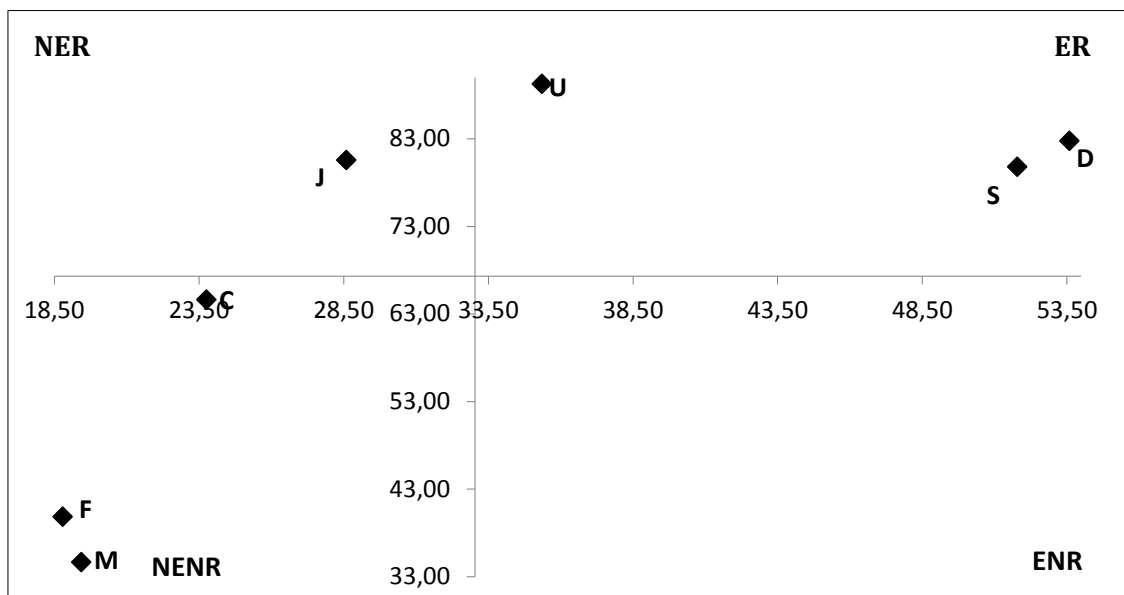


Figura 6 – Diagrama de resposta dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), quanto à eficiência e resposta à aplicação de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) na produção de massa fresca de tubérculos, avaliados aos 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

Aos 18 DAP, a massa seca de folhas (MSF) representava da massa seca total (MSTotal) 29 e 34%, respectivamente na baixa e na alta dose de P (Tabela 8). Na avaliação feita aos 62 DAP a MSF passou a representar 44 e 51% da MSTotal no baixo e no alto nível de P, respectivamente (Tabela 8). Isso demonstra que as plantas ainda estavam sofrendo influência do suprimento externo de P para seu crescimento. Ao avaliar o crescimento através do acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno a campo, Fernandes et al. (2010) encontraram aos 62 DAP que a MSF representava entre 22,1 e 34,9% da MSTotal para as cultivares em estudo. Com o crescimento dos tubérculos e em razão da perda e senescência das folhas, alterações na distribuição da massa seca entre os órgãos das plantas e redução na MSF são observadas em batateira no final do ciclo da cultura (SILVA; PINTO, 2005; SILVA et al., 2009; FERNANDES et al., 2010). A MSTotal aos 62 DAP foi em média de 56% menor nas plantas cultivadas com restrição de P (Tabela 8).

Tabela 7 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) na massa fresca de folhas (MFF), de raízes (MFR), de tubérculos (MFT), de hastes (MFH) e total da planta (MFTotal) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico.

Coleta	18 DAP		39 DAP		62 DAP	
	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
Dose	MFF (g pl ⁻¹)					
Genótipo	MFF (g pl ⁻¹)					
C	0,78 aA _γ *	0,84 aA _γ	8,21 abB _β	17,73 bcA _β	15,27 bB _α	54,25 bA _α
D	0,94 aA _γ	1,80 aA _γ	12,23 aB _β	25,35 aA _β	18,38 abB _α	38,00 cA _α
F	0,67 aA _β	0,64 aA _γ	4,97 bB _α	9,76 dA _β	7,99 cB _α	20,22 dA _α
J	0,49 aA _β	0,72 aA _γ	8,97 abB _α	15,42 cdA _β	8,44 cB _α	36,80 cA _α
M	0,45 aA _β	1,05 aA _β	5,07 bB _α	11,32 cdA _α	6,28 cB _α	13,21 eA _α
S	0,74 aA _γ	1,81 aA _γ	10,36 abB _β	23,29 abA _β	22,52 aB _α	72,09 aA _α
U	1,16 aA _γ	1,82 aA _γ	9,89 abB _β	26,05 aA _β	18,34 abB _α	53,99 bA _α
Genótipo	MFR (g pl ⁻¹)					
C	0,19 aA _α	0,25 abA _γ	0,42 cA _α β	0,67 abcdA _β	0,67 bcB _α	1,00 bA _α
D	0,46 aA _β	0,55 aA _β	0,74 bcB _α	1,02 aA _α	0,88 bA _α	0,71 bcdA _β
F	0,34 aA _α	0,15 bA _β	0,58 cdA _α	0,49 dA _α	0,34 cA _α	0,44 dA _α
J	0,10 aA _β	0,15 bA _γ	0,50 cdA _α	0,55 cdA _β	0,53 bcB _α	0,95 bcA _α
M	0,20 aA _β	0,27 abA _β	0,32 dB _β	0,59 bcdA _α	0,64 bcA _α	0,58 cdA _α
S	0,43 aA _β	0,40 abA _γ	1,17 aA _α	0,91 abcA _β	1,35 aB _α	2,08 aA _α
U	0,40 aA _γ	0,40 abA _β	1,03 abA _β	0,95 abA _α	0,70 bcB _α	1,07 bA _α
Genótipo	MFT (g pl ⁻¹)					
C	0,55 aA _β	0,65 aA _γ	6,02 aA _β	8,06 aA _β	23,76 cB _α	64,61 bA _α
D	0,80 aA _γ	0,71 aA _γ	13,29 aB _β	24,45 aA _β	53,59 aB _α	82,72 aA _α
F	1,26 aA _β	0,75 aA _β	5,68 aA _β	6,77 aA _β	18,80 cB _α	39,81 cA _α
J	0,36 aA _γ	0,54 aA _γ	9,69 aA _β	14,89 abA _β	28,59 bcB _α	80,55 aA _α
M	0,64 aA _β	0,87 aA _γ	5,54 aA _β	9,03 bA _β	19,44 cB _α	34,62 cA _α
S	1,54 aA _γ	0,89 aA _γ	9,03 aA _β	9,60 bA _β	51,78 aB _α	79,77 aA _α
U	1,67 aA _γ	1,64 aA _γ	10,98 aA _β	15,13 abA _β	35,35 bB _α	89,25 aA _α
Genótipo	MFH (g pl ⁻¹)					
C	0,23 aA _β	0,22 aA _γ	1,64 aB _β	4,83 bA _β	3,56 bB _α	8,31 bA _α
D	0,24 aA _γ	0,47 aA _γ	1,85 aB _β	5,46 abA _β	4,74 abB _α	7,18 bA _α
F	0,25 aA _α	0,21 aA _β	0,99 aA _α	2,38 cA _α	1,24 cB _α	3,70 cA _α
J	0,18 aA _α	0,28 aA _γ	1,15 aA _α	2,29 cA _β	1,67 cB _α	7,68 bA _α
M	0,16 aA _α	0,26 aA _β	0,91 aA _α	1,77 cA _α	1,65 cA _α	2,93 cA _α
S	0,20 aA _γ	0,47 aA _γ	1,89 aB _β	7,25 aA _β	6,13 aB _α	26,33 aA _α
U	0,28 aA _β	0,39 aA _γ	1,80 aB _α	7,39 aA _β	2,05 aB _α	9,39 bA _α
Genótipo	MFTotal (g pl ⁻¹)					
C	1,99 aA _γ	2,15 aA _γ	16,92 abB _β	33,26 bA _β	43,86 bcB _α	129,72 cA _α
D	2,73 aA _γ	4,12 aA _γ	29,28 aB _β	58,34 aA _β	78,30 aB _α	130,28 cA _α
F	2,83 aA _β	2,03 aA _γ	13,09 abA _β	20,77 cA _β	29,58 cB _α	66,02 dA _α
J	1,27 aA _γ	1,82 aA _γ	20,95 abB _β	34,39 bcA _β	39,46 cB _α	127,12 cA _α
M	1,76 aA _β	2,70 aA _γ	12,37 bB _β	23,83 cA _β	28,67 cB _α	52,22 dA _α
S	3,17 aA _γ	3,79 aA _γ	24,17 abB _β	43,25 abA _β	83,85 aB _α	183,03 aA _α
U	3,58 aA _γ	4,93 aA _γ	25,39 abB _β	55,96 aA _β	57,13 bB _α	157,59 abA _α

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey em 1% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada coleta não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra grega na mesma dose entre as coletas não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade.

Tabela 8 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) na massa seca de folhas (MSF), de raízes (MSR), de tubérculos (MST), de hastes (MSH) e da total da planta (MSTotal) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18, 39 e 62 dias após plantio (DAP) em condições de cultivo hidropônico.

Coleta	18 DAP		39 DAP		62 DAP	
	5% P	50% P	5% P	50% P	5% P	50% P
Genótipo	MSF (g pl⁻¹)					
C	0,06 aAβ*	0,07 aAβ	0,81 aAβ	1,40 aAβ	7,39 bcBα	23,77 bAα
D	0,08 aAβ	0,14 aAγ	1,11 aAβ	2,05 aAβ	9,44 bBα	14,06 dAα
F	0,16 aAβ	0,06 aAβ	0,59 aAβ	0,98 aAβ	4,67 dBα	9,38 eAα
J	0,04 aAβ	0,06 aAβ	0,95 aAβ	1,42 aAβ	4,80 dBα	17,12 cAα
M	0,04 aAβ	0,08 aAβ	0,62 aAβ	1,05 aAβ	3,23 dBα	7,17 fAα
S	0,08 aAβ	0,16 aAγ	1,26 aAβ	2,21 aAβ	14,04 aBα	40,88 aAα
U	0,10 aAβ	0,15 aAγ	1,01 aAβ	2,12 aAβ	7,19 cBα	22,25 bAα
Genótipo	MSR (g pl⁻¹)					
C	0,04 aAβ	0,02 aAβ	0,06 aAβ	0,06 aAβ	0,30 dBα	0,71 bAα
D	0,04 aAβ	0,06 aAβ	0,06 aAβ	0,11 aAβ	0,76 bAα	0,52 cBα
F	0,01 aAβ	0,02 aAβ	0,04 aAβ	0,05 aAβ	0,35 dAα	0,25 dAα
J	0,01 aAβ	0,01 aAβ	0,04 aAβ	0,06 aAβ	0,30 dBα	0,55 bcAα
M	0,02 aAβ	0,02 aAβ	0,08 aAβ	0,05 aAβ	0,20 dBα	0,31 dAα
S	0,06 aAβ	0,03 aAβ	0,10 aAβ	0,09 aAβ	1,10 aBα	1,51 aAα
U	0,07 aAβ	0,05 aAβ	0,08 aAβ	0,09 aAβ	0,51 cBα	0,67 bAα
Genótipo	MST (g pl⁻¹)					
C	0,08 aAβ	0,11 aAβ	0,90 aAβ	1,06 aAβ	5,02 bcBα	12,20 cAα
D	0,07 aAγ	0,03 aAγ	1,74 aAβ	2,93 aAβ	9,03 aBα	13,59 bAα
F	0,16 aAβ	0,10 aAβ	0,82 aAβ	0,95 aAβ	3,77 cBα	8,02 dAα
J	0,02 aAβ	0,05 aAγ	1,33 aAβ	1,81 aAβ	5,25 bcBα	12,48 cAα
M	0,10 aAβ	0,14 aAγ	0,86 aBβ	2,90 aAβ	5,32 bcAα	6,54 dAα
S	0,10 aAβ	0,11 aAβ	1,41 aAβ	1,19 aAβ	10,28 aBα	15,11 aAα
U	0,22 aAβ	0,18 aAγ	1,42 aAβ	2,05 aAβ	6,83 bBα	16,67 aAα
Genótipo	MSH (g pl⁻¹)					
C	0,03 aAβ	0,02 aAβ	0,28 aAβ	0,32 aAβ	1,19 bcBα	4,56 bAα
D	0,02 aAβ	0,03 aAβ	0,24 aAβ	0,46 aAβ	1,72 bBα	3,04 cAα
F	0,02 aAβ	0,01 aAβ	0,10 aAβ	0,20 aAβ	0,63 cBα	1,28 dAα
J	0,01 aAβ	0,02 aAβ	0,19 aAβ	0,33 aAβ	0,78 cBα	3,02 cAα
M	0,01 aAβ	0,02 aAβ	0,10 aAαβ	0,21 aAβ	0,59 cAα	1,07 dAα
S	0,02 aAβ	0,03 aAγ	0,28 aAβ	0,71 aAβ	2,71 aBα	14,55 aAα
U	0,02 aAβ	0,04 aAβ	0,18 aAβ	0,53 aAβ	0,94 bcBα	4,25 bAα
Genótipo	MSTotal (g pl⁻¹)					
C	0,24 aAβ	0,23 aAγ	2,18 aAβ	3,14 aAβ	14,49 cdBα	42,43 bAα
D	0,22 aAγ	0,32 aAγ	3,33 aAβ	5,87 aAβ	21,41 bBα	32,09 cAα
F	0,38 aAβ	0,21 aAβ	1,71 aAβ	2,38 aAβ	10,15 eBα	19,90 dAα
J	0,10 aAβ	0,15 aAγ	2,58 aAβ	3,85 aAβ	11,29 deBα	33,72 cAα
M	0,21 aAβ	0,28 aAγ	1,77 aBβ	4,38 aAβ	10,00 eBα	16,07 dAα
S	0,28 aAγ	0,36 aAγ	3,29 aAβ	4,53 aAβ	29,73 aBα	73,80 aAα
U	0,43 aAβ	0,47 aAγ	2,93 aAβ	5,50 aAβ	15,89 cBα	45,88 bAα

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey em 1% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada coleta não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra grega na mesma dose entre as coletas não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade.

3.2.2. Análise bioquímica – experimento hidropônico

Quando ocorre restrição de P para a planta, o primeiro sintoma é observado na parte aérea, pois, parte dos carboidratos existentes são remobilizados às raízes na tentativa de aumentar o crescimento radicular para facilitar a absorção de P (MOLLIER; PELLERIN, 1999). O P solúvel (Pi) encontrado na parte aérea (PA) aos 18 DAP foi maior para todos os genótipos na alta dose de P. Aos 39 DAP foi possível observar uma redução dos percentuais de Pi para ambas as doses testadas (Tabela 9), fato que caracteriza um efeito de diluição, uma vez que ocorreram aumentos lineares na produção de matéria seca. Entre a primeira e segunda avaliação, observou-se que o Pi na PA foi diluído 4 vezes para o genótipo C na alta dose de P e que ocorreu diminuição média do Pi em 58% da alta para a baixa dose de P aos 39 DAP. O mesmo ocorreu nas raízes, onde a diminuição do Pi da alta para a baixa dose de P foi superior a 75% para todos os genótipos, ficando esse Pi diluído em 3 vezes na alta dose, e em até 9 vezes na baixa dose de P para o genótipo U.

Uma resposta universal das plantas à deficiência de P é o aumento na produção de APases (VANCE, 2003), com isso, era de se esperar no presente trabalho que a atividade das APase fosse maior na baixa dose de P (Tabela 9). No entanto, em cultivo hidropônico aos 18 DAP a atividade dessas enzimas na 4ª folha expandida foi maior na alta dose de P. Aos 39 DAP, para os genótipos D e U, a atividade das APases foi maior na alta dose de P. Apenas para os genótipos J e S verificou-se maior atividade das APases na baixa disponibilidade de P como o esperado segundo a literatura.

Tabela 9 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) na concentração de fósforo inorgânico presente na parte aérea (Pi PA) e nas raízes (Pi Raiz) e na atividade das fosfatases ácidas presentes na quarta folha (APase 4ª folha) e nas raízes (APase Raiz) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 18 e 39 dias após plantio em condições de cultivo hidropônico.

Coleta	18 DAP		39 DAP	
	5%P	50%P	5%P	50%P
Genótipo	Pi PA ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}^{-1}$)			
C	1,54 cB α *	10,01 aA α	1,34 abcB α	2,37 bA β
D	2,36 bB α	7,11 bA α	1,06 cdB β	1,99 cA β
F	1,79 cB α	4,72 dA α	1,60 aB α	2,79 aA β
J	2,79 aB α	7,14 bA α	0,95 dB β	2,30 abA β
M	0,54 dB β	7,16 bA α	1,03 cdB α	2,28 abA β
S	1,64 cB α	4,87 dA α	1,41 abB β	2,16 abA β
U	2,32 bB α	5,57 cA α	1,27 bcdB β	2,14 abA β
Genótipo	Pi Raiz ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}^{-1}$)			
C	1,46 aB α	6,29 aA α	0,28 aB β	5,59 aA α
D	1,48 aB α	5,67 aA α	0,52 aB β	4,38 aA β
F	2,18 aB α	3,73 cA α	0,60 aB β	2,52 bA β
J	1,21 aB α	5,63 aA α	0,42 aB α	4,77 aA α
M	1,05 aB α	4,03 cA α	0,38 aB α	4,28 aA α
S	1,04 aB α	4,61 bA α	0,32 aB α	2,80 bA β
U	2,25 aB α	6,24 aA α	0,25aB β	2,08 aA β
Genótipo	APase 4ª Folha (U.mg^{-1} proteína)			
C	92,32 cB β	187,30 eA α	127,74 cA α	116,97cA β
D	115,67 bcB β	210,35 deA β	192,57 bB α	289,08 aA α
F	154,90 abB α	209,78 deA α	168,10 bc A α	153,64 bcA β
J	132,63 abcB β	295,32 bcA α	165,04 bcA α	116,48 cB β
M	125,24 abcB α	328,83 bA α	149,00 bcA α	138,64 cA β
S	169,36 aB β	700,92 aA α	251,27 aA α	122,37 cB β
U	123,71 abcB α	248,37 cdA α	128,99 cB α	197,28bA β
Genótipo	APase Raiz (U.mg^{-1} proteína)			
C	218,79 abcA β	97,42 cB β	584,99 aA α	656,28 aA α
D	188,71 bcA β	230,07 bcA β	379,67 bcA α	424,07 bA α
F	193,28 bcA β	191,29 bcA β	333,66 cA α	339,42 bA α
J	97,26 cB β	235,79 bcA β	524,94 abA α	483,49 bA α
M	120,64 cA β	101,79 cA β	456,98 abcA α	417,47 bA α
S	337,75 abB β	486,31aA α	474,31 abcA α	404,16 bA α
U	357,43 aA α	346,54 abA α	340,52 cA α	444,41 bA α

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey em 1% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada coleta não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra grega na mesma dose entre as coletas não diferem significativamente entre si pelo teste t, a 1% de probabilidade.

A atividade das APases aumenta fortemente nos tecidos senescentes e nas raízes submetidas a deficiência de P (GEORGE et al., 2002; LIU et al., 2004). Quanto à atividade das APases de raízes, aos 18 DAP observou-se maior atividade na alta dose de P para os genótipos J e S, enquanto que o genótipo C apresentou maior atividade das APases na baixa dose de P. Aos 39 DAP as diferentes doses de P não alteraram a atividade das APases nas raízes (Tabela 9). Portanto, a atividade das APases da 4ª folha expandida e das raízes pareceu sofrer influência da época de coleta e assim, não representar ser um bom marcador bioquímico para caracterizar as respostas dos genótipos quanto à remobilização do P nos tecidos.

Na comparação entre os sistemas de cultivo percebe-se que a atividade das APases é inversa, uma vez que *in vitro* os genótipos J e S têm maior atividade das APases na dose de 5% de P e em cultivo hidropônico na dose de 50% de P. Essa mesma inversão é observada para o genótipo U, que *in vitro* tem maior atividade na dose de 50% de P e no cultivo hidropônico a maior atividade é na dose de 5% de P. Portanto, a atividade das APases não representou ser um parâmetro adequado para classificação dos genótipos quanto à eficiência de utilização de P, uma vez que os resultados divergem entre os sistemas de cultivo. Esses genótipos, em resposta a baixa disponibilidade de P podem utilizar outras estratégias de adaptação, como as modificações morfológicas radiculares e/ou modificações bioquímicas (nos transportadores de membrana, ligados a absorção de P) para manter seu adequado desenvolvimento (PARENTONI et al., 2011).

3.2.3. Análise de eficiência nutricional – experimento hidropônico

Não houve diferença no conteúdo acumulado de P nas raízes entre as doses de P para os genótipos, com exceção do genótipo C que teve maior acúmulo de P no alto nível de P (Tabela 10). Entre os genótipos, na dose de 5% de P, o maior acumulador de P nas raízes foi o genótipo S com 3706,6 $\mu\text{g planta}^{-1}$, seguido do genótipo U com 1884,9 $\mu\text{g planta}^{-1}$. Os demais genótipos obtiveram acúmulo de P muito inferior. Entre os genótipos, na dose de 50% de P o genótipo S também foi o maior acumulador de P nas raízes seguido dos genótipos C, D e U.

Tabela 10 – Efeito de duas doses de fósforo (5 e 50% da concentração padrão da solução de Andriolo (2006) no conteúdo de P na raiz e na 4ª folha dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), avaliados aos 62 dias após plantio (DAP), em condições de cultivo hidropônico.

Genótipo	Raiz ($\mu\text{g planta}^{-1}$)		4ª folha ($\mu\text{g planta}^{-1}$)		
	Dose	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P
C		213,8 cB	1903,8 bA	6716,6 aB	90574,5 bA
D		496,8 cA	1576,0 bA	18505,2 aB	51976,6 cA
F		218,1 cA	723,8 cA	7211,7 aB	29428,2 dA
J		209,6 cA	1096,5 cA	4201,6 aB	47689,1 cA
M		113,2 cA	208,5 cA	3131,0 aB	23073,9 dA
S		3706,6 aA	3159,5 aA	11361,1 aB	116240,0 aA
U		1884,9 bA	1951,8 bA	5018,2 aB	78868,8 bA

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

O acúmulo de P na 4ª folha foi menor na dose de 5% de P para todos os genótipos (Tabela 10). No baixo nível de P não houve diferença entre os genótipos, já na alta dose de P o genótipo S apresentou maior acúmulo com $116240 \mu\text{g planta}^{-1}$, seguido dos genótipos C e U (Tabela 10). De um modo geral, o conteúdo acumulado de P é menor no baixo nível de P. Isso já foi verificado em outras plantas cultivadas como *Phaseolus vulgaris* (feijão) onde a concentração de P nos tecidos de parte aérea é maior nos tratamento com maior adubação fosfatada (FERNANDES, 1998).

A eficiência de utilização do P pelas raízes demonstrou diferença entre as doses apenas para os genótipos D e F, que apresentaram maior eficiência ao P quando cultivados no baixo nível deste nutriente. Na dose de 5% de P o genótipo D foi o mais eficiente na utilização do P pelas raízes, enquanto na dose de 50% de P foi o genótipo S (Tabela 11).

Tabela 11 – Eficiências de utilização de P nas raízes (EUPR), e folhas (EUPF) dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S) e P 150 (U) avaliados aos 62 dias após plantio em cultivo hidropônico.

Genótipo	EUPR		EUPF		
	Dose	5% de P	50% de P	5% de P	50% de P
C		0,4 bA*	0,3 cA	8,2 bA	6,3 bA
D		1,3 aA	0,2 cB	7,6 bA	3,9 cB
F		0,6 bA	0,1 cB	3,4 cA	3,0 cA
J		0,4 bA	0,4 bA	5,6 cA	6,2 bA
M		0,4 bA	0,5 bA	3,5 cA	2,3 cA
S		0,6 bA	0,8 aA	17,5 aA	15,0 aA
U		0,1 cA	0,2 cA	10,6 bA	6,3 bB

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Na eficiência de utilização de P nas folhas também ocorreu diferença entre as doses de P testadas apenas para dois genótipos (D e U), com maior eficiência quando cultivados em baixo nível de P. Entre os genótipos, tanto na dose de 5% quanto na de 50% de P, o genótipo S foi o mais eficiente na utilização do P (Tabela 11).

A maior eficiência de utilização de P (EUP) pelos genótipos de batata decorreu de sua maior produção de MS, com a exceção do genótipo D na dose de 5% de P em raízes (Tabela 8 e 11). A relação entre EUP e o crescimento das plantas pode estar relacionado com a variação da área foliar, com a condutividade hidráulica das raízes (SYVERTSEN; GRAHAM, 1985) e com a atividade fotossintética (ZAMBROSI et al., 2011), as quais alteram fortemente os ganhos de MS pelas plantas e, conseqüentemente, a eficiência de utilização dos nutrientes absorvidos em produção de biomassa.

Esses resultados indicam que a EUP mostrou-se um bom parâmetro para explicar a produção de matéria seca (FURLANI NETO, 1994; LUCA, 2002). Furlani et al. (1983) constataram que em condições de baixa disponibilidade de P em solução nutritiva, a massa seca da parte aérea e das raízes foram as características que mais se relacionaram com a EUP e permitiram a diferenciação de genótipos de arroz.

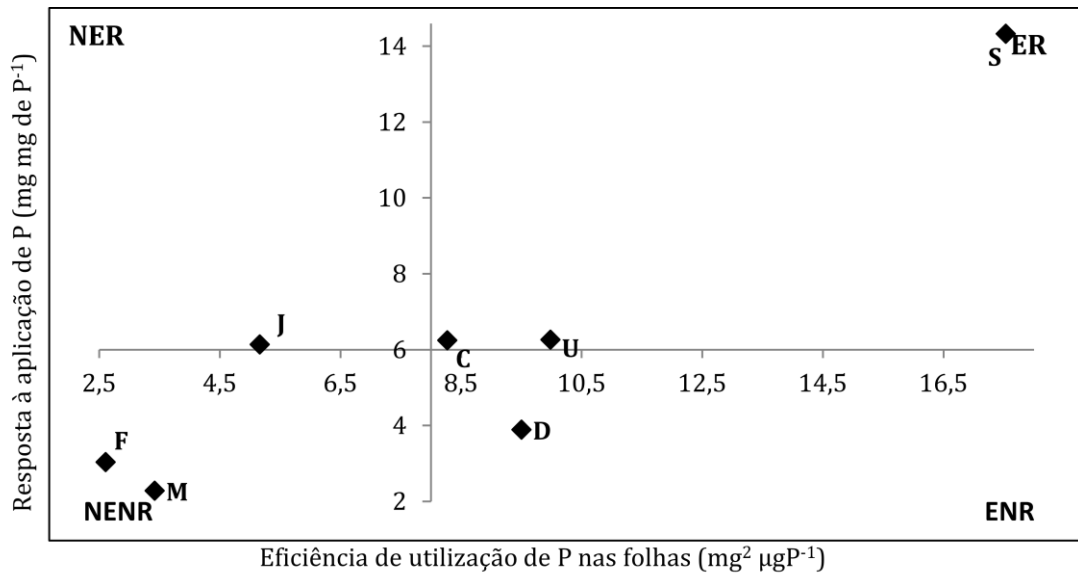


Figura 7 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) quanto à eficiência de utilização de P nas folhas e resposta à aplicação de P em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

A classificação dos genótipos quanto à eficiência de utilização e resposta ao P em hidroponia segundo a proposta de Fox (1978) possibilitou a confecção de dois diagramas (Figura 7 e 8). Cada diagrama confeccionado gerou quatro grupos de genótipos: eficientes e responsivos (ER), não eficientes e responsivos (NER); não eficientes e não responsivos (NENR); eficientes e não responsivos (ENR).

A eficiência de utilização do P nas folhas e resposta à aplicação de P classifica os genótipos de batata cultivados em hidroponia como **ER**: C, S e U; **NER**: J; **NENR**: F e M e **ENR**: D (Figura 7). Pela eficiência de utilização de P em raízes e resposta à aplicação de P os genótipos são classificados como **NER**: M e S; **NENR**: C, F, J e U e **ENR**: D (Figura 8).

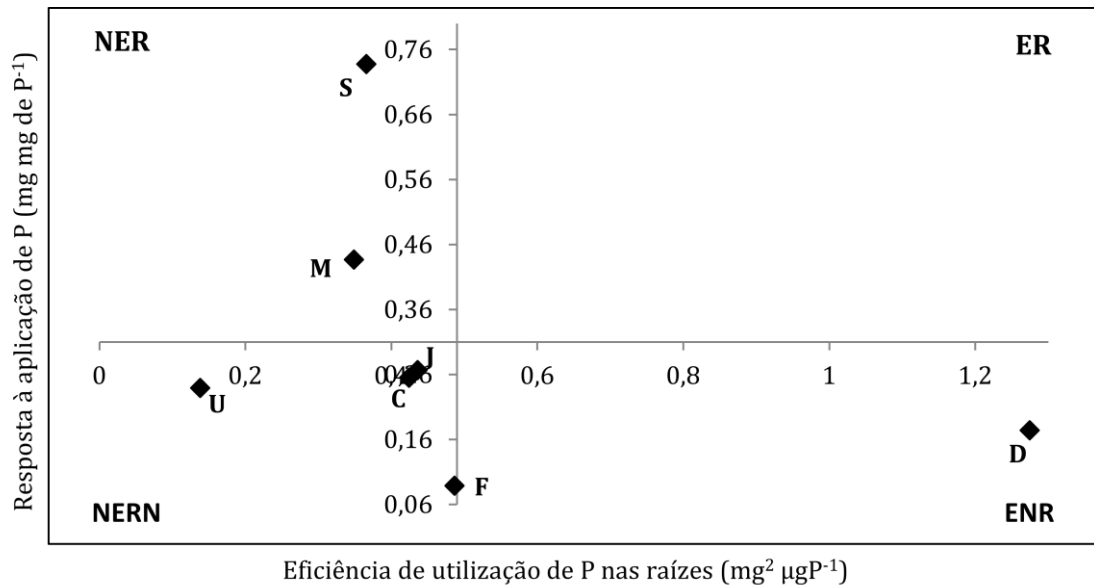


Figura 8 – Diagrama de classificação dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) quanto à eficiência de utilização de P nas raízes e resposta à aplicação de P em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP. Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NERN).

Comparando essa classificação com aquela do cultivo *in vitro*, apenas o genótipo M continua com a mesma classificação. Se a comparação dos resultados for feita com a classificação realizada por Castro (2009) em sistema *in vitro*, apenas o genótipo D recebe a mesma classificação. O sistema de cultivo hidropônico assemelha-se mais a produção de tubérculos a campo do que o sistema *in vitro*. Portanto, a validação de resultados em condições *in vitro* para eficiência de utilização de P fica comprometida, uma vez que os resultados demonstrados pela comparação dos sistemas de cultivo não apresentam muitas semelhanças. Uma possível explicação para essas respostas contrastantes entre os sistemas de cultivo possa ser o fato de que no cultivo *in vitro* as plantas apresentam baixa capacidade fotossintética em função de crescerem em um meio com sacarose (GROUT, 1988; GEORGE, 1996; MALDANER, J. et al., 2006), o que pode influenciar na alocação dos carboidratos e afetar as respostas à deficiência ao P.

Unindo os dois índices de eficiência de utilização (raízes/parte aérea ou raízes/folhas) e a resposta à aplicação de P dos sistema de cultivo *in vitro* (Figuras 2 e 3) e hidropônico (Figuras 7 e 8), determinados neste trabalho, podemos afirmar

que em sistema hidropônico o genótipo D foi ENR ao P, no entanto *in vitro* foi classificado como NE. Uma classificação divergente também ocorreu para o genótipo F em sistema hidropônico, pela união desses dois índices, o qual ficou classificado como o NENR ao P, ao passo que *in vitro* foi classificado como ER.

Os genótipos de batata responderam de modo diferenciado à deficiência de P em cada sistema de cultivo, com exceção do genótipo S, que nos dois sistemas se apresentou como eficiente na utilização e responsivo ao P (Figura 9). Os genótipos D e U em cultivo *in vitro* são eficientes e não responsivos ao P e eficientes e responsivos ao P, respectivamente. Enquanto, em cultivo hidropônico os genótipos D e U são não eficientes e responsivos ao P e não eficientes e não responsivos ao P, respectivamente. Essas respostas distintas entre os sistemas de cultivo, podem ocorrer pelo fato que no sistema hidropônico o ciclo da planta é completo, com a formação de tubérculos, sendo este sistema o mais próximo possível do sistema de cultivo a campo desta planta.

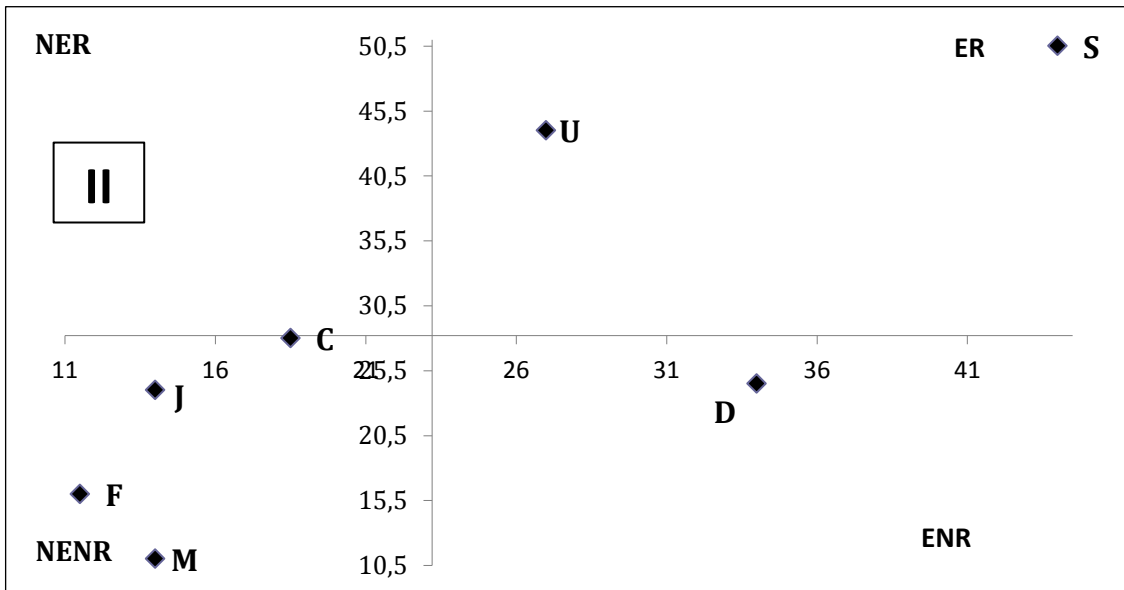
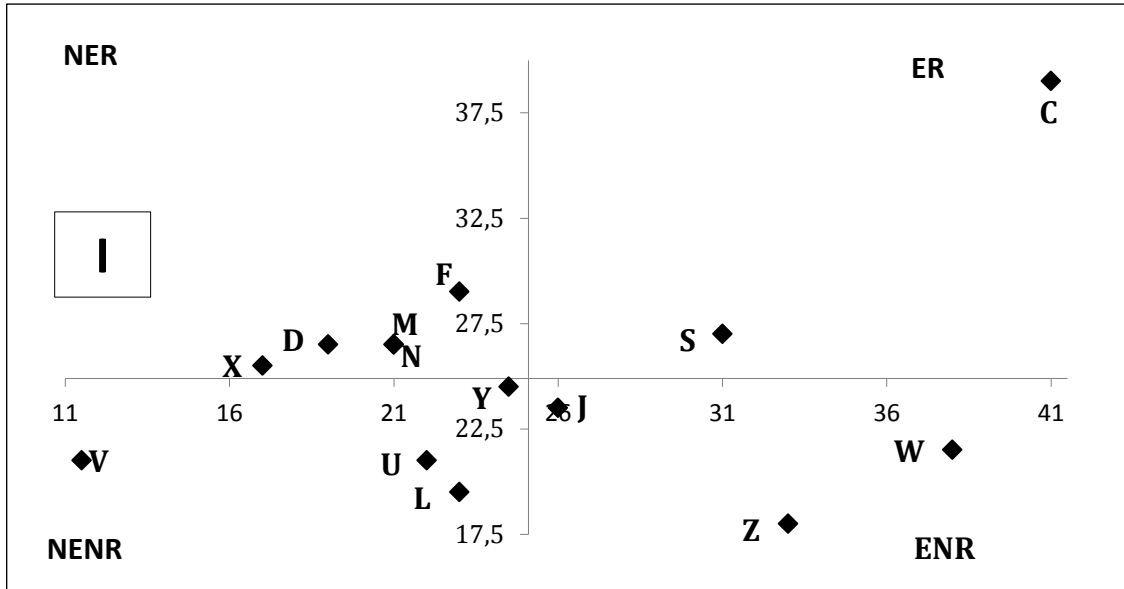


Figura 9 – Diagrama de classificação quanto à eficiência de utilização e resposta à aplicação de duas doses de fósforo 5 e 50 %, dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIE 040-6RY (L), SMIF 212-3 (M), SMIF 313-3 (N), SMIJ 319-1(S), P 150 (U), SMIJ 461-1 (V), Stirling (W), SMINIA 00017-6 (X), A 513-1(Y) e SMG (Z) em condições de cultivo *in vitro* aos 40 DAI (I) e dos genótipos SMIC 148-A (C), Dakota Rose (D), SMINIA 793103-3 (F), SMIB 106-7 (J), SMIF 212-3 (M), SMIJ 319-1(S), P 150 (U) em condições de cultivo hidropônico aos 62 DAP (II). Eficiente e responsivo (ER); não eficiente e responsivo (NER); eficiente e não responsivo (ENR); não eficiente e não responsivo (NENR).

4. Conclusões

No cultivo *in vitro*, na dose de 5% de P, os genótipos SMIF 212-3, SMIF313-3 e P 150 foram os mais eficientes na absorção de P. Entre os genótipos, a maior eficiência de utilização de P na parte aérea em ambas as doses de P foi atingida pelos genótipos SMIC 148-A e Stirling. Os genótipos Stirling e A 513-1 foram os mais eficientes na utilização do P pelas raízes no baixo nível de P. E ainda o genótipo Stirling na baixa dose de P foi o mais eficiente na utilização de P pela planta inteira. O genótipo SMIC 148-A apresenta elevada responsividade à aplicação de P.

A eficiência de utilização de P mostrou-se bom parâmetro para explicar a produção de matéria seca em hidroponia. Em baixa disponibilidade de P em solução nutritiva, a massa seca da parte aérea e das raízes foram as características que mais se relacionaram com a eficiência de utilização de P e permitiram a diferenciação de genótipos de batata.

O genótipo SMIJ 319-1 foi o único que nos dois sistemas de cultivo foi classificado como eficiente na utilização e resposta ao P. O sistema de cultivo *in vitro*, portanto, foi considerado não adequado para a seleção de genótipos de batata quanto à eficiência de utilização e resposta ao P.

5. Referências

AHSAN, M.; WRIGHT, D.; VIRK, D. S. Genetic analysis of salt tolerance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Cereal Research Communication**, [S. l.], v. 24, p. 353-360, 1996.

ALVAREZ-SANCHEZ, E. et al. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 1, p. 205-217, 1999.

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, **Anais...** Santa Maria: UFSM, p. 26-40, 2006.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, Georgia, v. 25, p. 1553-1564, 1994.

ASGHAR, A.; ABDUR, R.; SYED, A. H. Yield and nutrients profile of potato tubers at various stages of development. **Asian Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 2, n. 2, p. 247-250, 2003.

BANDINELLI, M. G. **Micropropagação e miniestaquia na propagação de batata**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

BATES, T. R.; LYNCH, J. P. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 87, p. 964-970, 2000.

BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F. Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: a global perspective. **Bio Science**, [S. l.], n. 51, p. 227-34, 2001.

BISOGNIN, D. A. Produção de plantas matrizes de morangueiro. In: SEMINÁRIO SOBRE O CULTIVO HIDRÔNICO DE MORANGUEIRO, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia. p. 9-17, 2007.

BOZZO, G. G., RAGHOTHAMA, K. G., PLAXTON, W. C. Purification and characterization of two secreted purple acid phosphatase isozymes from phosphate-starved tomato (*Lycopersicon esculentum*) cell cultures. **Journal of Biochemistry**, Oxford, v. 269, p. 6278-6286, 2002.

BRADFORD, M. M.: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantity of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Maryland, v. 72, p. 248- 254, 1976.

CAMIRE, M. E.; KUBOW, S.; DONNELLY, D. J. Potatoes and human health. Crit. Rev. **Food Science Nutrition**, Norwich, v. 49, p. 823 - 843, 2009.

CASTRO, G. Y. **Eficiência de absorção e utilização de fósforo em batata cultivada *in vitro***. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

CHEN, D. I.; DELATORRE, C. A.; BAKKER, A. Conditional identification of phosphate-starvation-response mutants in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, Berlin, v. 211, p. 13-22, 2000.

CHIOU, T.; LIN, S. Signaling network in sensing phosphate availability in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 62, p. 185-206, 2011.

CORDELL, D.; DRANGERT, J-O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change, [S. I.]**, v. 19, p. 292-305, 2009.

CORRÊA, R. M. et al. A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae, [S. I.]**, v. 116, p. 17-20, 2008.

DECHASSA, N. et al. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. *capitata*), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v. 250, n. 2, p. 215-224, 2003.

DESNOS, T. Root branching responses to phosphate and nitrate. *Curr. Opin. Plant Biology*, London v. 11, p. 82-87, 2008.

DUFF, S. M. G.; SARATH, G.; PLAXTON, W. C. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. **Physiology Plant**, [S. I.], v. 90, p. 791-800, 1994.

ELLIOTT, K. J.; WHITE, A. S. Effects of light, nitrogen, and phosphorus on red pine seedling growth and nutrient use efficiency. **Forensic Science International**, Oxford, v. 40 p. 47-58, 1994.

FAGERIA, N. D.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993.

FATOR, T. L. et al. Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 82-87, 2007.

FERNANDES, L. A. et. al. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 769-773, maio 1998.

FERNANDES, L. A. et. al. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 561-571, 2000.

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

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 412p. 2003.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 110, n. 1, p. 101-109, 1988.

FORTES, G. R. L.; PEREIRA, J. E. S. Batata semente pré-básica: cultura de tecidos. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (Eds.) **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 421-433, 2003.

FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, p. 13-37, 1978.

FREIRE, C. J. da S. Práticas culturasis In: PEREIRA, A. S.; DANIEL J. (Coord). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. 1. ed. Brasília: Embrapa Clima Temperado, p. 105-124, 2003.

FURLANI, A. M. C. et al. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 291- 303, 1983.

FURLANI, A. M. C.; LIMA, M.; NASS, L. L. Combining ability effects for P-efficiency characters in maize grown in low P nutrient solution. **Maydica**, Bergamo, v. 43, p. 169-174, 1998.

FURTINI NETO, et al. Frações fosfatadas em mudas de *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22 p. 267-274, 1998.

FURTINI NETO, A. E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp.** 111 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

GEORGE, E. F. **Plant Propagation by Tissue Culture.** 2. Ed., Edington: Exegetics, 1996. 1361 p. Part 2: In Practice.

GEORGE, T. S. et al. Phosphatase activity and organic acids in rhizosphere of potential agroforestry species and maize, **Soil Biology and Biochemistry**, Davis, v. 34, p. 1487-1494, 2002.

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**, Tokyo, v. 8, n. 4, p. 631-636, 1992.

GORZ, H. J. et al. Combining ability effects for mineral elements in forage sorghum hybrids. **Crop science**, Madison, v. 27, p. 216-219, 1987.

GRAHAM, R. D. **Breeding for nutrition characteristics in cereals.** In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A. (Eds.). Advances in plant nutrition. New York: praeger, p. 57-102, 1984.

GRANT, C. A., et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agronômicas**. Piracicaba, n. 95, 2001.

GROUT, B. W. W. Photosynthesis of regenerated plantlets in vitro, and stress of transplanting. **Acta Horticulturae**, Bruxelas, n. 230, p. 129-135, 1988.

HAMMOND, J. P. et al. Shoot yield drives phosphorus use efficiency in Brassica oleracea and correlates with root architecture traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 1953-1968, 2009.

HART, A. L.; JESSOP, D. Phosphorus fractions in trifoliolate leaves of white clover and lotus at various levels of phosphorus supply. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 26 p. 357-361, 1983.

JIANG, C. et al. Phosphate starvation root architecture and anthocyanin accumulation responses are modulated by the gibberellin-DELLA signaling pathway in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Minneapolis, n. 145, p. 1460-70, 2007.

KARTHIKEYAN, A. S. et al. Phosphate starvation responses are mediated by sugar signaling in Arabidopsis. **Planta**, Berlin, v. 225, p. 907-918, 2007.

LAUCHLI, A. Soil science in the next twenty five years: does a biotechnology play a role. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 1405-1409, 1987.

LEFÉVRE, I. et al. Drought Impacts Mineral Contents in Andean Potato Cultiva. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 198, p. 196-206, 2012.

LIN, W.; LIN, S.; CHIOU, T. Molecular regulators of phosphate homeostasis in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 5, p. 1427-1438, 2009.

LINKOHR, B. I. et al. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of arabidopsis. **The Plant Journal**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 751-760, 2002.

LIU, Y. et al. Rhizosphere effect and root growth of two maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability, **Plant Science**, Wuhan, v. 167, p. 217-223, 2004.

LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMIREZ, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 280-287, 2003.

LUCA, E. F. et al. Eficiência de absorção e utilização de fósforo (^{32}P) por mudas de eucaliptos e arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 543-547, 2002.

LYNCH, J. P.; BEEBE, S. E. Adaptation of beans (*Phaseolus rulsaris*) to low phosphorus availability. **HortScience**, Alexandria, v. 30, p. 5-117, 1995.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Root strategies for phosphorus acquisition. The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. **Plant Ecophysiology**, v. 7, p. 83-116, 2008.

MACHADO, C. T. T. **Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos, fisiológicos e microbiológicos associados à eficiência de absorção e uso de fósforo**. 366 f. (Tese de doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

MACHADO, C. T. T.; CANGIANI, F.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.

MALDONER, J. et al. Sacarose e nitrogênio na multiplicação *in vitro* de *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1201-1206, 2006.

MARSCHNER, H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient solution. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 56 p. 203-207, 1998.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3^a ed. Academic Press, London. 651p. 2012.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Phosphate forms in plant and their internal buffering in five soybean cultivars. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 249-257, 2005.

MEDEIROS, C. A. B; PEREIRA, A. S. DANIELS, J.; PEREIRA, J. E. S. Sistemas Hidropônicos para produção de sementes pré-básicas de batata. In: Encontro nacional de produção e abastecimento de batata e seminário nacional de batata semente. **Anais**, Uberlândia: UFU, p. 1-4, 2001.

MEDEIROS, C. A. B. et al. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 110-114, 2002.

MISHRA, S.; DUBEY, R. S. Changes in phosphate content and phosphatase activities in rice seedlings exposed to arsenite. **Brazil Jornal Plant Physiologi**, Campos dos Goytacazes, v. 20, p. 19-28, 2008.

MOLLIER A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 50, n. 333, p. 487-497, 1999.

MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 174-180, 2001.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, p. 473-497, 1962.

NACRY, P. et al. A role for auxin redistribution in the responses of the root system architecture to phosphate starvation in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 138, p. 2061-2074, 2005.

NILSSON, L.; MULLER, R.; NIELSEN, T. H. Dissecting the plant transcriptome and the regulatory response to phosphate deprivation. **Physiologia plantarum**, Copenhagen, v. 139, p. 129-43, 2010.

NILSSON, L.; MULLER, R.; NIELSEN, T. H. Increased expression of the MYB-related transcription factor, PHR1, leads to enhanced phosphate uptake in Arabidopsis thaliana. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 30, p. 1499-1512, 2007.

NEUMANN, G.; ROMHELD, V. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. **Plant Roots: The Hidden Half**, p. 617-649, 2002.

OLIVEIRA, C. A. da S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 939-950, 2000.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. **Melhoramento para eficiência de fósforo**. In: Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos. Viçosa, MG. Ed. Suprema Gráfica. 2011.

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. L.; SILVA, J. B. Efeito da aplicação de baixa temperatura em plantas de macieira sobre o crescimento durante a aclimatização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 89-95, 2001a.

PEREIRA, J. E. S. et al. Avaliação de dois sistemas hidropônicos na produção de material pré-básico de batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, suplemento CD-Rom, 3p. 2001b.

PEREIRA, J. E. S. **Otimização da produção de material pré-básico de batata sob condições de cultivo in vitro, ex vitro e hidropônico**. 2002, 126 f. (Tese doutorado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas: 2002

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. L. Produção de mudas pré-básicas de batata por estaquia a partir de plantas micropropagadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 186-192, 2004.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. In: Somerville CR, Meyerowitz EM, eds. **The Arabidopsis book**. Rockville, MD: The American Society of Plant Biologists, p. 1-35, 2002.

PURSEGLOVE, J. D.; SANDERS, F. E. The growth and phosphorus economy of the early potato (*Solanum tuberosum*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 12, n. 11, p. 1105-1121, 1981.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 50, p. 665-693, 1999.

RANALLI, P. Innovative propagation methods in seed tuber multiplication programmes **Potato Research**, Wageningen, v. 40, n. 4, p. 439-447, 1997.

RUSSOWSKI, D.; NICOLOSO, F. T. Nitrogênio e fósforo no crescimento de plantas de ginseng brasileiro [*Pfaffia glomerata*(Spreng.) Pedersen] cultivadas *in vitro*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 57-63, 2003.

SANGINGA, N.; LYASSE, O.; SINGH, B. B. Phosphorus use efficiency and nitrogen balance of cowpea breeding lines in a low P soil of the derived savanna zone in West Africa. **Plant and Soil**, The Hague, v. 220, p. 119-128, 2000.

SHENOY, V. V.; KALAGUDI, G. M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. **Biotechnology advances**, Oxford, v. 23, p. 501-513, 2005.

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**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.

SILVA, L. A. S.; PINTO, C. A. B. P. Duration of the growth cycle and the yield potential of potato genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, p. 20-28, 2005.

SILVA, A. A. et al. Diferenciação em solução hidropônica de genótipos de trigo quanto à tolerância à deficiência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, v. 32, p. 1949-1958, 2008.

SILVA, F. L. et al. Caracterização morfológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 295-302, 2009.

SYVERTSEN, J. P.; GRAHAM, J. H. Hydraulic conductivity of roots, mineral nutrition, and leaf gas exchange of citrus root stocks. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, p. 865-869, 1985.

TABALDI, L. A. et al. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 59, p. 43-48, 2007.

TABALDI, L. A. et al. Effect of aluminum on the *in vitro* activity of acid phosphatases of four potato clones grown in three growth systems. **Biologia Plantarum**, [S.l.], v. 55, n. 1, p. 178-182, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Editora Sinauer Associates, Inc. 782 p. 5.ed. 2010.

TEJERA, G. N.A. et al. Partial purification and characterization of a non-specific acid phosphatase in leaves and root nodules of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 42, p. 585-591, 2004.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P.S. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. II Growth analysis, tuber yield and quality. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 105, p. 29-44, 2005.

TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **The Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TERUEL, D. A. et al. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agrícola**, São Paulo, v. 58, p. 55-60, 2001.

THEODORU, M. E.; PLAXTON, W. C. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 101, p. 339-344, 1993.

TIESSEN, H. Phosphorus in the global environment. **The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions**, v. 7, p. 1-7, 2008.

VANCE, C. P.; UHDEN-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, [S. l.], v. 157, p. 423-447, 2003.

VANCE, C. P. Plants without arbuscular mycorrhizae. In PJ White, JP Hammond, eds, **The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions**, p. 117-142, 2008.

VANCE, C. P. Quantitative trait loci, epigenetics, sugars, and microRNAs: quaternaries in phosphate acquisition and use. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 154, p. 582-588, 2010.

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

WHITE, P. J. et al. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. **HortScience**, Alexandria, v. 44, p. 6-11, 2009.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS J. R., D.; SYVERTSEN, J. P. Plant growth, leaf photosynthesis, and nutrient use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 174, p. 487-495, 2011.

ZAMBROSI, F. C. B. et al Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36 p. 485-496, 2012.

ZIMMERMANN, P. et al. Differential expression of three purple acid phosphatases from potato. **Plant Biology**, Oxford, v. 6, p. 519- 528, 2004.

DISCUSSÃO GERAL

O presente trabalho visou à caracterização de genótipos de batata quanto à eficiência nutricional ao P. Foram conduzidos experimentos *in vitro* e em hidroponia.

Constatou-se ampla variabilidade genética entre os genótipos de batata estudados, com relação à eficiência nutricional para P, que pode ser atribuído principalmente às eficiências de utilização do elemento para produção de matéria seca.

In vitro, no baixo nível de P, a produção de massa seca de parte aérea é a característica que teve maior efeito direto na eficiência de absorção de P. Por outro lado, no alto nível de P, o comprimento da parte aérea, a acumulação de P e a atividade das APase na parte aérea são as características que têm maior efeito direto na eficiência de absorção de P. Resultados similares foram encontrados por Furlani et al. (1985), que selecionaram linhagens de milho quanto à eficiência de absorção ao P com base na produção de matéria seca de parte aérea e raízes.

Os efeitos diretos e indiretos de cada variável sobre a eficiência de utilização do P nos genótipos de batata são dependentes da condição de avaliação (*in vitro* ou hidropônico). Esses efeitos distintos, da eficiência de utilização do P, também é observado em arroz quando cultivado *in vitro* ou no solo (SANT'ANA et al., 2003)

Em cultivo *in vitro*, a massa seca das plantas é a característica que tem maior efeito sobre a eficiência de utilização de P na planta inteira no baixo nível de P, enquanto no alto nível de P é a APase. Enquanto no cultivo hidropônico, a massa seca, o comprimento de parte aérea e o acúmulo de P foram as características que tiveram maior efeito na eficiência de utilização do P nas raízes e nas folhas. Diferentemente do encontrado por Sant'Ana et al. (2003) na seleção de genótipos de milho em cultivo *in vitro*, em que tanto no alto quanto no baixo nível de P o teor acumulado de P e o volume radicular são as características que tem maior efeito na eficiência de utilização.

Na comparação entre os sistemas de cultivo, quanto à eficiência de utilização do P nas raízes, apenas o genótipo M recebeu a mesma classificação em ambos os sistemas. O sistema de cultivo hidropônico assemelha-se mais aquele a campo do que o sistema *in vitro*, por que o primeiro proporciona que as plantas produzam tubérculos. Portanto, a validação de resultados em condições *in vitro* para eficiência

de utilização de P fica comprometida, uma vez que os resultados apresentados pela comparação dos sistemas de cultivo não apresentam muitas semelhanças.

Pela união dos índices de eficiência de utilização, foi possível afirmar que os genótipos de batata responderam de modo diferenciado à deficiência de P em cada sistema de cultivo, com exceção do genótipo S que nos dois sistemas se apresentou como eficiente na utilização e responsivo ao P, podendo ser recomendado para plantio em solos com baixos teores disponíveis de P e/ou para áreas onde será feita adubação fosfatada com a intenção de aumentar a produtividade.

CONCLUSÕES GERAIS

Os genótipos de batata responderam de modo diferenciado à deficiência de P em cada sistema de cultivo, com exceção do genótipo S que nos dois sistemas de cultivo se apresentou como eficiente na utilização e responsivo ao P.

O sistema de cultivo *in vitro* não é adequado para a seleção de genótipos de batata quanto à eficiência de utilização e resposta ao P.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABEL, S.; TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiologia plantarum**, Copenhagen, v. 115, p. 1-8, 2002.

BAILIAN, L.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 37, n. 2, 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. 64 p. 1996.

BISOGNIN, D. A. (Edit.). **IX Reunião técnica de pesquisa e extensão da cultura da batata na região sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 123 p. 2006.

BISSANI, A. C. et al. (Eds.) **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 1. ed. Porto Alegre: Genesis, 326 p.2004.

CAO, H. et al. Chromosomal location of traits associated with wheat seedling water and phosphorus use efficiency under different water and phosphorus stresses. **Int. International Journal of Molecular Sciences**, [S. l.], v. 10, p. 4116-4136, 2009.

CASTRO, J. D. Acidez e calagem para a batatinha (*Solanum tuberosum* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, Campinas. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 79-85,1983

CLARK, R. B.; BROWN, J. C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 4, p. 505-508, 1974.

DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Inheritance of table and processing quality. In: Bradshaw, J. E.; Mackay, G.R. (eds.). **Potato Genetics**. CAB International. p. 285 – 315,1994.

DUFF, S. M. G. et al. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 90, p. 791-800, 1994.

EMBRAPA. **A cultura da batata**. Brasília: Embrapa SNH, 184 p.1999.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 49-64, 1998.

FAO. FAOSTAT data 2013. **Produção mundial de batata**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, p. 13-37, 1978.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 110, n. 1, p. 101-109, 1988.

FREIRE, C. J. da S. Estudos na área de fertilidade do solo na cultura da batata no âmbito da Embrapa Clima Temperado. In: **Reunião técnica de pesquisa e extensão da batata da região sul do brasil**, 5., 1998, Pelotas **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 30-37. 1998.

FURLANI, P. R.; CLARK, R. B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 587-594, 1981.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 129-147, 1985.

GOURLEY, C. J. P.; ALLAN, D. L.; RUSSELLE, M. P. Plant nutrient efficiency: a comparison and suggested improvement. **Plant and Soil**, The Hague, v. 158, n. 1, p. 29-37, 1994.

HALVIN, J. L. et al. **Soil Fertility and Fertilizers**. 7 ed. Pearson Education/Prentice-Hall, Inc. 528p. 2005.

HAWKES, J. G. Origins of cultivated potatoes and species relationships. In: BRADSHAW, J. E.; MACKAY, G. R. (Ed.). **Potato genetics**, p. 3-42, 1993.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, p. 173-195, 2001.

LINDGREN, D. T.; GABELMAN, W. H.; GERLOFF, G. C. Variability of phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* L. under phosphorus stress. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 102, n. 5, p. 674-677, 1977.

LOPES, C. A., BUSO, J. A. **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 1-2, 1997.

MA, L. et al. Modeling nutrient flows in the food chain of China. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 39, n. 4, p. 1279-1289, 2010.

McLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. **Cadmium in soil and plants**. 288 p.1999.

MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p.174-180, 2001.

NESET, T. S. et al. The flow of phosphorus in food production and consumption. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 396, p. 111-120, 2008.

PASSOS, S. M. G. et al. **Principais culturas**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Cap 5 – Cultura da Batatinha, p. 175-211, 1973.

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, 159 p. 2003.

PREZOTTI, L. C.; CARMO, C. A. S.; ANDRADE NETO, A. P. M. **Nutrição mineral da batata**, v. 27, 44 p.1986.

PROCHNOW, L. I.; PLESE, L. M.; ABREU, M. F. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 283-294, 2001.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 665-693, 1999.

RHOADS, R. E. The incredible potato. 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.

SANT`ANA, E. P. et al. Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea da planta de arroz. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 370-381, 2003.

SHYMA YAMA, N. A cadeia produtiva da batata no Brasil. IX Reunião Técnica de Pesquisa e Extensão da Cultura da Batata da Região Sul. **Anais...** Santa Maria - RS, 159 p. 2006.

SHEN, J. et al. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**, Minneapolis, 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 utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**, Editora Sinauer Associates, Inc. 782 p. 5.ed. 2010.

TAVARES, S.; CASTRO, P. R. C.; MELO, P. C. T. **Cultura da batata**. (Série Produtor Rural, 18). 7p. 2002.

UEMURA, T. Experimental reproduction of "Itai-itai" disease: A chronic cadmium poisoning of humanus in rats and monkeys. **Research in Veterinary Science**, Rome, v. 48, p.15-28, 2000.

WAALKES, M. P. Cadmium carcinogenesis in review. **Journal of Inorganic Biochemistry**, South Carolina, v. 79, p. 241-244, 2000.

WESTERMANN, D. T.; DAVIS, J. R. Potato nutritional management changes and challenges into the next security. **American Potato Journal**, Bangor, v. 69, p. 753-767, 1992.

WHITEAKER, G. et al. Intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 101, p. 472- 475, 1976.

ZHANG, F. S. The innovation and application of integrated nutrient resource management technology to harmonize crop production and environment protection in China. **China Agricultural University Press**, Beijing, 2009.

ZHU, J.; KAEPLER, S. M.; LYNCH, J. P. Mapping of QTLs for lateral root branching and length in maize (*Zea mays* L.) under differential phosphorus supply. **Theoretical and Applied Genetics**, [S. l.], v. 111, p. 688-695, 2005.

APÊNDICE

Apêndice A – Concentração dos componentes dos meios de cultivo MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) e da solução nutritiva de Andriolo (2006) para produção de batata-semente utilizados nos experimentos com os quatorze genótipos.

		Níveis de P	
		Baixo	Alto
Meio de cultura MS			
Fontes (mg L⁻¹)	NH ₄ NO ₃	1650	1650
	KNO ₃	1900	1900
	CaCl ₂ .2H ₂ O	440	440
	MgSO ₄ .7H ₂ O	370	370
	KH ₂ PO ₄	8,5	85
	KCl	88	46
	FeSO ₄ .7H ₂ O	5,57	5,57
	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ Na ₂ .2H ₂ O	7,45	7,45
	H ₃ BO ₃	0,62	0,62
	MnSO ₂ .H ₂ O	1,69	1,69
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,86	0,86
	KI	0,083	0,083
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,025	0,025
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,0025	0,0025
	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,0025	0,0025
Suplementos (mg L⁻¹)	Sacarose	30000	30000
	Mio-inositol	100	100
	Ágar	6000	6000
	Glicina	2	2
	Ac. Nicotínico	0,5	0,5
	Pirodoxina	0,5	0,5
	Tiamina	0,1	0,1
Solução Nutritiva			
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 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