

ANDRÉ LUIZ GOMES JOB

**DOSES DE FÓSFORO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA SOLO E FOLIAR NA
CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.)**

Botucatu

2019

ANDRÉ LUIZ GOMES JOB

**DOSES DE FÓSFORO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA SOLO E FOLIAR NA
CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.)**

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

Orientador: Rogério Peres Soratto

Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu

2019

J62d

Job, Andre Luiz Gomes

Doses de fósforo e aplicação de silício via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) / Andre Luiz Gomes Job. -- Botucatu, 2019

84 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Rogério Peres Soratto

Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Batata. 2. Adubação. 3. Fosfóro. 4. Silício. 5. Nutrição. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DOSES DE FÓSFORO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA SOLO E FOLIAR NA CULTURA DA BATATA (*SOLANUM TUBEROSUM* L.).

AUTOR: ANDRÉ LUIZ GOMES JOB

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

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


Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. RENATO YAGI
Estação Experimental-Instituto Agrônomo do Paraná / Ponta Grossa/PR


Prof. Dr. JOSE MAGNO QUEIROZ LUZ
Departamento de Fitotecnia / UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Botucatu, 08 de fevereiro de 2019

Aos meus pais, Osmar Job e Cleusa Maria Gomes Job, meu exemplo de vida, obrigado pelos valores, educação e por acreditarem em mim. Meu infinito agradecimento.

A meu amigo, confidente irmão Alexandre Gomes Job, por sempre torcer pelo meu sucesso e pelas palavras de apoio.

Aos meus estimados sogros Mateus e Solidéia, pela inenarrável força, pelas orações e palavras de apoio.

Aos queridos Moacir, Maria, Jayme Neto, Adriana, Marcos, Elen, Marcelo e Liene aos poucos nos tornamos mais que amigos. Presenciaram minha batalha e tantas vezes me direcionava palavras de incentivo. Obrigado por dividirem comigo, as angústias e alegrias.

Ao Afilhado Nicolas, pelos momentos de alegria que trouxe em nossas vidas.

Em especial, minha esposa Karina Stort de Paula Job, por ser tão importante na minha vida. Sempre a meu lado, me pondo pra cima e me fazendo acreditar que posso mais que imagino. Devido a seu companheirismo, amizade, paciência compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado. Obrigado por ter feito do meu sonho, o nosso sonho.

A meu filho Miguel, que como um anjo trouxe muita alegria e paz em nossas vidas dando sentido a todas os planos traçados, que nos deu força de seguir em frente.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus. Sem a sua presença, esta pesquisa seria inviável, pois é dele proveniente todo o conhecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Peres Soratto. A você, minhas reais manifestações de admiração, respeito e carinho. O seu apoio foi determinante para que eu chegasse ao fim deste trabalho, com um enorme sentimento de satisfação. Muito obrigado pelo profissionalismo, pela amizade e pela disponibilidade, que sempre revelou para comigo.

A todos os professores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol e Prof. Dr. Ciro Antônio Rosolem, pelas colaborações e companheirismo.

A todo o corpo docente da pós-graduação, pelos conhecimentos divididos.

Ao grupo Ioshida pela concessão da área e por todo suporte logístico para condução dos experimentos.

Ao amigo Dr. Adalton Mazetti Fernandes, pelas valiosas contribuições na coorientação e na realização deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, e aos amigos em especial, Jéssyca, Vinicius Paludo, Saulo Fernandes, Fabiana, Amanda, Jesion e Bruno e dentre outros que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

Ao grupo de funcionários da biblioteca, do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pela atenção dedicada.

A todos, enfim, reitero o meu apreço e a minha eterna gratidão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante doutoramento.

"Ninguém, vence sozinho". (Andre Job)

" Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho." (Dalai Lama)

RESUMO

Por ser exigente em nutrientes e apresentar alto custo de produção, normalmente, empregam-se elevadas doses de fertilizantes fosfatados no cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.). Porém, devido a crescente preocupação com os fosfatos por serem recursos naturais não renováveis, devendo portanto ter utilização eficaz, e o aumento do custo de produção da batata nas últimas safras, torna-se necessário estudar técnicas que melhorem a eficiência da adubação fosfatada nessa cultura. A adubação silicatada poderia ser uma técnica promissora para melhorar o aproveitamento do fósforo (P) aplicado, pois além de aumentar a disponibilidade de P no solo, pode promover vários benefícios à cultura da batata. Assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o efeito da aplicação de silício (Si) via solo (Fertisilica®) e via foliar (Silamol®) sobre a nutrição, absorção de P e Si pela planta, produtividade e qualidade de tubérculos da cultura da batata, cultivada sob diferentes doses de adubação fosfatada. Foram realizados três experimentos de campo, em Itaí, Pirajú e Botucatu, estado de São Paulo, Brasil. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 4x3, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de quatro doses de P (0, 125, 250 e 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅) combinados com três tratamentos de Si (300 kg ha⁻¹ de Si aplicados no sulco de plantio na forma do produto Fertisilica®, 16 g ha⁻¹ de Si aplicados via foliar na forma do produto Silamol® e ausência da aplicação de Si). A utilização de Si via solo ou folha afetou ligeiramente os teores de Ca na folha, mas não afetou os teores de P na folha diagnose ou na planta de batata. A aplicação de Si aumentou o teor, extração e exportação de Si na batateira, mas apenas a aplicação de Si via solo aumentou a produção de matéria seca de tubérculo e da planta inteira antes da dessecação das ramas, bem como a quantidade de P acumulada pela planta. A produtividade de tubérculos não foi influenciada pela aplicação de Si, seja via solo ou foliar. Independentemente do fornecimento de Si, a aplicação de P incrementou os teores de N, P, Ca, Mg e S na folha diagnose, a matéria seca da planta, o número de tubérculo por planta, o peso médio e produtividade de tubérculos, os teores e quantidades P e Si extraídas e exportadas pela batateira. Em solos com teores médio-baixa disponibilidade de P, a cultura da batata teve a produtividade incrementada até doses entre 221 e 476 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sem que o fornecimento de Si via solo ou foliar interferisse na resposta à adubação fosfatada ou na eficiência de uso do P aplicado.

Palavras chave: *Solanum tuberosum*. Fósforo. Silício. Nutrição mineral. Produtividade de tubérculos.

ABSTRACT

Due to be demanding in nutrients and present high production cost, usually, commonly, high rates of phosphorus (P) fertilizers are used in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation. However, due to the growing concern about phosphates as non-renewable natural resources, it should therefore be used efficiently, and due to the growing production costs it becomes necessary to study techniques that improve the efficiency of the P fertilization in that crop. Silicon (Si) fertilization could be a promising technique to improve the use of the applied P because besides increasing P availability in the soil, it can promote several benefits to the potato crop. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of the Si application, by soil (Fertisilica[®]) and by leaf spraying (Silamol[®]), on nutrition, P and Si uptake by the plant, tuber yield and quality of the potato crop cultivated under different P fertilizer rates. Three field experiments were performed in Itaí, Pirajú, and Botucatu, São Paulo State, Brazil. The experimental design was a randomized complete block with a 4×3 factorial scheme and four replications. The treatments were constituted by four P rates (0, 125, 250, and 500 kg ha⁻¹ of P₂O₅) combined with three Si treatments (300 kg ha⁻¹ of Si applied at planting furrow as the product Fertisilica[®], 8 g ha⁻¹ of Si applied by foliar spraying as the product Silamol[®], and the absence of Si application). Soil- and foliar-applied Si slightly affected the Ca concentrations in the diagnostic leaf, but did not affect the contents of P in the diagnosis leaf or in the potato plant. Silicon application increased the concentration, uptake and removal of Si in potato crop, but only soil-applied Si increased the dry matter yield of tuber and whole plant before vine desiccation, as well as the amount of P accumulated by the plant. Tuber yield was not influenced by the Si application, either by soil or via foliar. Regardless of the Si supply, the P fertilization increased the N, P, Ca, Mg, and S concentrations in the diagnosis leaf, plant dry matter, tuber number per plant, tuber mean weight, tuber yield, and uptake and removal of P and Si by the potato crop. In soils with medium-low P availability, the potato tuber yield increased up to rates between 221 and 476 kg ha⁻¹ P₂O₅, without interference of soil- or foliar-applied Si on the response to P fertilization or applied P efficiency.

Keywords: *Solanum tuberosum*. Phosphorus. Silicon. Mineral nutrition. Tuber yield.

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1** – Precipitação, irrigação, temperaturas máximas e mínimas registradas nas áreas durante a condução dos experimentos. (a) Exp. I – Itai-SP, 2014; (b) Exp. II - Pirajú-SP, 2015; (c) Exp. III – Botucatu-SP, 2015.....34
- Figura 2** – (A) Abertura do sulco com a plantadora-sulcadora de batata. (B) Distribuição das adubações, dos tratamentos (P e Si) e incorporação dos mesmos.....37
- Figura 3** – (A) Distribuição dos tubérculos-semente. (B) Aplicação de fungicida e inseticida no sulco (C) Fechamento do sulco de plantio da batata semente.....38
- Figura 4** – (A) Operação da amontoa após a aplicação da cobertura. (B) Área após feito a amontoa.....39
- Figura 5** – Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f) e Si (g) na folha diagnose da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....46
- Figura 6** – Quantidade de massa da matéria seca acumulada na arte aérea (a), nos tubérculos (b) e total (c), antes da dessecação na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....53
- Figura 7** – Teores de P na parte área (a), nos tubérculos (b) e acúmulo total (c) antes da dessecação, da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.....56
- Figura 8** – Teores de Si na parte área (a), nos tubérculos (b) e acúmulo total (c) antes da dessecação, da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....59
- Figura 9** – Número total (a) e de tubérculos da classe especial (b) por planta, peso médio (c) de tubérculo da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si e três experimentos.....62
- Figura 10** – Produtividade total (a) e de tubérculos da classe especial (b) da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.....65
- Figura 11** – Quantidade de matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.....67
- Figura 12** – Teor de P (a) e exportação de P (b) pelos tubérculos da cultura da batata na colheita, em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.....70
- Figura 13** – Teor de Si (a) e exportação de Si (b) pelos tubérculos da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.....71

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 – Características químicas e granulométricas dos solos das áreas experimentais, na profundidade de 0 a 0,20 m. Média de seis repetições.....	35
Tabela 2 – Cronograma das atividades realizadas nos três experimentos.....	37
Tabela 3 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento I, localizado no município de Itaí-SP.....	40
Tabela 4 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento II, localizado no município de Pirajú-SP.....	41
Tabela 5 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento III, localizado no município de Botucatu-SP.....	42
Tabela 6 – Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Si e Zn na folha diagnose da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	45
Tabela 7 – Quantidade de massa da matéria seca (MS) acumulada nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e total, antes da dessecação na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	51
Tabela 8 – Teores de P nas raízes, na parte área, nos tubérculos e quantidade total de P acumulada pela cultura da batata antes da dessecação em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	54
Tabela 9 – Teores de Si nas raízes, na parte área, nos tubérculos e acumulo total na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	58
Tabela 10 – Número total e da classe especial de tubérculos por planta, peso médio de tubérculo da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	61
Tabela 11 – Produtividade total e de tubérculos da classe especial da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	64
Tabela 12 – Porcentagem e quantidade da matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	66
Tabela 13 – Teor de P e Si nos tubérculos na colheita, Exportação de P e Si pelos tubérculos da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.....	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	Importância econômica da cultura da batata.....	24
2.2	Características da cultura da batateira.....	24
2.3	Adubação e nutrição da cultura da batata.....	25
2.4	Fósforo no solo e sua disponibilidade para a batateira.....	27
2.5	Interação fósforo-silício no solo.....	29
2.6	Fósforo na planta e interação com silício.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1	Caracterização das áreas experimentais.....	33
3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	35
3.3	Caracterização da cultivar.....	36
3.4	Instalação e condução dos experimentos.....	36
3.5	Avaliações.....	42
3.5.1	Diagnose foliar.....	42
3.5.2	Acúmulo de matéria seca e extração de P e Si.....	43
3.5.3	Número por planta, peso médio, produtividade e classificação dos tubérculos em total e especial.....	43
3.5.4	Porcentagem de matéria seca e exportação de P e Si pelos tubérculos.....	44
3.5.5	Análise estatística.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Diagnose foliar.....	45

4.2	Quantidade de massa da matéria seca acumulada nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e total, teor de P e Si nas partes da planta da batateira e extração de P e Si.....	50
4.3	Número de tubérculos total e da classe especial por planta, peso médio de tubérculos e produtividade de tubérculos total e da classe especial	60
4.4	Porcentagem e quantidade de matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita.....	66
4.5	Teores de P e Si nos tubérculos na colheita, exportação de P e Si pelos tubérculos na colheita.....	67
5	CONCLUSÕES.....	73
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</u>	74

1 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) tem grande importância mundial, estando entre os quatro alimentos mais consumidos no mundo, juntamente com arroz, trigo e milho. Essa solanácea é uma importante fonte alimentícia, possuindo alto valor energético, proteínas e nutrientes, sendo cultivada em aproximadamente 157 países com uma produção de 385 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018).

Apesar de apresentar ciclo de produção curto, tem como característica elevada produção por unidade de área, apresentando assim maior demanda nutricional, quando comparado as outras culturas. Sendo assim, de extrema importância a disponibilidade dos nutrientes na solução do solo de maneira equilibrada de acordo com a exigência da cultivar (SORATTO et al, 2016), o que leva muitos produtores a se utilizarem de altas doses de fertilizantes inorgânicos na base em um único cultivo, elevando assim o custo de produção (RIBEIRO, 1999; FERNADES, 2013), podendo os fertilizantes representar em mais de 20% do custo de produção da batata, os quais atualmente são bastante elevados (DELEO, 2015).

Dentre os fertilizantes com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), destacam-se os fosfatados, que são utilizados em doses elevadas no momento do plantio, visando garantir altas concentrações de fosfato na solução do solo (ALI et al., 2004a), chegando a atingir até 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ acima do que é recomendado para a cultura (SANGOI; KRUSE, 1994), e por volta de 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em áreas com elevado teor de P disponível no solo (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011). No entanto, respostas positivas e econômicas a adubação fosfatada, ocorrem principalmente em solos nunca antes adubados ou com baixos teores de P disponível (ALI et al., 2004a; FERNANDES; SORATTO, 2012a). Pois a planta de batata tem sido considerada como pouco eficiente em absorver P de solos com baixos níveis de P disponível (DECHASSA et al., 2003).

Em solos com baixa disponibilidade de P, diversos autores têm relatado respostas positivas da batateira a doses de até 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (FERNANDES et al., 2012b), ou até superiores (PEIXOTO et al., 1996; FONTES et al., 1997; NAVA et al., 2007). Ou seja, quantidades bastante elevadas, se comparadas com outras culturas como soja, milho e feijão, as quais, normalmente, são cultivadas em rotação com a batata.

Assim, devido ao alto custo unitário dos fertilizantes fosfatados e ao uso de

elevadas doses no cultivo da batata, associados à crescente preocupação com a poluição de fosfato, torna-se necessário melhorar a eficiência da adubação fosfatada na cultura da batata (FERNANDES; SORATTO, 2016b). A baixa eficiência da adubação fosfatada deve-se, entre outros fatores, à elevada capacidade de adsorção de P nos solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999; RAMAEKERS et al., 2010), cujos fatores envolvidos na adsorção podem ser alterados pelo manejo a que o solo é submetido.

Uma possibilidade para melhorar a eficiência do P aplicado é através da adubação silicatada, pois no solo o ânion silicato (H_3SiO_4^-) compete com o ânion fosfato (H_2PO_4^-) pelos mesmos sítios de adsorção, aumentando a disponibilidade de P no solo (CARVALHO et al., 2001; POZZA et al., 2007; PULZ et al., 2008). Além de aumentar a disponibilidade de P no solo, estudos têm demonstrado que o fornecimento de silício (Si) pode melhorar a nutrição fosfatada e aumentar o crescimento de diversas culturas (MA; TAKAHASHI, 1990). Essa ação benéfica tem sido associada a diversos efeitos indiretos, tais como aumento na capacidade fotossintética, plantas mais eretas, redução da transpiração, aumento da resistência mecânica das células, diminuição do efeito tóxico do B, Mn, Fe e outros metais pesados, aumento da absorção e metabolismo de elementos, tais como o P (LANA et al., 2003; GUNES et al., 2007a).

Apesar da batata não ser uma planta acumuladora de Si, já existem evidências de que o fornecimento de Si a essa cultura, além de aumentar o teor de Si e a disponibilidade de P no solo, proporcionar maior absorção de P pela planta e alterar o metabolismo de P na planta, aumentando o teor de P inorgânico (P_i) nas folhas e P orgânico nos tubérculos (SORATTO et al., 2019), também promove maior produção de tubérculos comercializáveis (PULZ et al., 2008) e aumento na massa média e/ou no teor de matéria seca (MS) dos tubérculos (CRUSCIOL et al., 2009; SORATTO et al., 2012). No entanto, a absorção do Si é um processo ativo, com gasto energético mesmo quando as raízes estão em presença de altas concentrações do elemento (MALAVOLTA, 2006). Com sua redistribuição muito baixa, sendo, portanto, considerado imóvel no floema (DATNOFF et al., 2001; MALAVOLTA, 2006).

Dessa forma, a aplicação foliar Si, com o uso de pequenas quantidades do elemento, tem sido alternativa viável para o seu fornecimento às plantas, suprimindo a necessidade de Si e/ou estimulando seus efeitos benéficos (MENZIES et al., 1992; WANG, GALLETA, 1998; BUCK et al., 2008). Assim, a aplicação de Si via foliar na

cultura da batata, pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e/ou melhorar a nutrição fosfatada da batateira, permitindo obter elevada produtividade com a aplicação de menores doses de P.

Portanto, pelo fato da batateira receber grandes quantidades de fertilizantes fosfatados durante seu cultivo, o emprego de técnicas que aumentem a eficiência da adubação fosfatada é fundamental nas condições atuais, em que o custo de produção da cultura tem aumentado a cada safra. Assim, a inclusão da adubação silicatada nos programas de adubação dessa cultura pode proporcionar economia de fertilizantes fosfatados, melhoria na qualidade da batata produzida e diminuição nos custos de produção e nos riscos de poluição ambiental.

Em função do exposto o presente trabalho partiu das seguintes hipóteses: a) a possibilidade de reduzir a adubação fosfatada, tradicionalmente utilizada pelos produtores de batata mediante a inclusão do Si na adubação; b) a inclusão de Si na adubação da batateira podendo gerar benefícios nutricionais para a planta e melhorar a qualidade da batata produzida; c) a aplicação de Si foliar pode melhorar o fornecimento de Si, a nutrição da planta e a eficiência na absorção de P.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação silicatada, na forma do produto Fertisilica[®] (pó) e na forma do produto Silamol[®] (líquido), sobre a nutrição, absorção de P e Si pela planta, produtividade e qualidade de tubérculos da cultura da batata, cultivada sob diferentes doses de adubação fosfatada. Além disso, buscou-se estabelecer curvas de resposta da batateira à adubação fosfatada, em área produtora de batata e, com isso, propor a possível redução das doses de P₂O₅ tradicionalmente utilizadas mediante a inclusão do Si na adubação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da cultura da batata.

A batata é uma das principais fontes de alimento da humanidade, sendo a quarta cultura em importância mundial, juntamente com o milho, arroz e trigo. A batateira é cultivada em aproximadamente 157 países, em uma área de 19,2 milhões de hectares, com uma produção de aproximadamente 385 milhões de toneladas, com a China liderando como maior produtor mundial, seguido da Rússia, Índia, Ucrânia e Estados Unidos, enquanto o Brasil ocupa a 21ª posição (FAOSTAT, 2018).

O Brasil atingiu no ano de 2017 uma produção de batata na ordem de 4,3 milhões de toneladas nas três safras da cultura, com produtividade média de 30,5 t ha⁻¹. Os estados responsáveis pelas maiores produções são Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Bahia e Goiás, os quais concentram mais de 95% da produção nacional de batata (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b). Uma vez que a cultura apresenta elevada produtividade, a batata produz mais energia e proteínas comestíveis por unidade de área por dia do que muitas outras culturas (CIP, 2012), e, além de se adequar a diversas condições agroclimáticas, seu cultivo é lucrativo o que gera muitos empregos (SINGH, 2008). A cultura também apresenta um elevado custo de produção, quando comparado com outras culturas, e tem aumentado nos últimos anos.

Em algumas regiões do estado de São Paulo o custo de produção da batata aumentou de R\$ 18.590 por hectare na safra de 2009 para aproximadamente R\$ 39.000 na safra 2016 (DELEO, 2010; DELEO, 2016). Apesar de seu custo de produção ser alto por unidade de área, tem um preço acessível, devido as altas produtividade na mesma unidade de área, o que torna a batata um alimento importante no combate à fome e à miséria em países subdesenvolvidos.

2.2 Características da cultura da batateira.

A batateira pertence à família *Solanaceae* e trata-se de uma planta dicotiledônea, cultivada como cultura anual, herbácea, caracterizada por formar um caule subterrâneo modificado, intumescido pela acumulação de substâncias de reserva, denominado tubérculo (BEUKEMA; VAN DER ZAAG, 1979). O sistema

radicular é superficial, com raízes concentradas nos primeiros 30 cm de profundidade (LESCZYNSKI; TANNER, 1976). O desenvolvimento da cultura é dividido em quatro fases ou estádios. A fase I tem início no plantio do tubérculo-semente e vai até a emergência; a fase II compreende o intervalo entre a emergência e o início da tuberização; a fase III vai do início da tuberização até o enchimento dos tubérculos e a fase IV compreende o período da maturação ou senescência. O ciclo vegetativo pode ser precoce (menor que 90 dias), médio (90-110 dias) ou tardio (>110 dias), sendo que este período varia entre as cultivares (FILGUEIRA, 2003; FORTES; PEREIRA, 2003).

Apesar de seu ciclo curto, possui alta taxa de crescimento e elevada produção por unidade de área, ou seja, elevada eficiência produtiva, fazendo da batateira uma planta exigente em nutrientes disponíveis no solo, para que tenha um bom desenvolvimento e produtividade de tubérculos (ROSEN; BIERMAN, 2008; FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011; FERNANDES; SORATTO 2016a; 2016b). O tubérculo é o órgão de interesse econômico, além de ser a principal forma de propagação da planta. É composto de cerca de 78-80% de água, seguido de 16-20% de carboidratos, principalmente amido, e cerca de 2% de proteínas. No que se refere às vitaminas, a batata é fonte principalmente de ácido ascórbico e vitaminas do complexo B (LISINSKA; LESZCZYNSKI, 1989; MOUILLÉ; CHARRONDIÈRE; BURLINGAME, 2010).

A maior parte da produção nacional é comercializada in natura, sendo que apenas 10% são destinados ao processamento industrial, nas formas de pré-frita congelada, “chips” e batata palha. A cultivar Agata representa a maior área plantada no Brasil devido às características do tubérculo que apresenta coloração amarelada, pele lisa e tubérculos normalmente de tamanho uniforme, além de possuir ciclo precoce. Isto a torna atrativa aos consumidores e produtores (FILGUEIRA, 2003; ABBA, 2012).

2.3 Adubação e nutrição da cultura da batata.

Dentre os cultivos comerciais extensivos no Brasil, a cultura da batata é o que apresenta o maior consumo relativo de fertilizantes aplicado por unidade de área, chegando a ser cerca de 5,7 vezes maior que a soja, segundo levantamento realizado pela ANDA (2009, 2010). Contudo, de modo geral, não se podem considerar os

processos de correção do solo e adubação como adequados para a cultura, pois muitas vezes são realizadas aplicações desequilibradas de fertilizantes (SORATTO; FERNANDES, 2015; SORATTO; FERNANDES; JOB, 2017). Por ser exigente em nutrientes, muitos produtores não acatam as recomendações técnicas de adubação para a cultura e adubam muitas vezes sem sequer realizar a análise química do solo (NAVA et al., 2007), utilizando quantidades de fertilizantes no momento do plantio superiores às necessárias (FELTRAN, 2005), podendo não satisfazer as necessidades das plantas, gerar desequilíbrio nutricional, declínio da produtividade e, em muitos casos, elevar desnecessariamente o custo de produção (SORATTO; FERNANDES, 2015).

Em muitos casos, bataticultores utilizam a fórmula NPK 04-14-08, com as doses de aproximadamente 4.000 kg ha^{-1} aplicados em um único cultivo no sulco de plantio, sem levar em conta nenhum parâmetro, como a análise de solo, o histórico da área e a exigência da cultivar (SORATTO; FERNANDES; JOB, 2017). Na maioria das vezes a adubação adotada pelos produtores de batata, fornece quantidades de nutrientes superiores a ideal ou exigidas pela cultura. Apesar de Queiroz et. al. (2013), obter a maior produtividade de tubérculos comerciais com doses próxima de 4.200 kg ha^{-1} com o fertilizante NPK 04-14-08, em solos com teor de P(Mehlich-1) de $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$ e teor de K trocável de $3,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$, e mediante os resultados observados verifica-se que doses acima de 2 t ha^{-1} não proporcionaram incrementos de produtividade. Doses assim, estão acima do que é recomendado para cultura da batata (SANGOI; KRUSE, 1994; LORENZI et. al., 1997), sendo comum verificar após a colheita da batata, a presença visível de fertilizantes no solo (FELTRAN, 2005). E, dependendo da época de cultivo e do preço dos fertilizantes, os custos com fertilizantes podem representar até 20% do custo de produção da cultura, os quais atualmente são bastante elevados (DELEO, 2015).

Alguns nutrientes, como P, K, N, S e Cu, são mobilizados para os tubérculos em proporções muito maiores que outros, como Ca, Fe e Mn. Assim, aproximadamente 78% do P, 68% do K, 64% do N, 65% do S, 33% do Mg e apenas 9% Ca absorvidos pela batateira são exportados pelos tubérculos. Quanto aos micronutrientes, cerca de 49% do Cu, 45% do B, 41% do Zn, 20% do Fe e 11% do Mn absorvidos pela cultura ao longo do ciclo são exportados com os tubérculos (FERNANDES; SORATTO, 2012a; SORATTO; FERNANDES; JOB, 2016). De acordo com Fontes et al. (1997), a maioria dos experimentos indica que o P é o elemento mais limitante à produção da

batateira. Considerando os nutrientes para o desenvolvimento das plantas, a baixa disponibilidade de P é geralmente considerada a maior limitação (NOVAIS E SMYTH, 1999).

Apesar das quantidades de P extraídas pelas plantas de batata, ficarem em torno de 14 e 19 kg ha⁻¹ de P, dependente da cultivar, (YORINORI, 2003; NUNES et. Al., 2006; FERNANDES et al. 2011; SORATTO et al., 2011; FERNANDES et al. 2013; SORATTO; FERNANDES; JOB, 2017), representando estes valores menos de 10% de todo o P aplicado via fertilizante. A planta de batata, segundo Dechassa et al (2003), apresenta baixa eficiência na absorção P de solos com baixos teores de P disponível. E mesmo em condições de alta disponibilidade de P, a extração de P pela cultura da batata é pequena (FERNANDES; SORATTO, 2012a).

2.4 Fósforo no solo e sua disponibilidade para a batateira

O P constitui cerca de 0,12% da crosta terrestre, e as maiores reservas encontram-se em segmentos marinhos, solos, fosfatos inorgânicos dissolvidos nos oceanos e rochas e em minerais como a apatita (STEWART; HAMMOND; VAN KAUWENBERGH, 2005; ARAÚJO; MACHADO, 2006). Apesar de existirem na natureza mais de 200 minerais de P, apenas o grupo das apatitas tem significado quantitativo (WALKER; SIYIER, 1976; ARAÚJO; MACHADO, 2006). O mineral liberado das apatitas por intemperismo é absorvido pelas plantas e reciclado, incorporado à matéria orgânica dos solos e segmentos, ou precipitado com minerais pouco solúveis de Ca, Fe e Al e outros elementos, formando o P orgânico e o P inorgânico (HANSEN; CADE-MENUN; STRAWN, 2004; TURNER et al., 2007).

O teor total de P nos solos está entre 0,2 e 0,5 g kg⁻¹, mas apenas uma pequena fração está na forma disponível para as plantas (ARAÚJO; MACHADO, 2006). A retenção do P adicionado ao solo em formas lábeis ou não-lábeis, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como de maneira mais significativa pela sua adsorção pelos óxidos de Fe e de Al (SCHULTE; KELLING, 1996; CONDRON; TIESSEN, 2005; PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005; TURNER et al., 2007), mais presentes em solos tropicais intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999). Estas reações, de sorção e dessorção, se equilibram com a solução do solo porque os ortofosfatos podem ser adsorvidos nas superfícies e bordas de

óxidos hidratados, minerais de argila e carbonatos, substituindo H_2O ou OH^- (SPOSITO, 1984).

Este processo envolve duas etapas: adsorção, que é a acumulação de P nas superfícies dos constituintes sólidos do solo e, difusão, do P no interior destes constituintes (SPOSITO, 1984; PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005). O P inicialmente adsorvido a superfície de agregados de solo difunde-se, com o tempo, para seu interior. É um processo lento, que pode levar anos para atingir o equilíbrio, devendo ser, também, responsável pela diminuição da disponibilidade de P de um solo recém fertilizado, com o aumento do tempo de contato do P de um solo (BARROW, 1985).

Dentre os fertilizantes utilizados no cultivo da batata, destacam-se os fosfatados que são utilizados em doses elevadas no momento do plantio, visando garantir altas concentrações de fosfato na solução do solo (ALI et al., 2004b; FERNANDES; SORATTO, 2012b). Pois mesmo em áreas com maior disponibilidade de P no solo, tem sido observada a aplicação de doses de P_2O_5 que atingem valores próximos a 640 kg ha^{-1} (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011; SORATTO, 2012a). Respostas positivas e econômicas a adubação fosfatada ocorre principalmente em solos nunca antes adubados ou com baixos teores de P disponível (ALI et al., 2004b; FERNANDES; SORATTO, 2012a). Estudos recentes em solos do Estado de São Paulo, com baixa disponibilidade de P, demonstraram que a adubação fosfatada aumentou a produtividade total de tubérculos da batateira até a dose de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 (FERNANDES et al., 2012a; SORATTO; FERNANDES, 2012b; FERNANDES, 2013).

Ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com P, se faz necessário em ser várias vezes maior do que a exigida pelas plantas, devido a necessidade de satisfazer a exigência do solo, saturando os componentes responsáveis pela fixação do P (FURTINI NETO et al., 2001). Assim, considerando o alto custo unitário dos fertilizantes fosfatados (LOPES et al., 2010), as elevadas doses de P_2O_5 utilizadas no cultivo da batata e a crescente preocupação com os fosfatos, que são recursos naturais não renováveis, escassos e sem sucedâneos, devendo, portanto, ter utilização eficaz (PRADO E FERNANDES, 1999), torna-se necessário reavaliar as necessidades de P para a cultura da batata, ou seja, é preciso melhorar a eficiência da adubação fosfatada nessa cultura. Já que a grande parte do P adicionado ao solo

se torna imóvel ou não disponível, em virtude de reações de adsorção em colóides minerais, precipitação ou conversão em formas orgânicas (HOLFORD, 1997).

No entanto, o manejo a que o solo é submetido pode alterar os fatores envolvidos na adsorção de P, aumentando a sua disponibilidade para as culturas (GARCIA et al., 2011) e, conseqüentemente, melhorando o aproveitamento dos fertilizantes fosfatados, como o uso de Si.

2.5 Interação fósforo-silício no solo.

Uma possibilidade para melhorar a eficiência do P aplicado é através da adubação silicatada. Os primeiros trabalhos sobre absorção de Si e P em solos datam do final da década de 1920, já havendo, portanto, consenso sobre alguns aspectos envolvidos na dinâmica dos dois elementos no solo: (a) fosfato e silicato são retidos (adsorvidos) pelos óxidos de Fe e de Al da fração argila, podendo assim competir entre si pelos mesmos sítios de adsorção, ou seja, silicato pode deslocar fosfato previamente adsorvido, e vice-versa, das superfícies oxídicas (OBIHARA; RUSSEL, 1972; OLIVEIRA, 1984; LEITE, 1997; CARVALHO et al, 2001). A adsorção de Si pelas superfícies dos minerais de argila do solo tende a aumentar a disponibilidade de fosfato em solos oxídicos. Após sofrer desprotonação, o ácido monossilícico (H_4SiO_4) residual transforma-se em H_3SiO_4 e adsorve-se à fase sólida do solo, impedindo ou dificultando a adsorção de fosfato e tornando-o mais disponível em solução (CARVALHO et al., 2001; POZZA et al., 2007).

A ocorrência de competição entre o Si e o P pelos mesmos sítios de adsorção do solo também foi sugerida por outros autores (LEITE, 1997; SILVA et al., 2003; CARNEIRO et al., 2006), podendo inclusive proporcionar dessorção (liberação) de P já adsorvido à fase sólida, ou seja, ocorre a troca do P pelo Si, tornando o P mais disponível em solução (POZZA et al., 2007). Esse aumento no P disponível do solo se deve mais ao efeito de competição do H_3SiO_4 com o íon fosfato, do que ao efeito da elevação do pH, já que em estudo empregando calcário e escória de siderurgia o efeito dessas fontes sobre o pH foi praticamente o mesmo, mas escória foi mais eficiente em aumentar a disponibilidade de P do solo (PRADO; FERNANDES, 2001; PULZ et al., 2008), fato que pode ser atribuído a liberação do P adsorvido, podendo o Si tem maior energia de ligação com a argila. A aplicação de silicato finamente moído (escórias) antes da fosfatagem em solos cultivados com plantas acumuladoras de Si

é prática comercial em diversas partes do mundo visando, entre outros benefícios, a correção de acidez (elevação de pH) e a competição Si x P no solo para melhorar a disponibilidade de P às plantas (ROY et al., 1971; TISDALE et al., 1993).

Em um Latossolo foi verificada redução na retenção de P de 18% e 24%, após a aplicação de CaCO_3 e CaSiO_3 , respectivamente, além de aumento na capacidade de troca de cátions do solo (SMYTH; SANCHEZ, 1980). Após alcalinização do solo pelo CaSiO_3 há formação do H_4SiO_4 , o qual transforma-se em H_3SiO_4^- e adsorve-se aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de fosfato (H_2PO_4^-) que, desta maneira, torna-se mais disponível na solução do solo (HINGSTON et al., 1972). Assim, a aplicação de Si na cultura da batata, pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, permitindo manter o nível de produtividade com a aplicação de menores doses de P, já que tem se observado que a aplicação de Si ao solo reflete em aumento no teor de P na planta (PULZ et al., 2008; GARCIA et al., 2011).

2.6 Fósforo na planta e interação com silício.

Além do Si interagir com o P no solo, existem pesquisas demonstrando que mesmo quando a disponibilidade de P é alta, o fornecimento de Si pode ser benéfico para as plantas por afetar o metabolismo do P na planta (MA; TAKAHASHI, 1989; MA; TAKAHASHI, 1990). Pois há evidências de que um vegetal só acumula Si por necessidade metabólica ou nutricional (EMADIAN; NEWTON, 1989; BELANGER et al., 1995).

Na planta, o P encontra-se na forma inorgânica (P_i), ou não metabólica, e na forma orgânica (P_o), fazendo parte de biomoléculas (MARSOLA, 2008), sendo que na célula o P_i tende a ocorrer em maiores concentrações no vacúolo e em concentrações geralmente constantes no citoplasma (NOVAIS; SMYTH, 1999; ARAÚJO; MACHADO, 2006). Estudos que avaliam as formas de P na planta, também distinguem o P nas formas solúveis, ou seja, que são facilmente liberadas do tecido vegetal e o P nas formas insolúveis que estão fortemente ligadas as moléculas orgânicas (FURTINI NETO et al., 1998; MARSOLA, 2008). No entanto, geralmente mais de 50% do P presente nos tecidos das plantas estão na forma inorgânica (BIELESKI; FERGUSON, 1983).

Dessa forma, em situações em que há restrição na absorção de P, para manter

a concentração de P_i estável no citoplasma das células, o P_i do vacúolo é liberado para o citoplasma, para suprir as necessidades metabólicas da célula (BIELESKI; FERGUSON, 1983; RAUSCH; BUCHER, 2002). Assim, dependendo da disponibilidade de P para a planta, as concentrações de P_i na planta variam bastante, enquanto as concentrações de P_o apresentam pequena variação (FABRES et al., 1987; MA; TAKAHASHI, 1990). No entanto, altas concentrações de P_i na planta podem inibir a reação de certas enzimas e criar pressão osmótica anormal nas células, entre outros fatores (YONEYAMA, 1988; MA; TAKAHASHI, 1990). Dessa forma, quando o P é fornecido em altas doses pode haver aumento excessivo nas concentrações de P_i na planta (MA; TAKAHASHI, 1989; MA; TAKAHASHI, 1990), podendo inclusive afetar o crescimento (MA; TAKAHASHI, 1990). Nessas condições, a aplicação de Si pode melhorar a eficiência de uso do P absorvido (MA; TAKAHASHI, 1989; MA; TAKAHASHI, 1990).

Embora o Si ainda não seja considerado fisiologicamente essencial para o crescimento das plantas, o uso de produtos à base de Si tem aumentado nos últimos anos (GARCIA et al., 2011), devido principalmente aos benefícios que o Si tem proporcionado, especialmente em espécies gramíneas consideradas acumuladoras (MA, 2004; ZHU et al., 2004; MA; YAMAJI, 2006). Sabendo de sua importância para as plantas, a ação benéfica do Si no crescimento, desenvolvimento, produção e resistência aos estresses bióticos e abióticos vem sendo estudada amplamente (MENZIES et al., 1992; KAY et al., 1998; WANG, GALLET, 1998; MA, 2004; ZHU et al., 2004; GONG et al., 2005; GUNES et al., 2007a; 2008a, b; HATTORI et al., 2005; 2008; BUCK et al., 2008; PULZ et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2009; PILON et al., 2014). Além disso, devido ao acúmulo de Si na epiderme das folhas, o elemento é capaz de ativar genes envolvidos na produção de compostos secundários do metabolismo, como polifenóis e enzimas relacionadas aos mecanismos de defesa das plantas, como as enzimas reativas de oxigênio (ERO) (GRATÃO et al., 2005).

Porém, plantas dicotiledôneas, consideradas não acumuladoras, como tomate (LANA et al., 2003), pepino (LIANG et al., 2005), café (REIS et al., 2008), grão-de-bico (GUNES et al., 2007b), girassol (GUNES et al., 2008a), morango (CARRÉ-MISSIO et al., 2010) e tremoço (ABDALLA, 2011), também têm respondido positivamente a aplicação de Si. Com base na relação Si: Ca, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, quando essa relação for maior que 1,0; intermediárias, entre 0,5 e 1,0; e não acumuladoras, quando menor que 0,5 (MA et al., 2001).

Pelo fato da batata ser considerada uma planta não acumuladora de Si (MARSCHNER, 1995), estudos recentes têm demonstrado que o fornecimento de Si a essa cultura promove diversos benefícios (PULZ et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2009; PILON, 2013; 2014), inclusive quando o Si é fornecido através de pulverização foliar (SORATTO et al., 2012). O fornecimento de Si via adubação foliar poderia facilitar o acúmulo deste elemento na parte aérea, pois o mesmo é pouco móvel no interior das plantas, concentrando-se principalmente nos tecidos de suporte/sustentação do caule, nas folhas e, em menores concentrações, nas raízes (KORNDORFER, DATNOFF, 2000), podendo proporcionar benefícios em função desse acúmulo. Soratto et al. (2019), apesar de terem observado efeito da aplicação de Si via solo nos tubérculos e na eficiência de uso do P da cultura da batata, observaram alteração no metabolismo do P na batateira com o fornecimento de Si, promovendo aumento no teor de P inorgânico nas folhas e acúmulo de P orgânico nos tubérculos.

Dessa forma, além do benefício de melhorar a disponibilidade de P no solo (PULZ et al., 2008; GARCIA et al., 2011), o Si provavelmente desempenha algum papel nutricional na cultura da batata, pois foi observado que a aplicação de Si via foliar na forma de ácido silícico estabilizado, aumentou a produtividade e o teor de MS dos tubérculos da batateira (SORATTO et al., 2012). Esses resultados indicam que há a possibilidade de reduzir a adubação fosfatada na cultura da batata por meio do fornecimento de Si, sem comprometer a produtividade de tubérculos. Com isso, poderá haver redução de custos e de risco ambiental, além da melhoria na qualidade da batata produzida, já que o fornecimento de Si via solo ou via foliar tem promovido maior massa média e/ou teor de MS nos tubérculos (CRUSCIOL et al., 2009; SORATTO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três experimentos em condições de campo, sendo um em 2014 e os outros dois em 2015, em solos com baixo e médio teores de P, sendo considerados baixos ($<25 \text{ mg dm}^{-3}$) e médio ($25 \text{ a } 60 \text{ mg dm}^{-3}$) (LORENZI et al., 1997). Nos três experimentos foi utilizada a cultivar Agata, a mais cultivada no Brasil.

3.1 Caracterização das áreas experimentais

Com o intuito de escolher as áreas a serem implantados os experimentos, foram coletadas e analisadas amostras de solo na camada de 0,0 - 0,20 m de profundidade para determinação dos teores de P (RAIJ et al., 2001). O experimento I (exp. I - Itaí) foi conduzido no ano de 2014, em propriedade pertencente ao Grupo Ioshida, localizada na região em Itaí-SP, com as seguintes coordenadas geográficas $23^{\circ}33'22'' \text{ S}$ e $49^{\circ}02'36'' \text{ W}$, e altitude média de 661 metros.

Os experimentos implantados no ano de 2015, definidos como experimento II (exp. II - Pirajú) e experimento III (exp. III - Botucatu), foram conduzidos em duas áreas distintas. O exp. II foi conduzido em propriedade arrendada pelo Grupo Ioshida, na região de Pirajú-SP, com as seguintes coordenadas geográficas $23^{\circ}09'50'' \text{ S}$ e $49^{\circ}17'47'' \text{ W}$, e altitude média de 607 metros. O exp. III foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu, em Botucatu-SP, com as seguintes coordenadas geográficas $22^{\circ}51'12'' \text{ S}$; $48^{\circ}26'08'' \text{ W}$ e altitude média de 740 metros. A precipitação pluvial e as temperaturas máximas e mínimas registradas durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

Antes da instalação dos experimentos novamente foram coletadas amostras de solo na camada de 0-0,20 m, sendo estas coletas no local "exato" de implantação de cada experimento, para determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001) e granulométricas do solo (EMBRAPA, 1997), cujo os resultados encontram-se na Tabela 1. Os solos dos três locais apresentavam textura argilosa. O solo no qual foi conduzido o exp. I apresentava teor de P considerado médio, enquanto os solos onde foram implantados os exp. II e III apresentavam teores de P considerados baixos.

Figura 1 – Precipitação (■), irrigação (▮), temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas nas áreas durante a condução dos experimentos. (a) Exp. I – Itaí-SP, 2014; (b) Exp. II - Pirajú-SP, 2015; (c) Exp. III – Botucatu-SP, 2015.

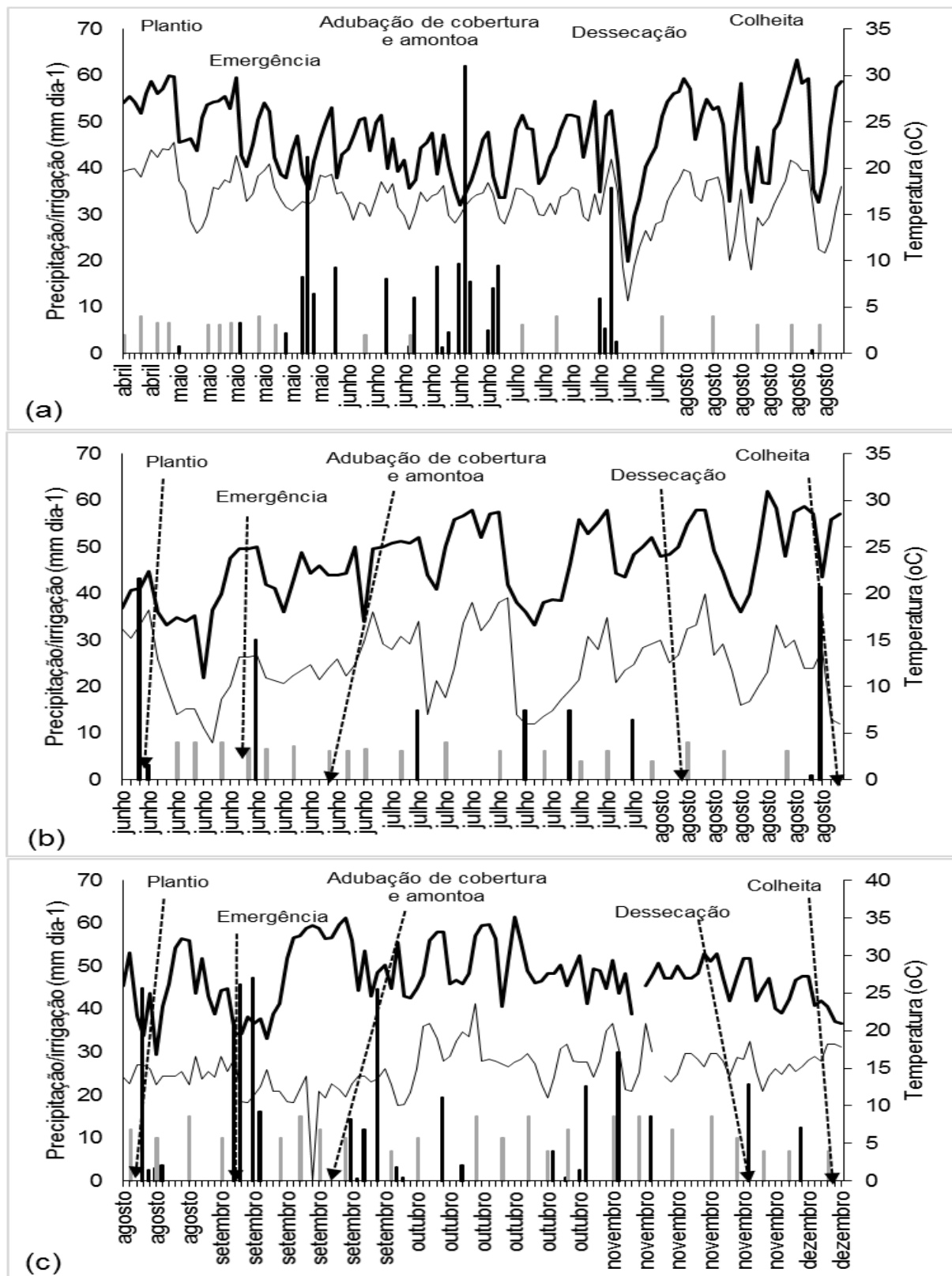


Tabela 1 – Características químicas e granulométricas dos solos das áreas experimentais, na profundidade de 0 a 0,20 m. Média de seis repetições.

Característica	Exp. I (Itaí)	Exp. II (Pirajú)	Exp. III (Botucatu)
pH(CaCl ₂)	4,8	5,1	5,2
M.O. (g dm ⁻³)	32	38	25
P(resina) (mg dm⁻³)	28	19	9
K (mmol _c dm ⁻³)	1,6	3,0	6,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	36	44	48
Mg (mmol _c dm ⁻³)	8	15	22
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	48	43	39
Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³)	1,5	0	0
CTC (mmol _c dm ⁻³)	93	105	116
V (%)	50	59	66
S (mg dm ⁻³)	114	17	6
B (mg dm ⁻³)	0,25	0,43	0,22
Cu (mg dm ⁻³)	3,4	5,3	9,3
Fe (mg dm ⁻³)	16	20	18
Mn (mg dm ⁻³)	4,8	5,8	26,2
Zn (mg dm ⁻³)	1,2	0,9	1,7
Areia (g kg ⁻¹)	291	286	237
Silte (g kg ⁻¹)	182	132	111
Argila (g kg ⁻¹)	527	582	652

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de quatro doses de P (0, 125, 250 e 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo) combinados com três tratamentos de Si solúvel (300 kg ha⁻¹ de Si aplicados no sulco de plantio na forma do produto Fertilisilica[®], 16 g ha⁻¹ de Si aplicados via foliar na forma do produto Silamol[®] dividido em quatro aplicações e a ausência da aplicação de Si).

O fornecimento de Si via solo foi realizado com a aplicação do produto Fertilisilica[®] (22,4% de Si solúvel (SiO₂.H₂O) PQ Silicas Brasil Ltda, São Paulo, Brasil), disponível na forma de pó. O fornecimento via foliar foi realizado mediante quatro aplicações do produto Silamol[®] (0,8% de Si solúvel como um concentrado estabilizado de ácido silícico, que forma ácido ortossilícico [Si(OH)₄] e ácido dissilícico quando diluído, 48% de PEG400, Bioquick Tecnologia Imp. e Exp. de Prod. Agropecuários

Ltda, Cotia, SP), disponível na forma líquida. As pulverizações foram realizadas em intervalos de aproximadamente 15 dias, com as mesmas doses (Tabela 2).

Cada unidade experimental foi constituída por cinco fileiras de 5 m de comprimento. Para as avaliações foram consideradas as linhas centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental.

3.3 Caracterização da cultivar

A cultivar Agata (boh52/72 x Sirco) é originária da Holanda. Apresenta uma alta produtividade de tubérculos, porém, com uma percentagem muito baixa de MS, tendo como uma das suas características maturação precoce. As plantas possuem hastes finas e moderadamente finas, com tubérculos ovais; casca amarela e predominantemente lisa, polpa de cor amarelo-claro e olhos superficiais. Os tubérculos apresentam polpa bastante consistente e firme quando cozida, sendo recomendados para o consumo na forma cozida ou assada. É um material susceptível à requeima das folhas (*Phytophthora infestans*), razoavelmente resistente ao vírus Yn, imune ao cancro e resistente ao patótipo A da *Globodera rostochiensis* (nematóide dourado) (NIVAP, 2007; ABBA, 2009).

3.4 Instalação e condução dos experimentos

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, de acordo com as recomendações para a cultura na região e critérios adotados pelo produtor. Para os três experimentos o preparo de solo foi realizado com as seguintes operações: duas gradagens pesadas, escarificação e uma gradagem leve as vésperas do plantio. No exp. I - Itaí, foi realizada aplicação de corretivos (2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1.450 kg ha⁻¹ de gesso agrícola), por ocasião do preparo do solo e, medida adotada pelo produtor em área total, conseqüentemente, depois antes da coleta de solo para determinação das características químicas (Tabela 1).

Para realização dos plantios (Tabela 2), os sulcos foram abertos mecanicamente, com sulcadora-plantadora de batata, no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e aproximadamente 25 cm de profundidade (Figura 2A). Em seguida, para os experimentos I, II e III, foi feito a adubação de plantio no sulco com dose 90

kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio (20% de N), e de 220 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O), seguindo os mesmos padrões utilizados pelo produtor. A adubação com P foi aplicada no sulco de plantio, de acordo com cada tratamento, como descrito no item 3.2. O Si (Fertisilica[®]) também foi aplicado no sulco de plantio de acordo com a dose estabelecidas referente ao tratamento no item 3.2. Em seguida os fertilizantes foram incorporados ao solo no fundo do sulco, com auxílio de enxada, para evitar o contato direto com os tubérculos-semente (Figura 2B).

Tabela 2 – Cronograma das atividades realizadas nos três experimentos.

Atividade	Exp. I (Itaí)			Exp. II (Pirajú)			Exp. III (Botucatu)		
	Data	DAP ¹	DAE ²	Data	DAP ¹	DAE ²	Data	DAP ¹	DAE ²
Plantio	25/04	-	-	03/06	-	-	21/08	-	-
Emergência	15/05	20	-	24/06	21	-	11/09	21	-
Cobertura	21/05	26	06	28/06	25	04	22/09	32	11
Amontoa	21/05	26	06	28/06	25	04	22/09	32	11
1ª aplic. Si foliar	02/06	38	18	14/07	41	20	30/09	40	19
2ª aplic. Si foliar	13/06	49	29	23/07	50	29	09/10	49	28
Col. de folha	18/06	54	34	29/07	56	35	16/09	56	35
3ª aplic. Si foliar	27/06	63	43	06/08	64	43	23/10	63	42
4ª aplic. Si foliar	09/07	75	55	18/08	76	55	04/11	75	54
Extração	28/07	94	74	09/09	98	77	26/11	97	76
Dessecação	01/08	98	78	09/09	98	75	27/11	98	77
Colheita	18/08	115	95	21/09	110	89	09/12	110	89

¹DAP: dias após o plantio; ²DAE: dias após a emergência.

Figura 2 – (A) Abertura do sulco com a plantadora-sulcadora de batata. (B) Distribuição dos fertilizantes, dos tratamentos (P e Si) e incorporação dos mesmos.

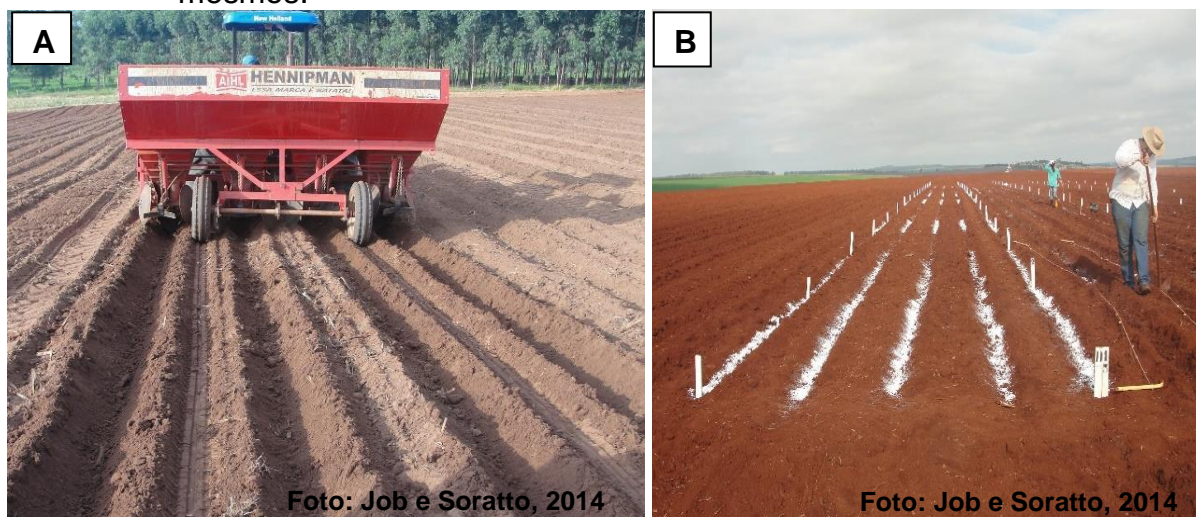
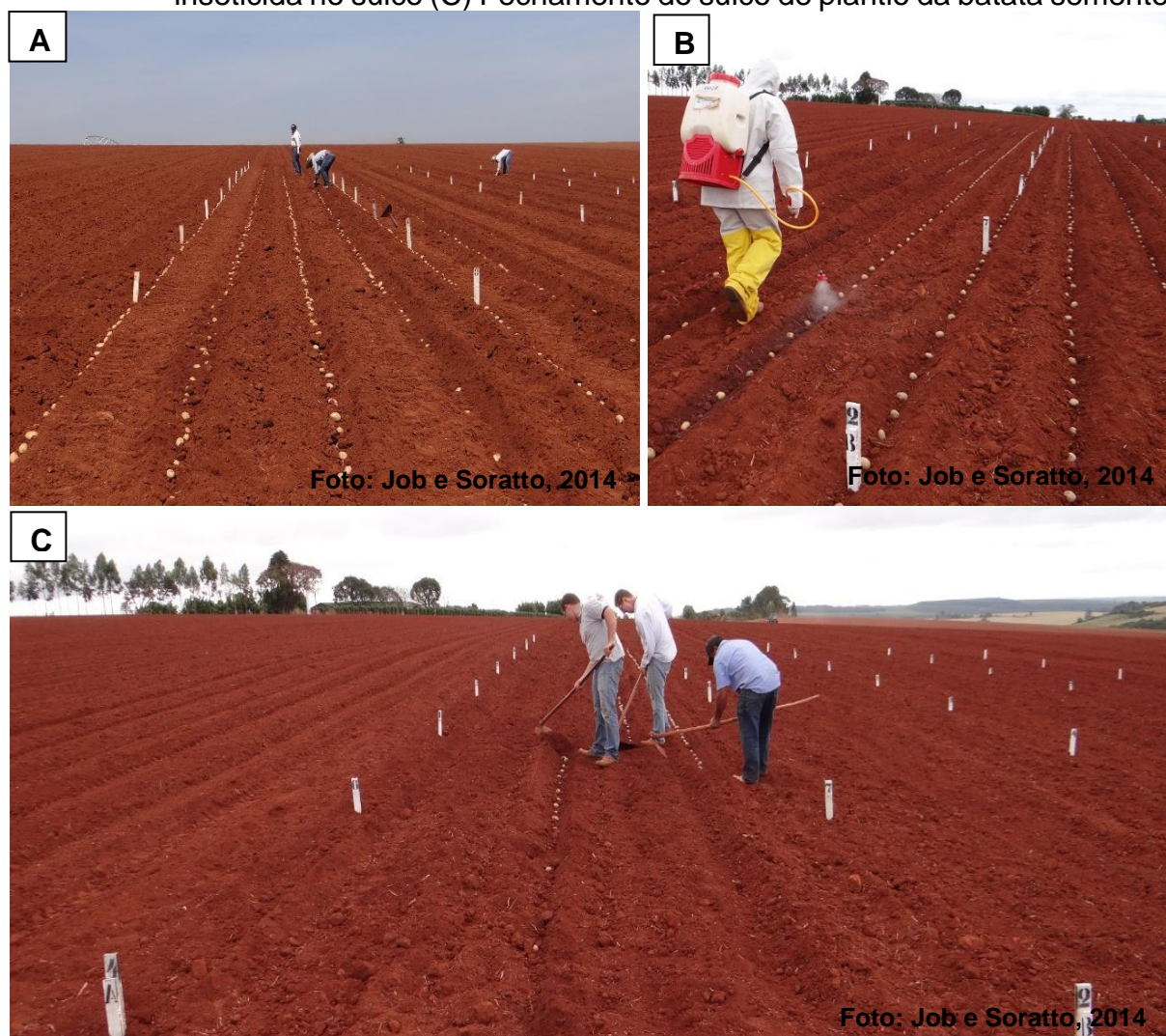


Foto: Job e Soratto, 2014

Foto: Job e Soratto, 2014

Após a distribuição e incorporação dos fertilizantes no sulco de plantio, foi realizada a distribuição dos tubérculos-sementes manualmente no espaçamento de 0,30 m entre si, utilizando-se tubérculos-semente certificados, tipo III (diâmetro entre 30 e 40 mm) da cultivar Agata (Figura 3A). Posteriormente, foram pulverizados nos sulcos de plantio os fungicidas boscalida, na dose de 112,5 g i.a. ha⁻¹ e metiram+piraclostrobina, na dose 2200g + 200g i.a. ha⁻¹ e o inseticida tiametoxam, na dose de 155,5 g i.a. ha⁻¹, para os três experimentos, em seguida os sulcos foram fechados manualmente com auxílio de uma enxada (Figura 3B e 3C).

Figura 3 – (A) Distribuição dos tubérculos-semente. (B) Aplicação de fungicida e inseticida no sulco (C) Fechamento do sulco de plantio da batata semente.



A emergência das plântulas, nos três experimentos, ocorreu entre 20 e 21 dias após o plantio (DAP) (Tabela 2). Aos 26, 25 e 32 (DAP), respectivamente, para o Exp I – Itaí, Exp II – Pirajú e Exp.III – Botucatu, foi feita a adubação de cobertura realizada

com a dose de 45 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato (30%N) e 43 kg ha⁻¹ K₂O aplicado na forma de KCl, para os experimentos I e II, seguindo o padrão utilizado pelo produtor. Na sequência a adubação de cobertura foi realizada a operação de amontoa (Tabela 2) (Figura 4A e 4B).

Figura 4 – (A) Operação da amontoa após a aplicação da cobertura. (B) Área após realizado a amontoa.



A irrigação no exp. I - Itaí foi realizada por sistema de aspersão (tipo canhão), no exp. II - Pirajú foi realizado por sistema de aspersão do tipo pivô central. Já no exp. III - Botucatu, a irrigação foi feita por sistemas de aspersão, com auxílio de moto bomba e regulador de pressão, com vazão constante. A aplicação de água via irrigação foi definida de acordo com as recomendações técnicas para a cultura na região e critérios adotados pelo produtor, visando atender as necessidades hídricas do sistema solo-planta, durante todo o ciclo da cultura. As quantidades de água aplicadas ao longo do ciclo da cultura via irrigação e precipitação encontram-se na Figura 1.

Nos exp. I - Itaí e exp. II - Pirajú, o controle fitossanitário foi realizado segundo recomendações técnicas para a cultura e critérios adotados pelo produtor, utilizando-se produtos recomendados para a cultura da batata (Tabelas 3 e 4). No exp. III - Botucatu, o controle fitossanitário foi realizado segundo recomendações técnicas para a cultura, utilizando-se produtos recomendados para a cultura da batata (Tabela 5).

A dessecação das plantas, nos três experimentos, foi realizada com o herbicida diquat (372 g do i.a. ha⁻¹), nas datas indicadas (Tabela 2). A colheita, dependendo do experimento, foi realizada entre 89 e 95 dias após a emergência (DAE). Cerca de 15

dias após dessecação, foi feita a colheita dos tubérculos na área útil de cada parcela para posterior avaliação.

Tabela 3 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento I, localizado no município de Itai-SP.

Época de aplicação DAP ⁽¹⁾	Ingrediente ativo	Dose (g do i.a. ha ⁻¹)
21	Cloridrato de cartape	230,0
	Tiametoxam+ lambda-cialotrina	19,7 + 14,8
	Clorotalonil	662,4
23	Metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1589,5 + 144,5
	Tiametoxam	155,0
	Boscalide	125,0
32	Acefato	622,5
	Cloridrato de propamocarbe+fenamidona	1500,0+300,0
	Clorotalonil	662,4
37	Parationa-metílica	373,5
	Cloridrato de propamocarbe+fluopicolide	862,5+86,2
	Tiametoxam+ lambda-cialotrina	67,6+50,8
40	Parationa-metílica	495,0
	Parationa-metílica	445,5
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1.079,0
44	Metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1639,0+149,0
	Parationa-metílica	495,0
	Acefato	662,4
47	Clorotalonil+dimetomorfe	264,0+48
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
	Teflubenzurom	42,0
52	Parationa-metílica	297,0
	Clorotalonil	1029,6
	Beta-Cipermetrina	25,0
56	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
	Parationa-metílica	297,0
	Boscalida	75,0
62	Metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1639,0+149,0
	Espinosade	62,4
	Parationa-metílica	346,5
75	Clorotalonil	1108,8
	Tiametoxam +lambda-cialotrina	35,2+26,5
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
84	Boscalida	65,0
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
	Metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1639,0+149,0
91	Parationa-metílica	346,5
	Cclorotalonil	1108,8
	Parationa-metílica	346,5
98	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
	Clorotalonil	1108,8
	Tiametoxam +lambda-cialotrina	35,2+26,5
	Clorpirifós	495,0

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Fungicida contendo Zn, ⁽³⁾Fungicida contendo Cu.

Tabela 4 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento II, localizado no município de Pirajú-SP.

Época de aplicação	Ingrediente ativo	Dose
DAP ⁽¹⁾		(g do i.a. ha ⁻¹)
22	Clorotalonil	192,2
	Tiametoxam	155
26	Metiram+piraclostrobina	1.589,5+144,5
	Benalaxil+clorotalonil	82,4+412
32	Clorpirifos	931,5
	Clorotalonil	750
36	Paration-metílico	225
	Metalaxil-M+mancozebe ⁽²⁾	1331,2+83,2
	Parationa-metílica	445,5
42	Clorotalonil	1.029,0
	Espinosade	48,0
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
49	Teflubenzurom	42,0
	Parationa-metílica	297,0
	Clorotalonil	1029,6
	Parationa-metílica	297,0
54	Boscalida	75,0
	Metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1639,0+149,0
	Espinosade	62,4
	Parationa-metílica	346,5
62	Clorotalonil	1108,8
	Tiametoxam +lambda-cialotrina	35,2+26,5
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
	Clorotalonil	750
69	Paration-metílico	225
	Metalaxil-M+mancozebe ⁽²⁾	1.331,2+83,2
	Clorotalonil	1108,8
75	Tiametoxam +lambda-cialotrina	35,2+26,5
	Fentoato	480,0
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1079,0
80	Paration-metílico	180
	Metalaxil-M	100
88	Lambda-cialotrina+ tiametoxam	31,8+42,3
	Teflubenzurom	25,5
91	Clorpirifós	495,0
96	Paration-metílico	180

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Fungicida contendo Zn, ⁽³⁾Fungicida contendo Cu.

Tabela 5 – Tratamento fitossanitário empregado no experimento III, localizado no município de Botucatu-SP.

Época da aplicação	Ingrediente ativo	Dose do produto (g do i. a. ha ⁻¹ .)
DAP ⁽¹⁾		
23	Paration-metílico	270
28	Clorotalonil	415
	Paration-metílico	36
34	Tiametoxam	155
	Metiram+piraclostrobina	1.589,5+144,5
38	Clorpirifos	931,5
	Clorotalonil	665
44	Paration-metílico	301,5
	Fluopicolide+cloridrato de Propamocarbe	83,1+831,2
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	672
51	Paration-metílico	180
	Azoxistrobina+difenoconazol	800+328
60	Dimetomorfe	200
	Tiametoxam	30
	Metiram+piraclostrobina	1.578+143
	Clorotalonil	700
66	Fluopicolide+cloridrato de Propamocarbe	87,5+875
	Clorotalonil	750
74	Paration-metílico	225
	Clofenapir	120
	Metalaxil-M+mancozebe ⁽²⁾	83,2+1331
	Clorotalonil	750
82	Paration-metílico	225
	Oxicloreto de cobre ⁽³⁾	672
	Metalaxil-M	100
91	Lambda-cialotrina+ tiametoxam	31,8+42,3
98	Paration-metílico	180

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Fungicida contendo Zn, ⁽³⁾Fungicida contendo Cu.

3.5 Avaliações

3.5.1 Diagnose foliar

Nas datas indicadas na Tabela 2, foram realizadas amostragens de folhas (terceira folha a partir do tufo apical), de acordo com Lorenzi et al. (1997). O material coletado foi lavado, secado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h,

e moído em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Após isso, o material foi submetido às determinações dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S e Zn), segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) e os teores de Si pelo método proposto por Korndörfer et al. (2004).

3.5.2 Acúmulo de matéria seca e extração de P e Si

Para determinar o acúmulo de massa de MS e a extração P e Si, foram coletadas cinco plantas na área útil de cada parcela experimental no final do ciclo (antes da dessecação), pois, é quando as plantas atingem o acúmulo máximo de MS e de nutrientes (FERNANDES et al., 2010; FERNANDES et al., 2011). Após colhidas, as plantas foram lavadas em água de torneira e água deionizada, separadas em parte aérea, raízes e tubérculos e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h atingindo peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinação da MS e moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Desta porção triturada foi utilizada para a determinação dos teores de P (MALAVOLTA et al., 1997) e Si (KORNDÖRFER et al., 2004).

As quantidades de P e Si acumuladas nas raízes, parte aérea e tubérculos foram estimadas multiplicando-se o teor desses nutrientes pela quantidade de MS acumulada. As quantidades de P e Si acumuladas na planta inteira foram determinadas pela soma das quantidades dos nutrientes obtidas em todas as partes da planta.

3.5.3 Número por planta, peso médio, produtividade e classificação dos tubérculos em total e especial

Nos três experimentos, na data da colheita (Tabela 2), foram coletados os tubérculos de quinze plantas da área útil de cada unidade experimental. Os tubérculos colhidos foram lavados, contados e classificados segundo o diâmetro, para a classe especial ou “graúda” (tubérculos com diâmetro maior que 45 mm).

Após classificados, os tubérculos foram pesados para determinação do peso médio, da produtividade total e produtividade de tubérculos da classe especial.

3.5.4 Porcentagem de matéria seca e exportação de P e Si pelos tubérculos

Dos tubérculos obtidos na colheita final (Tabela 2) retirou-se uma amostra de tubérculos de cada tratamento (proporcional entre todas as classes). As amostras foram lavadas, pesadas (massa fresca), fatiadas, secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 h, e pesadas novamente para a determinação da MS. A porcentagem de MS dos tubérculos foi obtida pela relação entre massa fresca e massa seca das amostras. As amostras utilizadas para determinação da MS dos tubérculos foram moídas e submetidas à análise dos teores de nutrientes P (MALAVOLTA et al., 1997) e Si (KORNDÖRFER et al., 2004).

A exportação dos nutrientes foi estimada mediante a multiplicação dos teores de cada nutriente pela MS dos tubérculos colhidos, sendo os dados expressos em quantidade de nutrientes exportada por área.

3.5.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta. As médias dos experimentos e dos tratamentos de Si foram comparadas pelo teste t (DMS), a 5% de probabilidade. Os efeitos da adubação fosfatada foram avaliados por meio de análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnose foliar

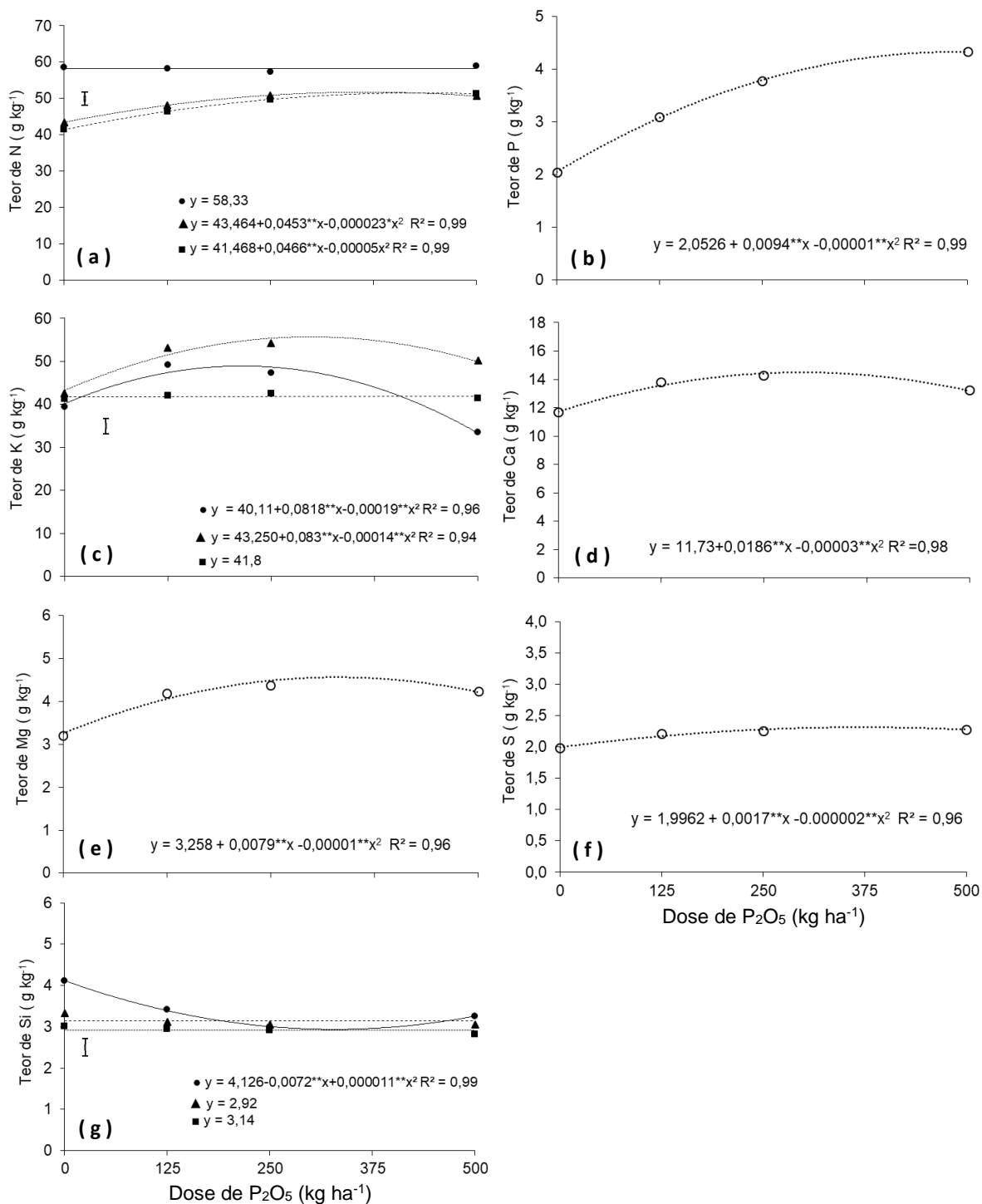
A interação experimento x dose de P afetaram o teor de N na folha diagnose da batateira (Tabela 6). Os maiores teores de N ocorreram no exp. I (Itaí), no qual não houve efeito das doses de P (Figura 5a). Nos demais experimentos, a adubação fosfatada incrementou os teores de N até a maior dose de P_2O_5 (500 kg ha^{-1}) (Figura 5a). Na ausência da aplicação de P observa o maior valor do teor de N no exp. I - Itaí e com menor efeito das doses de P do que nos demais experimentos (Pirajú e Botucatu). Contudo, os teores de N nos exp. II - Pirajú e exp. III – Botucatu, ficaram dentro do considerado adequado para a cultura da batata que é de 40 a 50 g kg^{-1} (LORENZI et al., 1997). Já os teores para o experimento de exp. I – Itaí, ficaram acima do intervalo proposto por Lorenzi et al. (1997), mas dentro da faixa considerada adequada por Jones Júnior et al. (1991), que é de 45 a 60 g kg^{-1} (Tabela 6 e Figura 5a) e semelhante aos valores obtidos por Fernandes (2013) ($55,3 \text{ g kg}^{-1}$) em estudo com doses de P e cultivares de batata, e Martins (2017) ($57,7 \text{ g kg}^{-1}$) em estudo com doses de P e ácido Húmico.

Tabela 6 – Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Si e Zn na folha diagnose da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Zn
	(g kg ⁻¹)							(mg kg ⁻¹)
Experimento								
Exp. I (Itaí)	58,3a	3,38a	42,4b	10,2b	3,39b	2,97a	3,45a	79,2a
Exp. II (Pirajú)	48,3b	3,39a	50,0a	14,5a	4,36a	1,64c	3,14b	51,3c
Exp. III (Botucatu)	47,3b	3,17b	41,7b	14,9a	3,98b	1,94b	2,93c	55,8b
Silício								
Sem Si	50,0a	3,26a	44,9a	12,8b	4,02a	2,13a	3,13a	59,2a
Si solo	52,1a	3,39a	44,5a	13,7a	4,05a	2,22a	3,22a	63,2a
Si foliar	51,8a	3,29a	44,6a	13,2ab	4,02a	2,21a	3,16a	64,0a
Fonte de variação	(P > F)							
Experimento (E)	<0,001	0,013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (Si)	0,068	0,232	0,903	0,030	0,601	0,359	0,683	0,058
E x Si	0,696	0,212	0,956	0,992	0,345	0,915	0,344	0,950
Fósforo (P)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,211
E x P	0,005	0,500	<0,001	0,344	0,676	0,973	0,036	0,090
Si x P	0,201	0,734	0,400	0,568	0,113	0,155	0,808	0,111
E x Si x P	0,928	0,790	0,632	0,858	0,785	0,913	0,996	0,413
CV(%)	8,9	12,1	9,73	13,4	11,6	14,5	16,3	17,0

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de t ($p < 0,05$).

Figura 5. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f) e Si (g) na folha diagnose da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itai); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); (○) Média dos três experimentos; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Os teores de P na folha diagnose variaram em função do experimento e da dose de P (Tabela 6). Os maiores teores foliares de P ocorreram nos experimentos de Itaí e Pirajú (Tabela 6), o que pode estar associado aos maiores teores P(resina) encontrados no solo de 28 e 19 mg dm⁻³, respectivamente, (Tabela 1). A adubação fosfatada aumentou os teores de P na folha diagnose da batateira até a dose aproximada de 470 kg ha⁻¹, independentemente do experimento (Figura 5b) e da aplicação de Si (Tabela 6). Soratto et al. (2018) também não observaram efeito da aplicação de Si via solo no teor de P na folha da batateira, porém, verificaram maiores teores de P solúvel total, P inorgânico solúvel e P orgânico solúvel quando o Si foi fornecido na maior dose estudada (200 mg dm⁻³), equivalente a dose 400 kg ha⁻¹, dose superior a deste estudo. Em cana-de-açúcar, também foi observado que um pré-tratamento com Si não afetou a absorção de P pelas plantas, mas resultou em um efeito na estimulação da formação de P orgânico (CHEONG; CHAN, 1973).

Soratto et al. (2018) sugeriram que o aumento na concentração de P inorgânico solúvel nas folhas em resposta à aplicação de Si indica que o Si pode desempenhar um papel na manutenção do crescimento das plantas sob baixa disponibilidade de P no solo, pois o P inorgânico solúvel é a principal reserva de fosfato da planta (P não metabólico) acumulada no vacúolo das células (BIELESKI, 1973; BIELESKI; FERGUSON, 1983). Nos três experimentos (Itaí, Pirajú e Botucatu), os tratamentos com aplicação de P proporcionaram teores de P dentro da faixa (2,5 a 5,0 g kg⁻¹), considerada por Lorenzi et al. (1997) como adequada para a cultura da batata. Somente na ausência da aplicação de P, os teores médios de (2,05 g kg⁻¹) (Figura 5b), ficaram abaixo do ideal para a cultura da batata (LORENZI et al., 1997). Resultado semelhante ao obtido por Martins (2017) de 2,34 g kg⁻¹ em solos arenosos com baixo teor de P, Fernandes e Soratto (2016b) de 2,04 g kg⁻¹ em solos argilosos com baixo teor de P, ambos na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado.

Para os teores de K na folha diagnose houve efeito de experimento, dose de P e da interação experimento x dose de P (Tabela 6). A adubação fosfatada aumentou os teores de K na folha diagnose para 48,9 e 55,6 g kg⁻¹, com as doses de até 215,3 e 296,4 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, para os experimentos de exp. I - Itaí e exp. II - Pirajú, com tendência a diminuição dos teores com as maiores doses estudadas (Figura 5c), podendo estar relacionado ao efeito diluição já que plantas bem nutridas com P apresentam maior crescimento, e folíolos mais expandidos (SORATTO et al., 2017), associado a menor disponibilidade de K disponível da solução do solo para

estes dois experimentos (Tabela 1). Já para exp. III - Botucatu o teor de K na folha diagnose ($41,8 \text{ g kg}^{-1}$) não sofreu efeito das doses de P (Figura 5c). Os teores de K obtidos para os experimentos de Pirajú e Botucatu ficaram dentro ou acima da faixa (40 a 50 g kg^{-1}) considerada como adequada para a cultura da batata (LORENZI et al. 1997).

Já no experimento de Itaí, na maior dose de P_2O_5 (500 kg ha^{-1}) o teor de K ficou abaixo do intervalo considerado como adequado para a cultura da batata, provavelmente por se tratar de um solo com baixo teor de K trocável (Tabela 1), provavelmente a dose de K_2O utilizada não supriu a planta para manter os teores de K, na mesma proporção que o efeito de diluição, uma vez que a planta de batata tem um sistema radicular curto e que explora pequeno volume de solo, limitando a absorção de K. Job (2014), em experimento conduzido em solo com características químicas de baixa disponibilidade de K na solução, semelhantes ao do exp. I - Itaí, obteve teores de K na folha diagnose da batateira abaixo do considerado ideal para cultura, somente nas dose de 344 kg ha^{-1} de K_2O , obteve o teor dentro da faixa ideal.

O teor de Ca na folha diagnose foi influenciado pelo apenas pelo efeito isolado do local (experimento), doses de P e aplicação de Si (Tabela 6). Os maiores teores foliares de Ca de $14,5$ e $14,9 \text{ g kg}^{-1}$ não diferindo significativamente entre si, ocorreram nos experimentos de Pirajú e Botucatu, respectivamente, (Tabela 6); podendo estar relacionado aos maiores teores Ca disponíveis no solo Pirajú ($44 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Botucatu ($48 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1). No experimento de Itaí o teor de Ca foi menor $10,2 \text{ g kg}^{-1}$, diferindo significativamente dos demais (Tabela 6). A adubação fosfatada aumentou os teores de Ca na folha diagnose em $14,6 \text{ g kg}^{-1}$ nos três experimentos, até a dose estimada de 310 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 5d). Com a maior dose de P estudada foi observada tendência de diminuição nos teores de Ca na folha diagnose, porém, os valores obtidos nos experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu permaneceram dentro da faixa de 10 a 20 g kg^{-1} , considerada adequada para a cultura da batata por Lorenzi et al. (1997).

Martins (2017), também observou aumento no teor de Ca na folha da batateira até as doses de 250 e 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente, para solo argiloso e arenoso. Já Fernandes (2013), observou aumento nos teores de Ca na folha diagnose com o aumento da dose de P, para solos com baixa disponibilidade de P, com dose acima de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e também observou diminuição do teor de Ca na folha diagnose com a maior dose. A aplicação de Si via solo proporcionou teor de Ca na

folha da batateira significativamente maior do que no tratamento sem aplicação de Si (Tabela 6). Resultado esse contraditório ao observado por Pilon et al. (2013), os quais não verificaram efeito da aplicação de Si via solo ou foliar no teor de Ca na folha da batateira.

Os teores de Mg e S na folha diagnose variaram apenas em função do experimento e da dose de P (Tabela 6). O maior teor foliar de Mg ($4,36 \text{ g kg}^{-1}$), ocorreu no experimento de Pirajú (Tabela 6), diferenciando significativamente dos demais, podendo estar relacionado ao melhor equilíbrio no solo entre o Mg e as demais bases (Ca e K) que nos demais experimentos (Tabela 1). Para S, o maior teor foliar ($2,97 \text{ g kg}^{-1}$), ocorreu no experimento de Itaí (Tabela 6), fato que pode estar associado a aplicação de 1.450 kg ha^{-1} de gesso agrícola na área em que foi instalado o experimento I - Itaí (item 3.4), uma vez que é comum a utilização de gesso como fonte de S em sistema de produção agrícola, por ter 15% de S em sua composição. Na média dos experimentos a adubação fosfatada promoveu aumento no teor de Mg na folha diagnose em ($4,8 \text{ g kg}^{-1}$) com a dose estimada de 395 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 5e). Contudo, os valores obtidos encontram dentro da faixa ($3,0$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$), considerada por Lorenzi et al. (1997) adequada para a batateira.

Fernandes (2013), também obteve maiores teores foliares de Mg com doses de P_2O_5 semelhantes ao deste estudo. Esses resultados, provavelmente deve-se ao fato de que o Mg participa das reações de transferência de energia nas células (MARSCHNER, 1995), atuando como ativador de enzimas quinases e ativando a maioria das reações, envolvendo transferência de fosfato (FAGERIA, 2001), assim com o aumento na absorção de P (Figura 5b), aumenta-se a demanda por Mg. Para S, o aumento no teor foliar para $2,4 \text{ g kg}^{-1}$, se deu até a dose estimada de 425 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 5f), em média para os três experimentos. Apesar de ocorrer aumento nos teores de S na folha diagnose, somente o experimento de Itaí ficou dentro da faixa de $2,5$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, considerada adequada para a cultura da batata (LORENZI et al. 1997). Fernandes (2013), em estudo semelhante a este, observou aumento nos teores de S da folha diagnose com aumento da dose de P, mas os teores também ficaram abaixo da faixa considerada ideal para a cultura da batata.

O teor de Si na folha diagnose variou entre os experimentos, dose de P e pela interação experimento x dose de P (Tabela 6). O maior teor de Si na folha diagnose ocorreu no experimento de Itaí, na ausência da aplicação de P (Figura 5g). Contudo, com o aumento da dose de P observou-se pequena tendência a diminuição no teor

de Si na folha diagnose no experimento de Itaí, e ausência de efeito das doses de P nos demais experimentos (Pirajú e Botucatu), sendo o teor de Si. Esta redução no teor de Si no exp. I – Itaí, associado ao aumento da dose de P, pode estar relacionada ao efeito de diluição sendo causada por um possível crescimento da planta. O teor médio de Si, para os três experimentos com a aplicação de Si via solo foi de $3,22 \text{ g kg}^{-1}$. Já Crusciol et al. (2009) obtiveram teores médios de Si na folha da batateira de $4,4 \text{ g kg}^{-1}$, na presença de aplicação de Si via solo e Soratto et al. (2018) obteve valor médio de $8,4 \text{ g kg}^{-1}$.

Os teores de Zn na folha diagnose sofreu efeito apenas de experimento (Tabela 6). O maior teor de Zn na folha diagnose ocorreu no experimento de Itaí (Tabela 6), podendo estar associado a relação do teor no solo de Zn com o menor teor de K (Tabela 1). Segundo Rosolem (2005), o K exerce maior influência na interação entre o P e Zn, do que unicamente no Zn. Além disso, o K pode ter maior ou menor influência na absorção de Zn, dependendo do pH do solo ou da concentração de Ca na solução, ficando difícil a caracterização da interação (LONERAGAN; WEBB, 1993). Contudo, os teores de Zn observados nos três experimentos estavam dentro ou acima da faixa ($20 \text{ a } 60 \text{ mg kg}^{-1}$), considerada adequada para a cultura da batateira (LORENZI et. al. 1997). Fernandes (2013), estudando doses de P em cultivares de batata, também observou na cultivar Agata, que a adubação fosfatada não influenciou no teor de Zn na folha diagnose.

4.2 Quantidade de massa da matéria seca acumulada nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e total, teor de P e Si nas partes da planta da batateira e extração de P e Si.

A quantidade de MS nas raízes (MSRZ) foi afetada apenas pelo fator experimento (Tabela 7). O maior valor obtido de MSRZ ocorreu no experimento de Pirajú ($15,2 \text{ kg ha}^{-1}$) seguido de Botucatu ($13,2 \text{ kg ha}^{-1}$), e o menor valor de MSRZ foi observado no experimento de Itaí ($9,98 \text{ kg ha}^{-1}$), que pode ter tido o desenvolvimento do sistema radicular afetado pela presença de alumínio (Al) no solo (Tabela 1), e que apesar de ter sido aplicado calcário como corretivo item 3.4, o mesmo não teve tempo de reação e neutralização do Al a tempo de beneficiar a cultura, juntamente com a maior concentração de chuvas nos meses de maio (Figura 1a), propiciando um

ambiente encharcado (anaeróbico), prejudicando o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular na fase inicial da cultura (Tabela 2).

Tabela 7 – Quantidade de massa da matéria seca (MS) acumulada nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e total, antes da dessecação na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	MS das raízes	MS da parte aérea	MS de tubérculos	MS total
(kg ha ⁻¹)				
Experimento				
Exp. I (Itaí)	9,98c	815,3a	4534,9a	5360,3a
Exp. II (Pirajú)	15,2a	474,4b	4328,3a	4818,0b
Exp. III (Botucatu)	13,2b	476,3b	3951,2b	4440,7c
Silício				
Sem Si	12,4a	582,1a	4228,9b	4823,3b
Si solo	13,0a	610,6a	4524,7a	5148,4a
Si foliar	12,9a	573,5a	4060,8b	4647,3b
Fonte de variação	(P > F)			
Experimento (E)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,575	0,093	0,001	0,001
E x S	0,259	0,540	0,069	0,073
Fósforo (P)	0,108	<0,001	<0,001	<0,001
E x P	0,113	0,538	0,014	0,023
S x P	0,582	0,130	0,758	0,795
E x S x P	0,914	0,910	0,282	0,342
CV(%)	24,5	14,6	14,7	13,9

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de t ($p < 0,05$).

Já a quantidade de MS acumulada na parte aérea (MSPA) sofreu efeito de experimento e das doses de P (Tabela 7). As maiores MSPA ocorreram no exp. I – Itaí (815,3 kg ha⁻¹), diferenciando significativamente dos demais experimentos, estando este maior valor de MSPA associado ao maior teor de P disponível no solo em comparação aos demais experimentos (Tabela 1), e que apesar do maior teor de P no solo é considerado solo com teor médio, segundo Lorenzi et al. (1997).

Semelhante a este resultado foi observado por Soratto et al. (2015) e Fernandes, Soratto e Pilon (2015), que no cultivo da batata condicionada a alta e baixa disponibilidade de P no solo, o alto teor deste nutriente aumentou a produção de MS, em relação a baixa disponibilidade. A MSPA sofreu aumento até a maior dose de P₂O₅ (500 kg ha⁻¹), referente a este estudo, independentemente do experimento (Figura 6a).

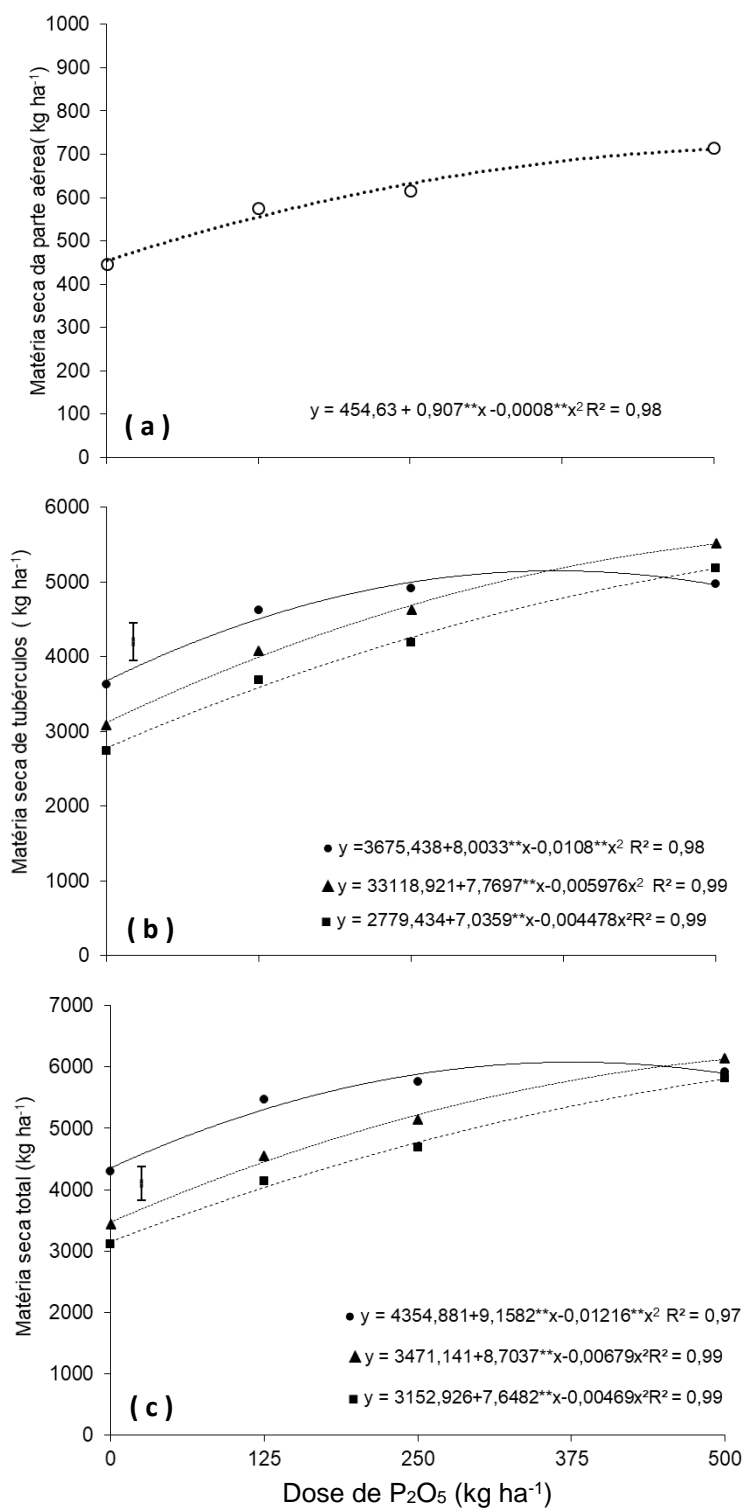
Martins (2017) e Fernandes (2013), também obtiveram aumento da massa da MS da parte aérea da batateira com aumento de doses de P até próximo das doses máxima estudada de P_2O_5 (500 e 1000 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente). Estes aumentos se devem principalmente ao aumento no número de folhas e de ramos laterais, comprimento médio e área foliar da batateira promovido pela adubação fosfatada (FLEISHER et al., 2013). Já a aplicação de Si não influenciou a MSPA da batateira (Tabela 7).

Para a quantidade de MS acumulada nos tubérculos (MSTB) e total (MSTT) ocorreu efeito do experimento, da aplicação de Si, da dose de P e a interação experimento x dose de P (Tabela 7). No experimento de Itaí, as maiores MSTB (5158 $kg\ ha^{-1}$) e MSTT (6079 $kg\ ha^{-1}$) ocorreram com as doses estimadas de 371 e 376 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente (Figura 6b e 6c). Nos demais experimentos, a adubação fosfatada aumentou os valores de MSTB e MSTT até a maior dose de P estudada. Alvarez-Sánchez et al. (1999) obtiveram acúmulos máximos de MSTB e MSTT da batateira cultivada em solo com baixa disponibilidade de P mediante a aplicação de 480 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , resultados semelhantes à deste estudo.

Assim como Fernandes e Soratto (2016a; 2016b), em solos com baixa disponibilidade de P também obtiveram a máxima produção de MSTB e MSTT até a 500 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , ou seja, resultados com doses semelhantes as observadas neste estudo. Já Martins (2017), em estudo com dose de P em solos argilosos, obteve aumento na MS de tubérculos e total até a dose aproximada de 300 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Assim como aumentos no acúmulo de MS de plantas de batata e de tubérculos submetidas a doses crescentes de fertilizante fosfatado, também foram obtidos por outros autores em condições de campo (ALI; ANJUM, 2004b; FERNANDES, 2013; MARTINS, 2017) e casa de vegetação (BALEMI; SCHENK, 2009; FERNANDES, 2013; MARTINS, 2017).

O P é componente de moléculas como ácidos nucleicos, fosfolipídios e ATP e, conseqüentemente, as plantas não podem crescer sem o fornecimento adequado deste nutriente (THEODOROU; PLAXTON, 1993; SCHACHTMAN; REID; AYLING, 1998).

Figura 6. Quantidade de massa da matéria seca acumulada na arte aérea (a), nos tubérculos (b) e total (c), antes da dessecação na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); (○) Média dos três experimentos; * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

O teor de P nas raízes da batateira variou apenas entre os experimentos (Tabela 8). Os maiores teores de P nas raízes da batateira ocorreu no experimento de Itaí, seguido de Pirajú e Botucatu com o menor teor de P, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si. Estes resultados estão diretamente associados aos teores P (resina) encontrados no solo que seguem a mesma ordem com relação a disponibilidade (Tabela 1). Já Fernandes (2013), observou aumento no teor de P nas raízes com aumento da adubação fosfatada em seu estudo com batata, na cultivar Agata. Contudo, como o sistema radicular das plantas provavelmente explorou volume de solo maior que aquele fertilizado pela adubação fosfatada aplicada no sulco, a disponibilidade de P no solo teve maior efeito no teor de P nas raízes que as doses de P aplicadas via adubação.

Tabela 8 – Teores de P nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e quantidade total de P acumulada pela cultura da batata antes da dessecação em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	P nas raízes	P na parte aérea	P nos tubérculos	Quantidade de P acumulada
				(kg ha ⁻¹)
————— (g kg ⁻¹) —————				
Experimento				
Exp. I (Itaí)	1,83a	2,03b	3,39a	18,8a
Exp. II (Pirajú)	1,60b	2,24a	3,22a	15,3b
Exp. III (Botucatu)	1,42c	2,33a	2,89b	12,9c
Silício				
Sem Si	1,66a	2,15a	3,20a	15,8ab
Si solo	1,61a	2,27a	3,15a	16,5a
Si foliar	1,59a	2,17a	3,14a	14,8b
Fonte de variação	(P > F)			
Experimento (E)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,303	0,215	0,778	0,014
E x S	0,999	0,744	0,216	0,743
Fósforo (P)	0,135	<0,001	<0,001	<0,001
E x P	0,999	0,007	0,009	<0,001
S x P	0,169	0,955	0,793	0,807
E x S x P	0,999	0,974	0,996	0,893
CV(%)	14,2	15,7	14,2	17,3

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

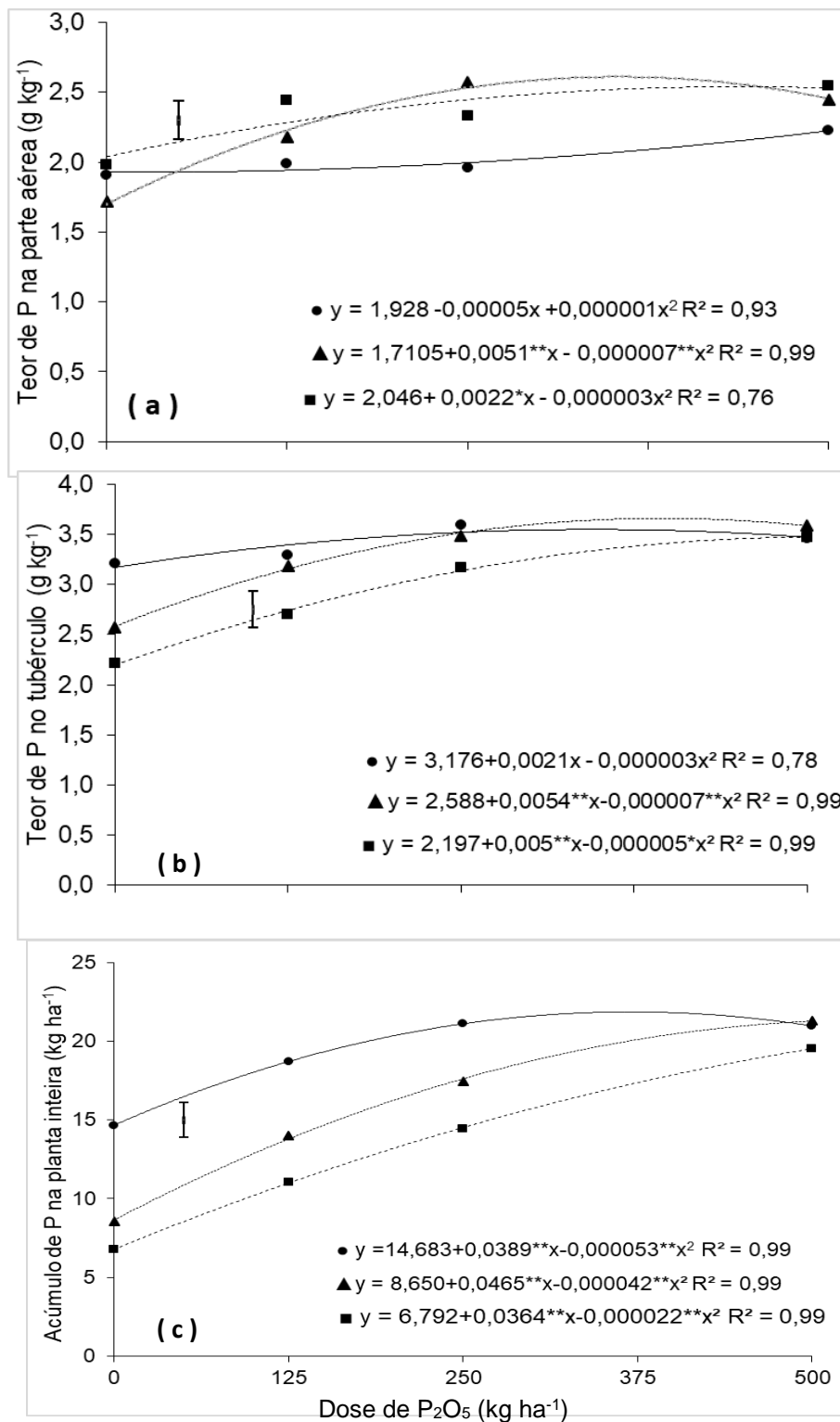
Para os teores de P na parte aérea e tubérculos houve efeitos de experimento, da dose de P e da interação exp. X dose de P (Tabela 8). Na parte aérea, os teores de P foram incrementados mais expressivamente no exp. II – Pirajú, com aumentos

para $2,6 \text{ g kg}^{-1}$, até a dose estimada de 364 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 7a). No exp. III (Botucatu), o teor de P na parte aérea foi incrementada para $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ até a dose estimada de 367 kg ha^{-1} de P_2O_5 , já no exp. I – Itaí, houve pequeno aumento do teor de P na parte aérea até a maior dose estudada (500 kg ha^{-1} de P_2O_5), porém de forma menos expressiva do que nos demais experimentos (Figura 7a), provavelmente associado ao efeito de diluição por consequência da maior MSPA (Tabela 7).

Para os teores de P nos tubérculos, as doses de P aumentou os valores em nos três experimentos (Figura 7b), porém, com aumento dos teores até as doses de 350 e 385 kg ha^{-1} de P_2O_5 em Itaí ($3,5 \text{ g kg}^{-1}$) e Pirajú ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$), respectivamente. Já no exp. III - Botucatu, o teor de P nos tubérculos foi incrementado levemente de $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ para $3,4 \text{ g kg}^{-1}$, até a maior dose de P_2O_5 (500 kg ha^{-1}) (Figura 7b). Com exceção da presença da maior dose de P, os maiores teores de P nos tubérculos foram obtidos no exp. I – Itaí ($3,39 \text{ g kg}^{-1}$), seguido dos exp. II – Pirajú ($3,22 \text{ g kg}^{-1}$), (Tabela 8, Figura 7b), e com o menor teor o exp. III – Botucatu ($2,89 \text{ g kg}^{-1}$), contudo estes resultados estão associados a teor disponível de P no solo (Tabela 1), o que verifica-se o aumento dos teores de maneiras mais expressiva nos experimentos de Piraju e Botucatu com aumento das doses de P (Figura 7b).

Tais resultados sugerem que o P inicial do solo tem grande influência no teor de P nos tubérculos da batateira, especialmente quando não são aplicadas doses elevadas de P via adubação. Fernandes (2013), em seu estudo com doses de P e cultivares de batata, observou aumento nos teores de P da parte aérea e dos tubérculos significativamente com aumento da dose de P até doses próximas de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Da mesma forma, Soratto e Fernandes (2016a), Fernandes, Soratto e Pilon (2015) e Fernandes e Soratto (2016b) observaram aumento no teor deste nutriente na parte aérea e nos tubérculos, em cultivares de batata, com aplicação de doses crescentes de P. Isto ocorre porque o aumento no fornecimento do adubo fosfatado eleva a disponibilidade de P na solução do solo (LUZ et al., 2013; SUN; CUI; LIU, 2015; MOREIRA et al., 2016), favorecendo a absorção pelas raízes e consequentemente aumento desse nutriente em todas as partes da planta (MOREIRA et al., 2016).

Figura 7 - Teores de P na parte aérea (a), nos tubérculos (b) e acúmulo total (c) antes da dessecação, da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A quantidade total de P acumulada pela cultura da batata foi afetada pelo experimento, aplicação de Si, doses de P e pela interação experimento x dose de P (Tabela 8). Especialmente até a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, as maiores quantidades totais de P, foram acumuladas no exp. I – Itaí, apresentando incrementos até a dose de 367 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 7c). Nos experimentos de Pirajú e de Botucatu, as quantidades de P acumuladas pela batateira foram aumentadas até a maior dose estudada (500 kg ha⁻¹ P₂O₅). As maiores quantidades de P acumuladas pela batateira no exp. I (Itaí), em comparação com os demais experimentos, foi devido ao maior teor de P (resina) encontrados no solo (Tabela 1). Os resultados observados nos três experimentos se assemelham aos resultados de acúmulo MSTB e MSTT (Figura 6b e 6c) (Tabela 7). Fernandes (2013), em seu estudo com cultivares de batata e doses de P, obteve aumento no acúmulo de P na planta inteira até a maior dose estudada (1000 de P₂O₅ ha⁻¹), em solos com menor disponibilidade de P.

Já Alvarez-Sánchez et al. (1999), em solo com menor disponibilidade de P, observaram o máximo acúmulo de MS nos tubérculos da batateira ocorreu com a aplicação de 206 a 229 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto a acumulação de P continuou aumentando em pequenas taxas com o aumento da adubação fosfatada. Foi sugerido que naquelas condições, as exigências de P da batateira para a obtenção da máxima produtividade econômica foi satisfeita com a aplicação de 206 a 229 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e que a absorção ocorrida em doses maiores foi considerada desnecessária (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999). A aplicação de Si via solo proporcionou acúmulo total de P significativamente maior do que no tratamento com aplicação de Si foliar (Tabela 8). Diferente do obtido por Soratto et al. (2019) que não obtiveram diferença significativa para o acúmulo de P com diferentes doses de Si via solo na cultura da batata.

O teor de Si nas raízes da batateira foi afetado pelo experimento (Tabela 9). O maior teor de Si nas raízes ocorreu no exp. I – Itaí, diferenciando significativamente dos demais experimentos (Tabela 9). A aplicação de Si seja ela via solo ou foliar, não proporcionou aumento no teor de Si nas raízes. Assim como Soratto et al. (2019), também não observaram efeito da aplicação de Si via solo nos teores de Si nas raízes da planta de batata. Já Maly e Aery (2009), obteve aumento nos teores de Si nas folhas e raízes de feijão-caupi com o aumento de doses de Si no solo, sob condições adequadas de água. Tais resultados indicam que o aumento da disponibilidade de Si no solo não interfere necessariamente no teor do elemento nas raízes da planta de

batata, provavelmente por esta ser considerada planta não acumuladora de Si (MARSCHNER, 1995).

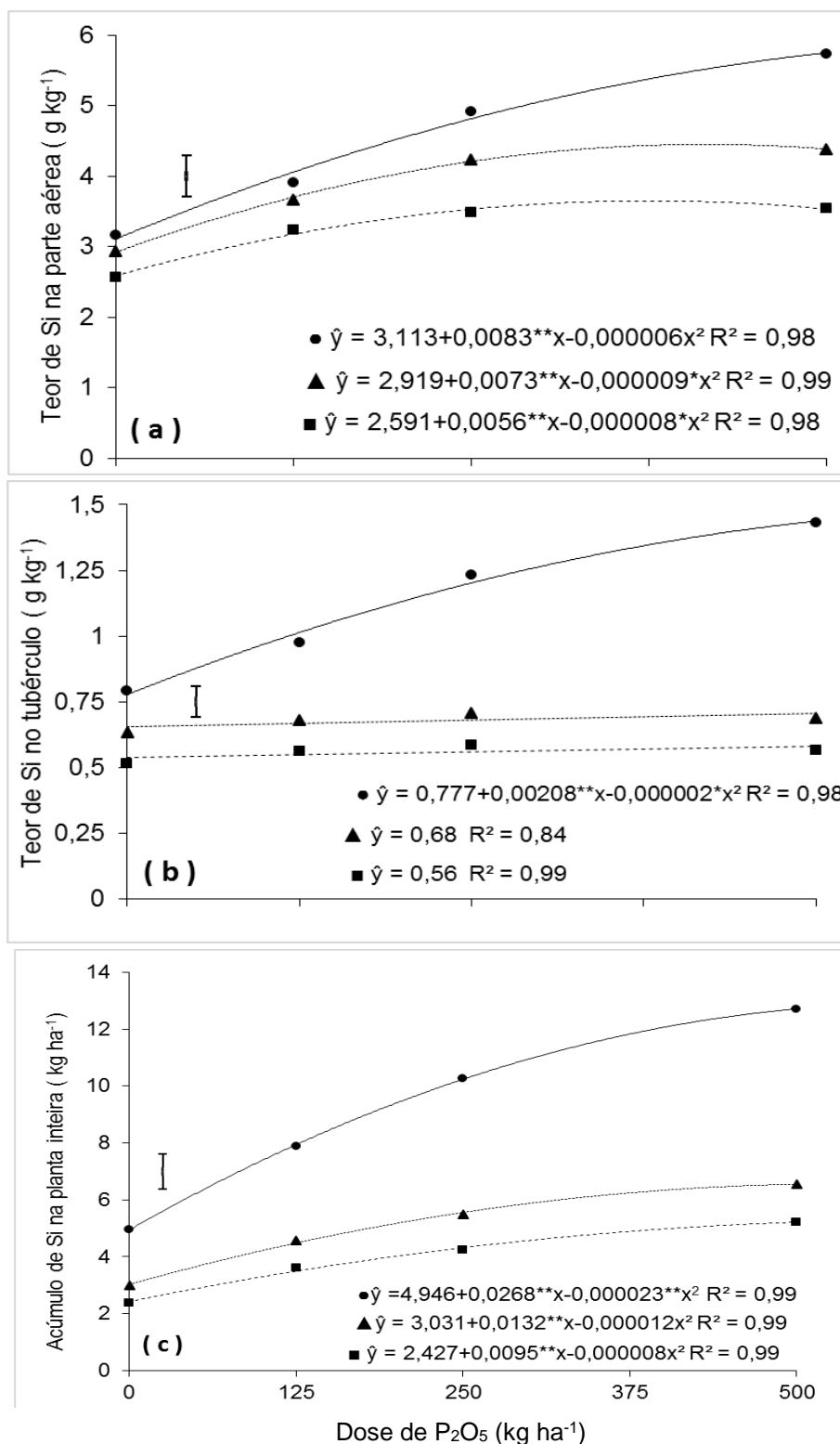
Tabela 9 – Teores de Si nas raízes, na parte aérea, nos tubérculos e acúmulo total na cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	Si na raízes	Si na parte aérea	Si nos tubérculos	Quantidade de Si acumulada
	(g kg ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)
Experimento				
Exp. I (Itaí)	7,77a	4,43a	1,11a	8,96a
Exp. II (Pirajú)	6,26b	3,80b	0,676b	4,91b
Exp. III (Botucatu)	6,45b	3,21c	0,559c	3,87c
Silício				
Sem Si	6,55a	3,58b	0,724b	5,37b
Si solo	6,91a	3,84a	0,815a	6,36a
Si foliar	7,04a	4,02a	0,804a	6,01a
Fonte de variação (P > F)				
Experimento (E)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,065	0,015	0,004	0,007
E x S	0,308	0,740	0,229	0,440
Fósforo (P)	0,117	<0,001	<0,001	<0,001
E x P	0,707	0,005	<0,001	<0,001
S x P	0,259	0,509	0,262	0,172
E x S x P	0,431	0,991	0,897	0,600
CV(%)	15,3	19,1	18,1	25,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Os teores de Si na parte aérea e nos tubérculos variou em função do experimento, da aplicação de Si, da dose de P e da interação experimento x dose de P (Tabela 9). Os maiores teores de Si na parte aérea (6,0 g kg⁻¹) e nos tubérculos (1,3 g kg⁻¹) ocorreram no exp. I – Itaí, sendo proporcionada este incremento até a maior dose de P₂O₅ estuda de 500 kg ha⁻¹ (Figura 8a e 8b). Nos experimentos de Pirajú e Botucatu, as doses de P promoveram incremento do teor de Si na parte aérea em (4,4 e 3,5 g kg⁻¹, respectivamente), com as doses de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para o exp. II – Pirajú e de 311 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para o exp. III – Botucatu (Figura 8a), este aumento foi com pequena intensidade após a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em ambos os experimentos (Figura 8^a). Porém para o teor de Si nos tubérculos para os exp. II – Pirajú e III – Botucatu, não ocorreu alteração com as aplicações de P, ficando o teor com 0,68 e 0,56 g kg⁻¹, para os experimentos de II e III, respectivamente.

Figura 8. Teores de Si na parte aérea (a), nos tubérculos (b) e acúmulo total (c) antes da dessecação, da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A aplicação de Si foliar e via solo, proporcionou teores de Si na parte aérea e nos tubérculos significativamente maior do que no tratamento sem aplicação de Si e não diferindo entre si (Tabela 9). Pulz et al. (2008) também verificaram que o fornecimento de Si via solo aumentou o teor desse elemento nos tubérculos de batata, especialmente sob condições de adequada disponibilidade hídrica, semelhante ao observado no presente trabalho. Assim como Soratto et al. (2018), que obteve com a aplicação de Si via solo aumento no teor de Si nos tubérculos, quando comparado às plantas que não receberam aplicação.

A quantidade total de Si acumulada pela planta de batata foi afetada pelo experimento, aplicação de Si, doses de P e pela interação experimento x dose de P (Tabela 9). Os maiores acúmulos de Si ocorreram no exp. I – Itaí (12,8 kg ha⁻¹), sendo que o aumento neste estudo se deu até a maior dose de P₂O₅ (500 kg ha⁻¹), para os exp. II – Pirajú e exp. III – Botucatu os aumentos também ocorreram para 6,7 e 5,2 kg ha⁻¹, respectivamente, até a maior dose estudada, mas com menor expressividade em relação ao exp. I – Itaí (Figura 8c). O aumento no acúmulo de Si pela planta inteira, estão associados aos incrementos de Si na parte aérea e nos tubérculos (Figura 8a e 8b), e principalmente pelo acúmulo MS total (Figura 6c). A aplicação de Si via solo e foliar proporcionaram acúmulos de Si na planta inteira significativamente maiores do que no tratamento sem aplicação de Si (Tabela 9).

4.3 Número de tubérculos total e da classe especial por planta, peso médio de tubérculos e produtividade de tubérculos total e da classe especial.

O número de tubérculos total e da classe especial por planta foram influenciados apenas pelo experimento e pelas doses de P (Tabela 10). Os maiores números totais de tubérculos (12,8 e 13,2) por planta, ocorreram nos experimentos de Itaí e Pirajú, respectivamente. Porém, o maior número de tubérculos especiais por planta ocorreu em Itaí, seguido do experimento de Botucatu e Piraju, diferenciando significativamente entre si. Independentemente do experimento e da aplicação de Si, as doses de P no sulco de plantio aumentaram os números de tubérculos totais para 12,7 tubérculo por planta e especiais para 4,3 tubérculo por planta, até as doses estimadas de 370 e 395 kg ha⁻¹, respectivamente. (Figuras 9a e 9b).

Martins (2017), estudando doses de P e aplicação de ácido húmico observou incremento no número total de tubérculos e da classe especial até a maior dose estudada (400 kg ha^{-1} de P_2O_5), resultado semelhante ao deste estudo. Da mesma forma, Fernandes e Soratto (2016a; 2016b), observaram que no solo com baixa disponibilidade de P a adubação fosfatada resultou em um aumento de nove vezes no número de tubérculos com um diâmetro maior que 45 mm, comprovando, assim como no presente estudo, que em solos com baixa disponibilidade de P, o número de tubérculos por planta pode ser aumentado através da adubação fosfatada (JENKINS; ALI, 2000; FERNANDES; SORATTO, 2016a; 2016b).

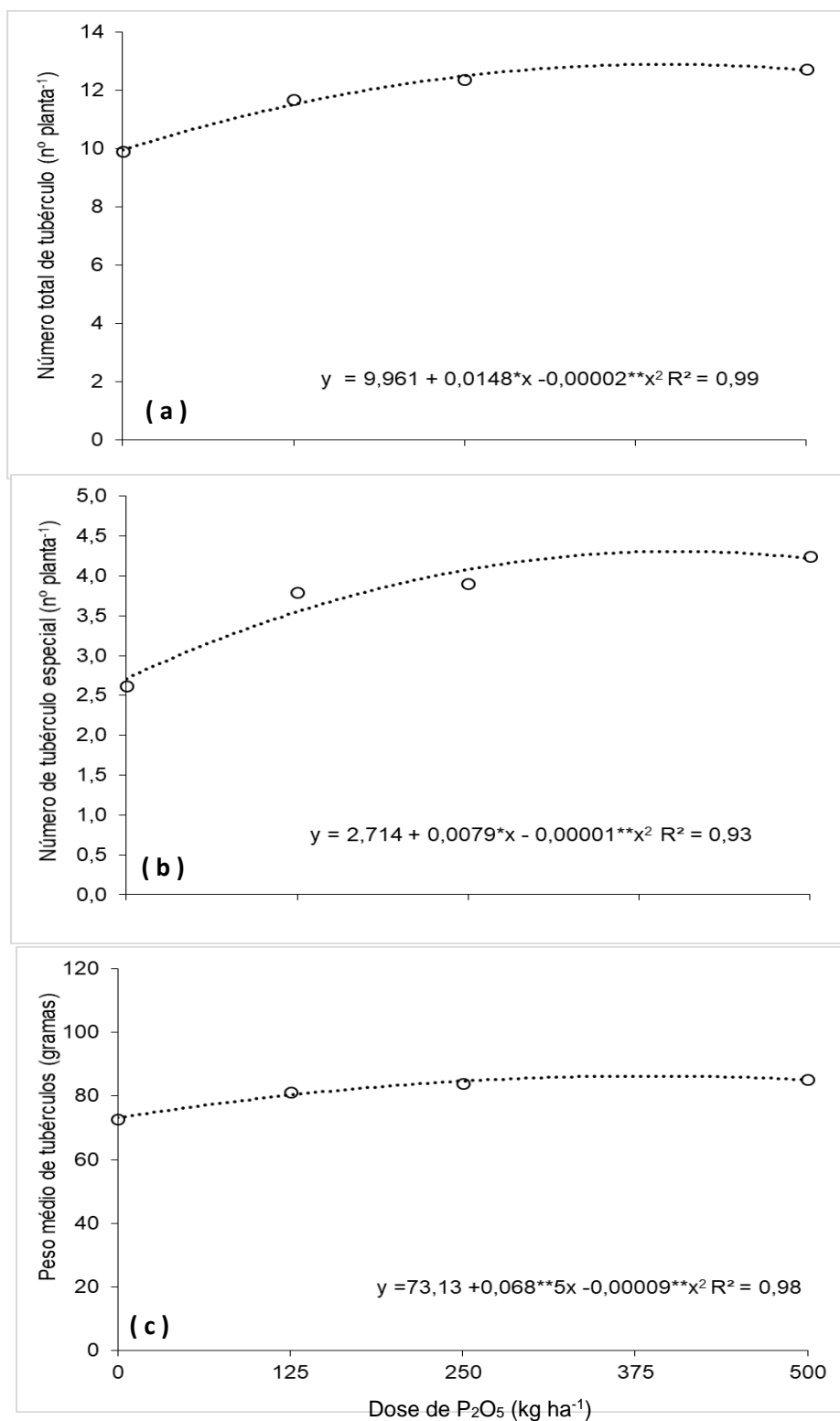
Esses resultados estão de acordo com os relatos de Jenkins e Ali (2000), de que a adubação fosfatada contribui para o desenvolvimento inicial da batateira, além de aumentar o número de tubérculos por planta. Diferente do encontrado por Fernandes (2011), estudando doses de P observou aumento do número de tubérculos total até próximo das doses de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e de Ali et al. (2004b) que, estudando a influência da adubação fosfatada no número e na produtividade de tubérculos da batateira, observaram que acima de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 o número total de tubérculos (tubérculos m^{-2}) não foi alterado significativamente pela adubação.

Tabela 10 – Número total e da classe especial de tubérculos por planta, peso médio de tubérculo da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	Nº de tubérculos total	Nº de tubérculos especial	Peso médio de tubérculo (g)
	————— (tubérculos planta ⁻¹) —————		
Experimento			
Exp. I (Itaí)	12,8a	5,06a	80,0b
Exp. II (Pirajú)	13,2a	2,14c	50,7c
Exp. III (Botucatu)	8,9b	3,73b	111,6a
Silício			
Sem Si	11,6a	3,65a	80,2a
Si solo	11,7a	3,68a	81,4a
Si foliar	11,7a	3,58a	80,8a
Fonte de variação			
Experimento (E)	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,927	0,808	0,782
E x S	0,226	0,240	0,245
Fósforo (P)	<0,001	<0,001	<0,001
E x P	0,626	0,606	0,875
S x P	0,910	0,995	0,337
E x S x P	0,646	0,642	0,516
CV(%)	14,4	20,9	10,2

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

Figura 9. Número total (a) e de tubérculos da classe especial (b) por planta, peso médio (c) de tubérculo da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si e três experimentos.



Legenda: * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste t.

O peso médio de tubérculos também foi afetado apenas pelo experimento e dose de P (Tabela 10). O maior valor de peso médio ocorreu no exp. III – Botucatu (111,6 gramas), seguido de Itaí (80,0 gramas), e Pirajú (50,7 gramas), diferindo significativamente entre si (Tabela 10). O aumento no valor de peso médio para os três experimentos se deram até dose estimada de 381 kg ha⁻¹ de P₂O₅, independentemente do experimento e da aplicação de Si (Figura 9), mas com menor expressividade a partir da dose de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 9).

Martins (2017), em seu estudo com dose de P₂O₅ e ácido húmico, obteve incremento do peso médio até a dose estimada de 190 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Já o aumento foi até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no incremento de peso médio de tubérculos de duas cultivares de batata no experimento de Fernandes e Soratto (2016b). Sendo os resultados obtidos por estes autores, semelhantes ao deste estudo. Além de ser componente estrutural de moléculas como ácidos nucléicos, fosfolipídios e ATP (THEODOROU; PLAXTON, 1993; SCHACHTMAN; REID; AYLING, 1998), o P participa também do metabolismo de amido na batateira, sendo requerido em quantidades relativamente elevadas durante a fase de enchimento dos tubérculos (HOUGHLAND, 1960).

As produtividades total e de tubérculos da classe especial foram afetadas pelo experimento, dose de P e pela interação entre estes fatores (Tabela 11). Independentemente da dose de P e da aplicação de Si, as maiores produtividades de tubérculos totais e especiais ocorreram no experimento de Itaí (Figura 10a). Estando estas produtividades diretamente associadas e sendo favorecido pela maior disponibilidade de P no solo (Tabela 1) neste experimento (local), e podendo estar relacionado também a condição climática mais favorável, já que durante a condução deste experimento foi menor a amplitude térmica juntamente com a ausência de temperaturas tão baixas quando as registradas nos demais experimentos o que pode limitar o desenvolvimento da planta dependendo da fase de desenvolvimento da ocorrência (Figura 1). Outro fator que pode ter influenciado para a maior produtividade no experimento de Itaí seria a aplicação de calcário e gesso agrícola (Item 3.4), influenciando no fornecimento de Ca e S para a planta de batata.

Apesar da maior disponibilidade de P no solo do exp. I (Itaí), a produtividade total de tubérculos foi incrementada até a dose estimada de 476 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com produção de 48871 kg ha⁻¹ (Figura 10a), enquanto que nos experimentos de Pirajú e Botucatu, considerados solos de baixo teor de P, as respostas se deram até as doses

de 395 e 221 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com produtividades de 34287 kg ha⁻¹ e 27461 kg ha⁻¹, respectivamente. Tais resultados demonstram que variação no teor de P disponível no solo (Tabela 1), tem grande influência no estabelecimento da batateira e possível exploração do potencial de produção da cultura, e que apesar do aumento das doses de P aplicadas, com aumento na produção que é promovido, ainda sim ocorre limitações para explorar o maior potencial de produção que a cultura poderia atingir, quando comparado a um solo com maior teor de P disponível.

Tabela 11 – Produtividade total e de tubérculos da classe especial da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	Produtividade total		Produtividade da classe especial	
	(kg ha ⁻¹)			
Experimento				
Exp. I (Itaí)	42.303a		28.526a	
Exp. II (Pirajú)	27.946b		9.713c	
Exp. III (Botucatu)	25.370c		17.846b	
Silício				
Sem Si	32.009a		18.477a	
Si solo	31.901a		18.584a	
Si foliar	31.728a		18.664a	
Fonte de variação				
Experimento (E)	<0,001		<0,001	
Silício (S)	0,890		0,944	
E x S	0,331		0,118	
Fósforo (P)	<0,001		<0,001	
E x P	<0,001		<0,001	
S x P	0,950		0,651	
E x S x P	0,228		0,621	
CV(%)	9,0		14,6	

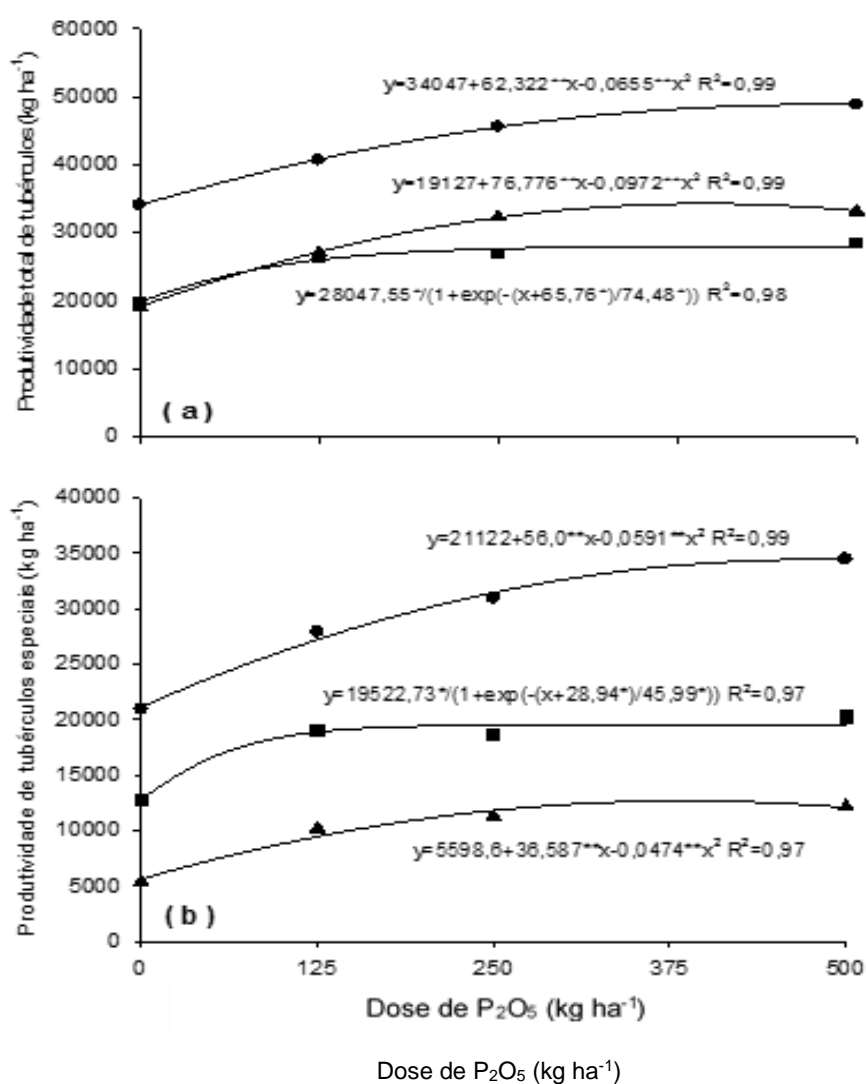
Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Para a produtividade de tubérculos da classe especial, as respostas se deram até as doses estimadas de 474, 382 e 170 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, nos experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu (Figura 10b), com produtividade de 34409, 12658 e 19.267 kg ha⁻¹, respectivamente. Destaca-se também a maior resposta no experimento de Itaí, seguido de Botucatu e Pirajú (Tabela 11, Figura 10b), diferindo significativamente entre si.

Já Fernandes e Soratto (2016b), em solo com baixo teor de P disponível, verificaram aumento das produtividades total e de tubérculos da classe especial até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅; contudo, em solo com teor médio de P a resposta foi

apenas até a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Martins (2017), obteve as maiores produtividades totais e comerciais com o aumento da dose até 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e da classe especial até a dose de estimada de 340 kg ha⁻¹ de P₂O₅, resultados semelhantes ao deste estudo. O aumento na produtividade de tubérculos de batata em função da adubação fosfatada também tem sido relatado por outros autores (HOPKINS; STARKS, 2010; FLEISHER et al., 2013; LUZ et al., 2013).

Figura 10. Produtividade total (a) e de tubérculos da classe especial (b) da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A aplicação de Si, seja via solo ou foliar não interferiu na produtividade de tubérculos (Tabela 11), assim como na eficiência de uso do P aplicado. Resultados semelhantes foram obtidos por Pilon et al. (2013, 2014) e Soratto et al. (2018). Como discutido por Soratto et al. (2018), esses resultados sugerem que a aplicação de Si pode interferir na absorção do elemento pela batateira, bem como no metabolismo do P dentro da planta, porém não resulta em aumento de produtividade de tubérculos.

4.4 Porcentagem e quantidade de matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita

A porcentagem de MS nos tubérculos variou apenas entre os experimentos (Tabela 12). Os maiores valores de porcentagem de MS ocorreram no experimento Itaí e Botucatu. Vale destacar que, independentemente da adubação fosfatada, a porcentagem de MS dos tubérculos sempre foi menor do que o requerido pelas indústrias de processamento (MS>20%) (PEREIRA et al., 2007), característica da cultivar Agata. Fernandes (2011) também não verificou alteração do percentual de MS de tubérculos das cultivares Agata e Markies com o aumento de dose de P.

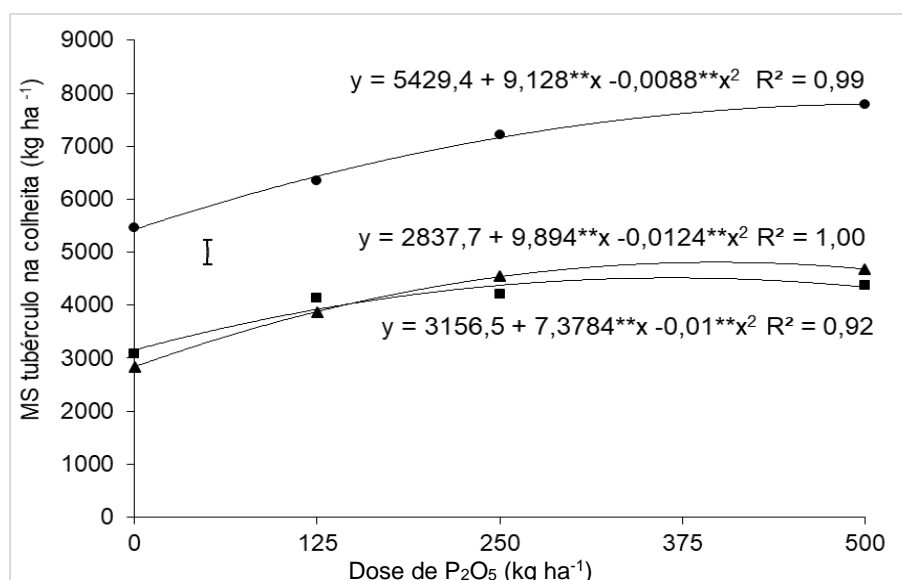
Tabela 12 – Porcentagem e quantidade da matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	MS nos tubérculos (%)	Quantidade de MS nos tubérculos (kg ha ⁻¹)
Experimento		
Exp. I (Itaí)	15,8a	4466,9a
Exp. II (Pirajú)	14,3b	3983,9b
Exp. III (Botucatu)	15,5a	3948,2b
Silício		
Sem Si	15,2a	4706,7a
Si solo	15,1a	4836,9a
Si foliar	15,3a	4893,4a
Fonte de variação		
Experimento (E)	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,400	0,810
E x S	0,951	0,101
Fósforo (P)	0,304	<0,001
E x P	0,451	0,007
S x P	0,828	0,992
E x S x P	0,889	0,489
CV(%)	15,2	11,4

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

A quantidade de MS acumulada nos tubérculos na colheita foi afetada pelo experimento, dose de P e pela interação experimento x dose de P (Tabela 12). A quantidade de MS acumulada nos tubérculos foi significativamente maior no experimento de Itaí do que nos demais experimentos, refletindo o que foi observado para a produtividade total de tubérculo (Figuras 10a e 11), estando este resultado associado a matéria seca total e de tubérculo acumulada antes da dessecação (Tabela 7, Figura 6c).

Figura 11 – Quantidade de matéria seca acumulada nos tubérculos na colheita da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); ** $p \leq 0,01$ pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

4.5 Teores de P e Si nos tubérculos na colheita, exportação de P e Si pelos tubérculos na colheita

O teor de P e exportação de P pelos tubérculos na colheita foram afetados pelo experimento, doses de P e pela interação entre estes fatores (Tabela 13). Na ausência da aplicação de P no sulco de plantio, o teor de P nos tubérculos foi significativamente maior no exp. I (Itaí) (Figura 12a), o que é justificado pela maior disponibilidade de P

no solo (Tabela 1). Contudo, nos experimentos II (Pirajú) e III (Botucatu) houveram maiores respostas dos teores de P nos tubérculos do que no exp. I (Figura 12a). Os incrementos nos teores de P nos tubérculos ocorreram até as doses estimadas de 300, 426 e 390 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, para os experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu, com os teores de 2,7; 3,2 e 3,8 g kg⁻¹, respectivamente, sendo menos expressivo este aumento no experimento de Itaí a partir da dose de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 12a). Os menores teores de P observados no experimento de Itaí podem estar relacionados a um efeito diluição, já que nesse experimento foram obtidas produtividades de tubérculos e quantidades de MS acumuladas nos tubérculos muito maiores, do que os demais experimentos (Figuras 10a, 11, 12a).

Fernandes (2011), estudando doses de P e cultivares de batata, obteve incremento nos teores de P dos tubérculos até a dose estimada de 700 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com teores médios de 2,7 g kg⁻¹. Também foi obtido efeito da adubação fosfatada nos teores de P por Martins (2017), tanto em solo arenoso, quanto no argiloso o incremento no teor de P no tubérculo foi linear até a dose máxima estudada (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), com teores médios de P de 3 e 2,4 g kg⁻¹, respectivamente, para o solo arenoso e argiloso, resultados semelhantes ao deste estudo. Soratto e Fernandes (2016) também observaram incremento no teor de P no tubérculo da colheita final de duas cultivares de batata, em resposta a doses crescentes de P. De acordo com Fernandes, Soratto e Silva (2011), durante o estágio final de enchimento do tubérculo, a quantidade de P transportada para os tubérculos é semelhante ou maior do que a quantidade absorvida pela planta.

Já para a exportação de P, ocorreu os maiores valores no experimento de Itaí, seguido de Pirajú e Botucatu com os menores valores, especialmente na presença das menores doses de P (Figura 12b). Houve incremento na exportação de P pelos tubérculos até as doses estimadas 390, 447 e 397 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, para os experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu, com valores de 20,5; 18,0 e 14,4 kg ha⁻¹ (Figura 12b). Martins (2017) e Fernandes (2011), obtiveram em seus estudos aumento na exportação de P pelos tubérculos até as maiores doses estudadas de 400 e 1000 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, mas com as doses acima da 500 ha⁻¹ de P₂O₅, os incrementos foram pequenos.

Fernandes et al. (2011) verificaram para as mesmas cultivares usadas neste estudo que a exportação de P pela cultura variou de 10 a 15 kg ha⁻¹, dependendo da cultivar. Contudo, Fernandes e Soratto (2012a), após analisar vários trabalhos sobre

absorção de nutrientes pela batateira constataram que, na média geral, as quantidades de P exportadas pela cultura ficaram ao redor de 12 kg ha⁻¹. Em estudo realizado por outros autores em solo com alta disponibilidade de P, e que recebeu adubação com 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a exportação de P chegou, no máximo a 15 kg ha⁻¹ dependendo da cultivar, (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011), ou seja, valores até semelhantes aos obtidos neste estudo (Tabela 10).

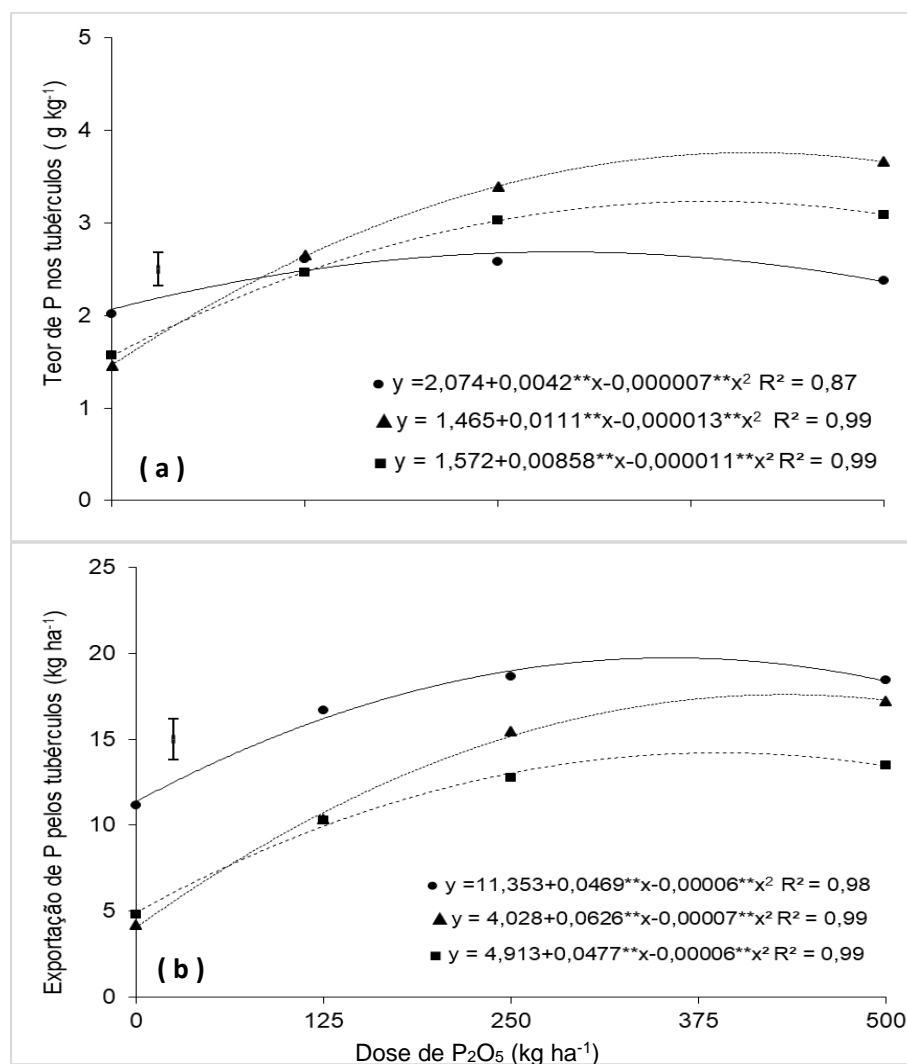
As formas de aplicação de Si não tiveram efeito algum sobre o teor de P ou exportação de P pelos tubérculos colhidos (Tabela 13).

Tabela 13 – Teor de P e Si nos tubérculos na colheita, Exportação de P e Si pelos tubérculos da cultura da batata em função de doses de P e aplicação de Si via solo e folha, em três experimentos.

Tratamento	P nos tubérculos	Si nos tubérculos	Exportação de P	Exportação de Si
	(g kg ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
Experimento				
Exp. I (Itaí)	2,40b	0,71b	16,2a	4,81a
Exp. II (Pirajú)	2,79a	0,88a	11,8b	3,65b
Exp. III (Botucatu)	2,54b	0,64c	10,3c	2,57c
Silício				
Sem Si	2,59a	0,68b	12,9a	3,40b
Si solo	2,60a	0,79a	12,7a	3,83a
Si foliar	2,54a	0,77a	12,6a	3,81a
Fonte de variação	(P > F)			
Experimento (E)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silício (S)	0,764	<0,001	0,850	0,030
E x S	0,497	0,544	0,295	0,352
Fósforo (P)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
E x P	<0,001	0,002	0,012	0,023
S x P	0,935	0,471	0,931	0,804
E x S x P	0,998	0,999	0,933	0,998
CV(%)	17,4	18,8	22,7	23,9

Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de cada fator (experimento e silício), diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Figura 12 - Teor de P (a) e exportação de P (b) pelos tubérculos da cultura da batata na colheita, em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.

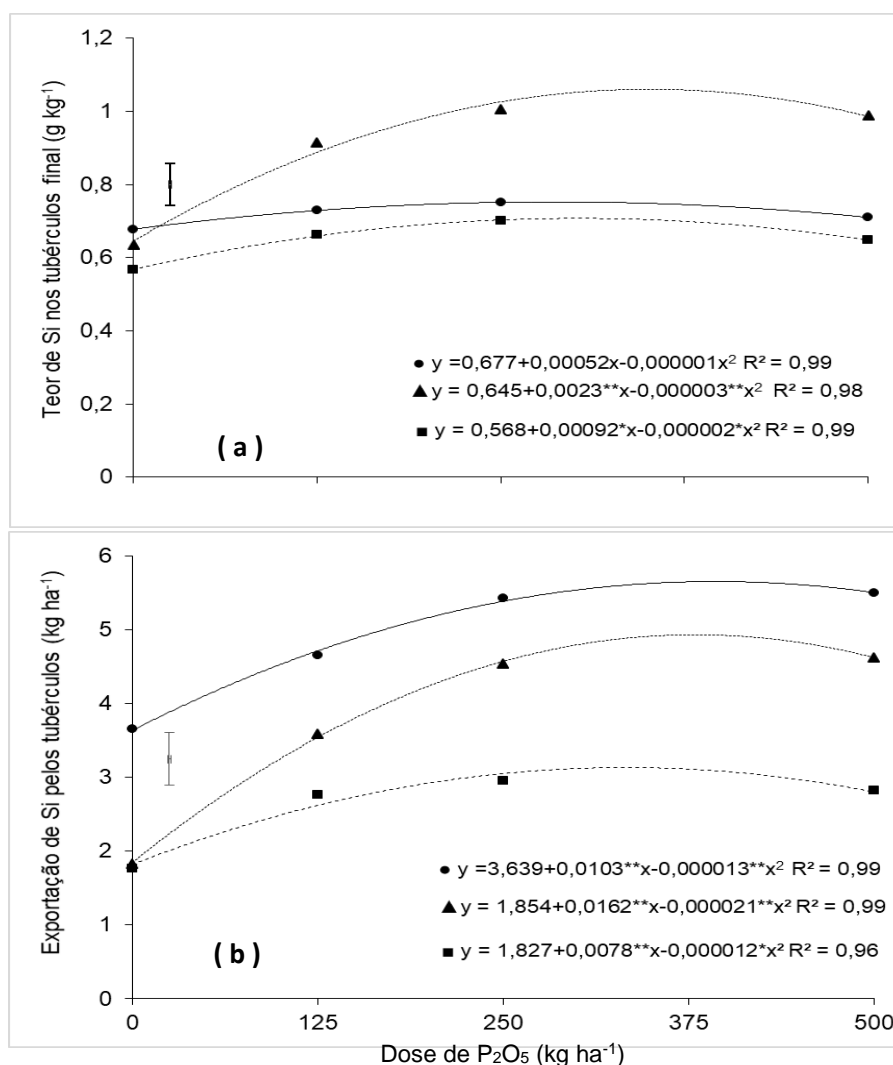


Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

O teor de Si e exportação de Si pelos tubérculos na colheita foram afetados pelo experimento, aplicação de Si, dose de P e interação experimento x dose de P (Tabela 13). A aplicação de Si via solo e foliar proporcionou os maiores teores de Si nos tubérculos, bem como maior exportação do elemento pelos tubérculos colhidos, do que o tratamento sem a aplicação de Si (Tabela 13). Resultado semelhante a este foi observado por Pilon (2011), que obteve maior teor de Si nos tubérculos, sob disponibilidade hídrica adequada, quando as plantas receberam aplicação de Si via solo, e sob deficiência hídrica, as aplicações de Si via solo e foliar aumentaram o teor

de Si nos tubérculos, em comparação ao tratamento sem aplicação de Si. Pulz et al. (2008), também obtiveram em relação ao teor de Si nos tubérculos incremento pela aplicação de Si via solo em condição de disponibilidade hídrica adequada. Tais resultados indicam que a aplicação de Si, seja via solo ou foliar, é eficiente em aumentar a absorção e fornecimento desse elemento para a batateira.

Figura 13 - Teor de Si (a) e exportação de Si (b) pelos tubérculos da cultura da batata em função de doses de P, na média de três tratamentos de Si, em três experimentos.



Legenda: (●) Exp. I (Itaí); (▲) Exp. II (Pirajú); (■) Exp. III (Botucatu); * p≤0,05 e ** p≤0,01 pelo teste t. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Independentemente da aplicação de Si e na presença de adubação fosfatada no sulco de plantio, os maiores teores de Si nos tubérculos ocorreram no experimento

de Pirajú, seguidos de Itaí e Botucatu (Tabela 13, Figura 13a). Os incrementos nos teores de Si nos tubérculos, ocorreram até as doses estimadas de 260, 383 e 230 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, nos experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu, com os valores de 0,7; 1,1 e 0,7 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 13a). Vale destacar que no exp. II (Pirajú), a resposta do teor de Si nos tubérculos à adubação fosfatada foi muito mais expressiva do que nos demais experimentos, e para os experimentos de Itaí e Pirajú os aumentos não foram muito expressivos, causando pequeno aumento (Figura 13a).

Já para a exportação de Si, os maiores valores ocorreram para o experimento de Itaí, seguido de Pirajú e Botucatu (tabela 13). Os incrementos na exportação de Si pelos tubérculos colhidos se deram até as doses estimada de 396, 385 e 325 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, nos experimentos de Itaí, Pirajú e Botucatu, com os valores de 5,7; 5,0 e 3,1 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 13b). Contudo a resposta de incremento na exportação de Si com relação a dose de P aplicada no sulco, ocorre maneira mais expressivos nos experimentos Itaí e Piraju e com a dose de até 250 kg ha⁻¹, sendo menos expressiva a partir desta dose (Figura 13b), já no experimento de Botucatu o aumento é mais expressivo até a dose de 125 kg ha⁻¹.

A aplicação de Si via solo e foliar proporcionaram significativamente as maiores quantidades de Si exportado pelos tubérculos do que no tratamento sem a aplicação de Si (Tabela 13).

5 CONCLUSÕES

A utilização de Si via solo ou foliar afetou ligeiramente os teores de Ca na folha, mas não afetou os teores de P na folha diagnose ou na planta de batata.

A aplicação de Si aumentou o teor, extração e exportação de Si na batateira, mas apenas a aplicação de Si via solo aumentou a produção de MS de tubérculo e da planta inteira antes da dessecação, bem como a quantidade de P acumulada pela planta.

A produtividade de tubérculos não foi influenciada pela aplicação de Si, seja via solo ou foliar.

Independentemente do fornecimento de Si, a aplicação de P incrementou os teores de N, P, Ca, Mg e S na folha diagnose, a MS da planta, o número de tubérculo por planta, o peso médio e produtividade de tubérculos, os teores e quantidades P e Si extraídas e exportadas pela batateira.

Em solos com teores médios-baixos de P, a cultura da batata teve a produtividade incrementada até doses entre 221 e 476 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sem que o fornecimento de Si via solo ou foliar interferisse na resposta a adubação fosfatada ou na eficiência de uso do P aplicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Batata Brasileira: área, produção e produtividade**. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/Brasil_area.html>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Variedades**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2009/variedades.asp>>. Acesso em: 16 dez. 2013.
- ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, n.2, p.207-220, 2011.
- ALI, H.; ANJUM, M. A. Aerial Growth and dry matter production of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Desiree in relation to phosphorus application. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.3, p.458-461, 2004a.
- ALI, H.; ANJUM, M. A.; RANDHAWA, S. A. Influence of phosphorus on yield potential of potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.1, p.165-167, 2004b.
- ALVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ETCHEVERS, J. D.; ORTIZ, J.; NÚÑEZ, R.; VOLKE, V.; TIJERINA, L.; MARTÍNEZ, A. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.1, p.205-217, 1999.
- ANDA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes – 2009**. São Paulo, 2010. 160p.
- ANDA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes – 2010**. São Paulo, 2011. 178p.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 253-281.
- BARROW, N. J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 38, p. 183-230, 1985.
- BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.172, n.5, p.669-677, 2009.
- BEUKEMA, H. P.; VAN DER ZAAG, D. E. **Potato improvement**. Some factors and facts. Wageningen, International Agricultural Centre, 1979.
- BELANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon, its role in the crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 74, n. 4, p. 329-336, 1995.

BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.225–52, 1973.

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

BUCK, G. B.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; COELHO, L. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 2, p. 231, 2008.

CARNEIRO, C.E.A.; FIORETTO, R.A.; FONSECA, I.C.B.; CARNEIRO, G.E.S. Calcário, potássio, fosfato e silício na produtividade do solo. **Acta Scientiarum**, v.28, n.4, p.465-470, 2006.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa-de-vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.557-565, 2001.

CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F.Á.; SCHURT, D.A.; REZENDE, D.C.; RIBEIRO, N.B.; ZAMBOLIM, L. Aplicação foliar de silicato de potássio, acibenzolar-S-metil e fungicidas na redução da mancha de Pestalotia em morango. **Tropical Plant Pathology**, v.35, n.3, p.182-185, 2010.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA – CIP. 2012. Disponível em: <http://www.cipotato.org/potato/history.asp>. Acesso em: 12 de abril 2018

CHEONG, Y.W.Y.; CHAN, P.Y.. Incorporation of P³² in phosphate esters of the sugar cane plant and the effect of Si and Al on the distribution of these esters. **Plant and Soil** v.38, p.113–123. 1973.

CONDON, L. M.; TIESSEN, H. Interactions of organic phosphorus in terrestrial ecosystems. In: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. (Eds.), **Organic Phosphorus in the Environment**. Wallingford, UK: CAB International, 2005. p. 295–307

CRUSCIOL, C.A.C.; PULZ, A.L.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; LIMA, G.P.P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v.49, n.3, p.949-954, 2009.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 424 p. (Book Series Studies in Plant Science, v. 8).

DECHASSA, N.; SCHENK, M.K.; CLAASSEN, N.; STEINGROBE, B. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant Soil**, v.250, n.3, p.215-224, 2003.

DELEO, J.P.B. Gestão sustentável na bataticultura. In: BARROS, G.S.A.C. (coord.). **Hortifruti Brasil**, Piracicaba: CEPEA, ano.9, n.95, p.8-26, 2010.

DELEO, J. P. B. Especial Batata: Como gerir a bataticultura com custos em alta e demanda em baixa? **Hortifruti Brasil**, Piracicaba: CEPEA, ano.14, n.150, p 4-24, 2015

DELEO, J.P.B. Especial Batata: Gestão sustentável na bataticultura. In: BARROS, G.S.A.C. (coord.). **Hortifruti Brasil**, Piracicaba: CEPEA, ano.15, n.161, p.11-26, 2016.

EMADIAN, S. F.; NEWTON, R. J. Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 134, p. 98-103, 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Embrapa-CNPq, 1997. 212p. (Documentos, 1).

FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.51-57, 1987.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.

FAOSTAT. The Statistics Division of FAO. **Production: crops**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Itália, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/>. Acesso em: 12 nov. 2018.

FELTRAN, J. C. **Adubação mineral na cultura da batata e residual no feijoeiro**. 2005. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. 2005.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L.; SOUZA-SCHLICK, G.D. 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.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2039-2056, 2011.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P. **Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira**. 1. ed. Botucatu/Itapetininga: FEPAF/ABBA, 2012a. 121p.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Nutrition, dry matter accumulation and partitioning, and phosphorus use efficiency of potato plants grown under phosphorus rates in nutrient solution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1528 - 1537, 2012b.

FERNANDES, A.M. **Adubação fosfatada em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2013. 145 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdades de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; PILON, C. Soil phosphorus increases dry matter and nutrient accumulation and allocation in potato cultivars. **American Journal of Potato Research**, v. 92, n. 1, p. 117-127, 2015.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Phosphorus fertilizer rate for fresh market potato cultivars grown in tropical soil with low phosphorus availability. **American Journal of Potato Research**, v. 93, n. 4, p. 404-414, 2016a.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Response of potato cultivars to phosphate fertilization in tropical soils with different phosphorus availabilities. **Potato Research**, v. 59, n. 3, p. 259-278, 2016b.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 412p, 2003.

FLEISHER DH, WANG Q, TIMLIN DJ, CHUN JA, REDDY VR.. Effects of carbon dioxide and phosphorus supply on potato dry matter allocation and canopy morphology. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 4, p. 566-586, 2013.

FONTES, P. C. R.; ROCHA, F. A. T.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**, v.15, n.2, p.104-107, 1997.

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, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 421-433.

FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G. Frações fosfatadas em mudas de Eucalyptus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.267-274, 1998.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. Lavras: Ed: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GARCIA, R. A.; MERLIN A.; TOLEDO, M. Z.; FERNANDES, D. M.; CRUSCIOL, C. A. C; BÜLL, L. T, Desenvolvimento da aveia e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio. **Revista Ceres, Viçosa**, v.58, n.6, p.831-837, 2011.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, Shannon, v. 169, p. 313-321, 2005.

GUNES, A.; INAL, A.; BAGCI, E. G.; COBAN, S. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 164, p. 807-811, 2007a.

GUNES, A.; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; BAGCI, E.G.; COBAN, S. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.)

- cultivars under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v.2, n.2, p.105-113, 2007b.
- GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1885-1903, 2008a.
- GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; AKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1904-1927, 2008b.
- GRATÃO, P.L.; POLLE A; LEA P.L., AZEVEDO R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v.32, p.481-494, 2005.
- HANSEN, J. C.; CADE-MENUN, B. J.; STRAWN, D. G. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 4, p.1521-1527, 2004.
- HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVA, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.
- HATTORI, T.; SONOBE, K.; ARAKI, H.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Silicon application by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 8, p. 1482-1495, 2008.
- HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, London, v. 23, p. 177-191, 1972.
- HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. Australian **Journal of Soil Research**, v.35, n.2, p.227-239, 1997.
- HOUGHLAND, G.V.C. The influence of phosphorus on the growth and physiology of the potato plant. **American Potato Journal**, v. 37, n. 4, p. 127-138, 1960.
- HOPKINS, B. G.; STARK, J. Phosphorus fertilizer timing for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 4, p. 529-540, 2010.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento de safras agrícolas no ano civil. Disponível em:<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf)>. Acesso em 23 de jan. 2018a.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola Municipal**. Disponível: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da>

producao-agricola.html?edicao=19468&t=resultados>. Acesso em 20 fevereiro. 2018b.

JENKINS, P. D.; ALI, H. Phosphorus supply and progeny tuber numbers in potato crops. **Annals of Applied Biology**, v.136, n.1, p.41-46, 2000.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILL, H. A. **Plant analysis handbook**. Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

JOB, A. L. G. **Dose e parcelamento da adubação potássica na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.** 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdades de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014

KAY, M. C.; DAVID, E. E.; MARTIN, J. H. The amelioration of aluminum toxicity by silicone in higher plants: solution chemistry or an in plant mechanism? *Physiologia Plantarum*, Malden, v. 104, p. 608-614, 1998.

KORNDORFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Papel do silício na produção de cana de açúcar. In: SECAP 200, SEMINÁRIO DE CANA DE AÇUCAR DE PIRACICABA, 5, Piracicaba, 2000. **Anais**, STAB, v. 21, n. 2, p. 34-37.

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39p. (Boletim Técnico, 2).

LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; SILVA, A.F.; LANA, A.M.Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, v.19, n.2, p.15-20, 2003.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo-Roxo cultivado com sorgo em casa-de-vegetação**. Viçosa : UFV, 1997. 87 p. Tese de Doutorado.

LESCZYNSKI, D. B.; TANNER, C. B. Seasonal variation of root distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. **American Potato Journal**, v. 53, n. 2, p. 69-78, 1976.

LIANG, Y.C.; SUN, W.C.; SI, J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis Sativus*. **Plant Pathology**, v.54, n.5, p.678-685, 2005.

LISINSKA, G.; LESZCZYNSKI, W. *Potato Science and Technology*. Springer Science & Business Media, 1989.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A.R.; FORTES, C.A.; PINTO, J.C.; FURTINI NETO, A.E.; SOUZA, R.M. Calagem, silicatagem e doses de fósforo no crescimento e nutrição mineral de estilosantes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n.2, p.150-158, 2010.

LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, v.55, p.119-134, 1993.

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

LUZ, J. M. Q., QUEIROZ, A. A., BORGES, M., OLIVEIRA, R. C., LEITE, S. S., & CARDOSO, R. R. Influence of phosphate fertilization on phosphorus levels in foliage and tuber yield of the potato cv. Ágata. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 649-656, 2013.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicic acid on phosphorus uptake by rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.35, n.2, p.227-234, 1989.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, v.126, n.1, p.115-119, 1990.

MA, J.F.; MIYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plant**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDÖRFER, G.H., eds. Silicon in agriculture. Amsterdam, Elsevier, 2001. p.17-39.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.50, n.1, p.11-18, 2004.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, v.11, n.8, p.392-397, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 308p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALI, M.; AERY, N.C.; Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 40, n. 6, p. 1041-1052, 2009.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academia Press, 1995. 889p.

MARTINS, J. D. L. **Nutrição mineral e produtividade da cultura da batata em função da aplicação de substância húmica e adubação fosfatada**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdades de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and

zucchini squash. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, p. 902-905, 1992.

MOREIRA, R.A., CRUZ, M.C.M., FERNANDES, D.R., SILVA, E.B., OLIVEIRA, J. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 230-237, 2016.

MOUILLÉ, B.; CHARRONDIÈRE R. U.; BURLINGAME, L. N. Nutrient composition of the potato. Interesting varieties from human nutrition perspective. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/Poster_potato_nutrient_comp.pdf> Acesso em: 20 junho. 2017.

NAVA, G.; DECHEN, A.R; IUCHI, V.L. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.365-370, 2007.

NIVAP. The Netherlands Potato Consultative Foundation. 2007. **The Netherlands catalogue of potato varieties**, Den Haag, 2007. 287p

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

NUNES, J. C. S.; FONTES, P. C. R.; ARAÚJO, E. F.; SEDIYAMA, C. Potato plant growth and macronutrient uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.12, p.1787-1792, 2006

OBIHARA, C. H.; RUSSEL, E. W. Specific adsorption of the silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, p. 105-117, 1972.

OLIVEIRA, M. G. A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em Latossolos do Triângulo Mineiro**. Viçosa : UFV, 1984. 68 p. Dissertação de Mestrado

PEREIRA, A.S.; SILVA, R.S.; BENDER, C.I.; FERRI, M.L.; VENDRUSCOLO, J.L. Genótipos de batata com baixo teor de açúcares redutores. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, n.2, p.220-223, 2007.

PEIXOTO, J. R.; GARCIA, C. A. P.; MARTINS, J. F. Produtividade de batata cv. Achat em função de doses de NPK e B. **Horticultura brasileira**, v.14, n.2, p.232-235, 1996.

PIERZYNSKI, G. M.; McDOWELL, R. W.; SIMS, J. T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J. T. et al. Phosphorus: agriculture and the environment. Madison: **American Society of Agronomy**, 2005. p. 53-86.

PILON, C. **Aplicação de silício solúvel via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L)**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdades de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011.

PILON, C.; SORATTO, R.P.; MORENO, L.A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. **Crop Science**, v.53, n.4, p.1605-1614, 2013.

PILON, C.; SORATTO, R.P.; BROETTO, F.; FERNANDES, A. M. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2325-2334, 2014.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.4, p.1651-1659, 2008.

POZZA, A.A.A.; CURI, N.; COSTA, E.T.S.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; MOTTA, P.E.F. Retenção e dessorção competitivas de ânions inorgânicos em gibbsita natural de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1627-1633, 2007.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no latossolo vermelho-escuro e na areia quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, p. 235-242, 1999.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001.

QUEIROZ, L. R. M.; KAWAKAMI, J.; MULLER, M. M. L.; OLIARI, I. C. R.; UMBURANAS, R. C.; ESCHEMBACK, V. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.31, n.1, p.119-127, 2013.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAOC, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crop Research**, v.117, p. 169-176, 2010.

RAUSCH, C.; BUCHER, M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. **Planta**, v.126, n.1, p.23-37, 2002.

REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.; RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v.3, n.1, p.78-80, 2008.

RIBEIRO, J. D. R. Associativismo garante futuro do produtor de batatas. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, p.5-6, 1999.

ROSEN, C. J.; BIERMAN, P. M. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. **American Journal of Potato Research**, v. 85, n. 2, p.110-120, 2008.

ROSOLEM, C.A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, p.239-260, 2005

ROY, A. C.; ALI, M. V.; FOX, R. L.; SILVA, J. A. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latosols. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, 1971, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi: University of Hawaii, 1971. p. 756-765.

SANGOI, L.; KRUSE, N. D. Doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio e características agrônômicas da batata em dois níveis de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29, n.9, p.1331-1343, 1994.

SCHULTE, E. E.; K. A. KELLING. **Soil and applied phosphorus**. Bulletin A2520. University of Wisconsin-Extension. Madison, WI, 1996.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant physiology**, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.

SILVA, M.A.; NÓBREGA, J.C.A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MARQUES, J.J.G.S.M.; MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1197-1207, 2003.

SINGH, H. P. Policies and strategies conducive to potato development in Asia and the Pacific region. In: **Workshop to Commemorate the International Year of the Potato-2008** (Proceedings of a Regional Workshop, Bangkok), Papademetriou MK.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: II - Micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.2057-2071, 2011

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA-SCHLICK, G.D. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.1000-1006, 2012.

SORATTO R. P., PILON, C., ADALTON M. F. & MORENO, L.A. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**, v. 58, n. 2, p. 121-134, 2015.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M. Nutrição e adubação da cultura da batata: 1 – Principais problemas. **Batata Show**, n.41, p 29-33, 2015.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M. Phosphorus effects on biomass accumulation and nutrient uptake and removal in two potato cultivars. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1225-1236, 2016.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; JOB, A. L. G. **Nutrição e adubação de hortaliças: Nutrição e adubação da cultura da batata**. Jaboticabal, 1ªed., v1, p. 419-446, 2016.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; JOB, A. L. G. **Batata do plantio à colheita: Nutrição, calagem e adubação**. Viçosa -MG, 1ªed., v1, p. 51-76, 2017.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; PILON, C.; SOUZA, M.R. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, p.218-233, 2019.

SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. Oxford University Press, 1984

STEWART, W. M.; HAMMOND, L. L.; VAN KAUWENBERGH, S. J. Phosphorus as a natural resource. In: SIMS, J. T.; SHARPLEY, A. N. (Ed.). **Phosphorus: agriculture and environment**. Madison: American Society of Agronomy, 2005. p. 3-22.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 500-504, 1980.

SUN, Y.; CUI, X.; LIU, F. Effect of irrigation regimes and phosphorus rates on water and phosphorus use efficiencies in potato. **Scientia Horticulturae**, v. 190, n. 4, p. 64-69, 2015.

THEODOROU, M. E.; PLAXTON, W. C. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. **Plant Physiology**, v. 101, n. 2, p. 339-344, 1993.

TURNER, B. L.; CONDRON, L. M.; RICHARDSON, S. J; PELTZER, D. A.; ALLISON, P. J. **Soil organic phosphorus transformations during edogenesis**. **Ecosystems**, v. 10, n. 7, p. 1166-1181, 2007.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5th. ed. New York: Macmillan Publishing, 1993. 634 p.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, n. 1, p. 1-19, 1976.

WANG, S. Y.; GALLETA, G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, Lismore, v. 21, n. 1, p. 157-167, 1998.

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

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Shannon, v. 167, p. 527-533, 2004.