

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA BETERRABA A DOSES DE FÓSFORO E DE  
POTÁSSIO EM LATOSSOLO COM ALTOS TEORES  
DESSES NUTRIENTES**

**Danilo dos Reis Cardoso Passos**  
Engenheiro Agrônomo

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA BETERRABA A DOSES DE FÓSFORO E DE  
POTÁSSIO EM LATOSSOLO COM ALTOS TEORES  
DESSES NUTRIENTES**

**Danilo dos Reis Cardoso Passos  
Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).**

**2019**

P289r

Passos, Danilo dos Reis Cardoso

Resposta da beterraba a doses de fósforo e de potássio em Latossolo com altos teores desses nutrientes / Danilo dos Reis Cardoso. -- Jaboticabal, 2019

57 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho

1. Beta vulgaris L.. 2. Folha diagnose. 3. Adubação fosfatada. 4. Adubação potássica. 5. Acúmulo de nutrientes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

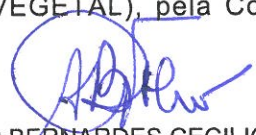
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

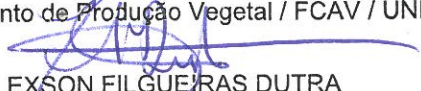
**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** RESPOSTA DA BETERRABA A DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO EM LATOSSOLO COM ALTOS TEORES DESSES NUTRIENTES

**AUTOR:** DANILO DOS REIS CARDOSO PASSOS

**ORIENTADOR:** ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

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

  
Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO  
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. ALEXSON FILGUEIRAS DUTRA  
IMESB / Bebedouro/SP

  
Pesquisador Dr. ROBERTO BOTELHO FERRAZ BRANCO  
APTA - Polo Regional Centro Leste / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 01 de agosto de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**DANILO DOS REIS CARDOSO PASSOS** – nascido em 17 de janeiro de 1992 na cidade de Santo Antônio de Jesus, Bahia. Filho de Edgar Rocha Passos e Luciana dos Reis Cardoso Passos; e irmão de Rafael dos Reis Cardoso Passos. Em 2011 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Durante a graduação participou do Programa de Educação Tutorial: Mata Atlântica, Conservação e Desenvolvimento, foi monitor da disciplina de botânica básica, realizou intercâmbio na França, onde estudou na AgroSup Dijon: Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques, estagiou no Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) e na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Em julho de 2017 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo pela UFRB. Em agosto de 2017 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho.

E nossa história  
Não estará  
Pelo avesso assim  
Sem final feliz  
Teremos coisas bonitas pra contar  
E até lá  
Vamos viver  
Temos muito ainda por fazer  
Não olhe pra trás  
Apenas começamos  
O mundo começa agora  
Apenas começamos.

Renato Russo

## **Agradecimentos**

A dissertação, pela sua finalidade acadêmica, é um trabalho individual, entretanto, nada teria sido realizado se não fosse a contribuição de natureza diversa de várias pessoas envolvidas nesse processo.

Aos meus pais, Edgar e Luciana, pelo amor incondicional, pelo incentivo aos estudos durante minha vida e principalmente por serem bons exemplos para seus filhos.

Ao meu irmão e melhor amigo, Rafael, por toda dedicação em me ajudar com o que for preciso.

Aos meus padrinhos, Ivan e Luzia, pelo carinho e suporte em inúmeros momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela excelente orientação, pelas oportunidades que me foram concedidas e principalmente pela convivência harmoniosa repleta de aprendizagem, incentivo e bons momentos.

Aos amigos do grupo de pesquisa em nutrição e adubação de hortaliças, Alexson Filgueiras, Beliza Queioz, Breno Pereira, Camila Seno, Carolina Seno, Isaías Reis, Leonardo Costa, Matheus Bianco, Paulo Henrique Soares, Tancredo Carlos e Víctor Vergara, pelas experiências compartilhadas e momentos de descontração.

Aos amigos de turma, Ariadne Marino, Carolina Cardoso, Clebson Praxedes, Juliana Souza, Kevein Ruas e Mirela Vantini, pelos momentos especiais dentro e fora do câmpus.

Aos amigos da Bahia, Adriana Barbosa, Ancelmo Cazuza, Breno Pereira, Carlos Henrique Barbosa, Larissa Silva, Maiara Alexandre e Patrícia Novais, pelo acolhimento, principalmente nos fins de semana.

Aos amigos de infância, Alan Lennon, Humberto Machado, João Ricardo Brito, Rodrigo França e Willian Fiuza, pela amizade ao longo da vida.

A Anne Vieira, Luiz Paulo Prado e Vitória Fonseca pela ajuda na implantação e condução do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal (Horticultura), Rosane Innocente, Sidnéia Ferreira e Wagner Aparecido, pela atenção e assistência.

Aos funcionários de campo da Horta, Cláudio Oian, Inauro Santana e Reinaldo dos Santos, que sempre estiveram disponíveis para ajudar nas atividades relacionadas ao experimento.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Jaboticabal-SP, pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro concedido para realização do curso de mestrado.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, estimulando-me intelectualmente e emocionalmente, expresso aqui os meus sinceros agradecimentos.



## SUMÁRIO

|                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMO.....                                                                                          | viii |
| ABSTRACT.....                                                                                        | ix   |
| LISTA DE TABELAS .....                                                                               | x    |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                                                | xi   |
| CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....                                                               | 1    |
| 1.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                  | 1    |
| 1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                       | 2    |
| 1.2.1 Características gerais da beterraba .....                                                      | 2    |
| 1.2.2 Fósforo na nutrição mineral da planta.....                                                     | 4    |
| 1.2.3 Potássio na nutrição mineral da planta .....                                                   | 8    |
| 1.3 REFERÊNCIAS.....                                                                                 | 11   |
| CAPÍTULO 2 – Resposta da beterraba a doses de fósforo em Latossolo com alto teor do nutriente .....  | 16   |
| RESUMO.....                                                                                          | 16   |
| 2.1 INTRODUÇÃO .....                                                                                 | 17   |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                          | 19   |
| 2.2.1 Localização e caracterização da área experimental .....                                        | 19   |
| 2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....                                                  | 19   |
| 2.2.3 Instalação e condução do experimento .....                                                     | 20   |
| 2.2.4 Características avaliadas.....                                                                 | 21   |
| 2.2.5 Análise estatística.....                                                                       | 22   |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                     | 23   |
| 2.4 CONCLUSÕES .....                                                                                 | 28   |
| 2.5 REFERÊNCIAS.....                                                                                 | 28   |
| CAPÍTULO 3 – Resposta da beterraba a doses de potássio em Latossolo com alto teor do nutriente ..... | 30   |
| RESUMO.....                                                                                          | 30   |
| 3.1 INTRODUÇÃO .....                                                                                 | 31   |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                          | 32   |
| 3.2.1 Localização e caracterização da área experimental .....                                        | 32   |
| 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....                                                  | 32   |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.2.3 Instalação e condução do experimento ..... | 33 |
| 3.2.4 Características avaliadas.....             | 34 |
| 3.2.5 Análise estatística.....                   | 34 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                 | 35 |
| 3.4 CONCLUSÕES .....                             | 41 |
| 3.5 REFERÊNCIAS.....                             | 42 |

## RESPOSTA DA BETERRABA A DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO EM LATOSSOLO COM ALTOS TEORES DESSES NUTRIENTES

**RESUMO** – Em solos onde o cultivo de hortaliças e a aplicação de fertilizantes minerais são constantes, os teores dos nutrientes nestes locais podem aumentar consideravelmente, principalmente fósforo (P) e potássio (K), que estão entre os três nutrientes mais aplicados nas culturas agrícolas. Assim, objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de fósforo e de potássio em Latossolo com altos teores destes nutrientes. Foram realizados dois experimentos em campo, o delineamento experimental de ambos foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2 e 4 x 2 para os experimentos de P e de K, respectivamente, com quatro repetições. Em ambos experimentos foram utilizadas duas cultivares ('Early Wonder' e 'Kestrel'). As doses de P foram 0, 120, 240, 360 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e as doses de K foram 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Aos 50 dias após o transplante avaliaram-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e boro na folha diagnose. Produtividade e acúmulo de nutrientes foram feitos na colheita. Nos dois experimentos, teores de P e K no solo eram altos. Os acúmulos para todos os nutrientes avaliados na 'Early Wonder' na parte aérea e na raiz tuberosa foram superiores a 'Kestrel' em ambos experimentos. Não foi observado efeito das doses de P e de K na produtividade. Em Latossolo com teor alto de P e de K disponível, as cultivares 'Early Wonder' e 'Kestrel' não respondem de forma diferenciada à adubação fosfatada e potássica com relação à produtividade, portanto, não se recomenda adubar a cultura da beterraba com estes nutrientes em Latossolo com altos teores dos dois nutrientes.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., Folha diagnose, Adubação fosfatada, Adubação potássica, Acúmulo de nutrientes

## RESPONSE OF BEET TO DOSES OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN OXISOL WITH HIGH CONTENT OF THESE NUTRIENTS

**ABSTRACT** – In soils where vegetable cultivation and mineral fertilizer application are constant, nutrient levels at these sites can increase considerably, especially phosphorus (P) and potassium (K), which are among the three most commonly applied nutrients in agricultural crops. Thus, the objective was to evaluate the response of beet to phosphorus and potassium doses in Oxisol with high levels of these nutrients. Two field experiments were carried out and the experimental design was randomized blocks in a 5 x 2 and 4 x 2 factorial scheme for the P and K experiments, respectively, with four replications. In both experiments two cultivars ('Early Wonder' and 'Kestrel') were used. The doses of P were 0, 120, 240, 360 and 480 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; and the K rates were 0, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. At 50 days after transplantation, the levels of nitrogen, phosphorus, potassium and boron in the diagnosis leaf were evaluated. Productivity and nutrient accumulation were measured at harvest. In both experiments, soil P and K contents were high. The accumulations for all nutrients evaluated in 'Early Wonder' in the shoot and root were higher than 'Kestrel' in both experiments. No effect of P and K doses on yield was observed. In Oxisol with high content of P and K, 'Early Wonder' and 'Kestrel' cultivars do not respond differently to phosphate and potassium fertilization regarding to yield, so it is not recommended to fertilize beet crop with these nutrients in Oxisol with high levels of both nutrients.

**Keywords:** *Beta vulgaris* L., Diagnosis leaf, Phosphate fertilization, Potassium fertilization, Nutrient accumulation

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                         | página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CAPÍTULO 1 – Considerações gerais .....                                                                                                                                                                                                 | 1      |
| <b>Tabela 1.</b> Quantidade de elementos contida em cem gramas da parte comestível da beterraba hortícola. ....                                                                                                                         | 4      |
| CAPÍTULO 2 – Resposta da beterraba a doses de fósforo em Latossolo com alto teor do nutriente .....                                                                                                                                     | 16     |
| <b>Tabela 1.</b> Dados meteorológicos do período experimental. ....                                                                                                                                                                     | 19     |
| <b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para teor de N, P, K e B na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba, aos 50 dias após o transplante e para produtividade, em função de cultivares e doses de fósforo. .... | 23     |
| <b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para acúmulo de N, P, K e B na parte aérea (PA) e raiz tuberosa (RT) da beterraba, na colheita, em função de cultivares e doses de P. ....                                              | 26     |
| <b>Tabela 4.</b> Acúmulos médios de N, P, K e B na parte aérea, raiz tuberosa e total pela cultura da beterraba. ....                                                                                                                   | 27     |
| CAPÍTULO 3 – Resposta da beterraba a doses de potássio em Latossolo com alto teor do nutriente .....                                                                                                                                    | 30     |
| <b>Tabela 1.</b> Resumo da análise de variância para o teor de N, P, K e B na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba, aos 50 dias após o transplante, e para produtividade em função de cultivares e doses de K. ....     | 35     |
| <b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para acúmulo de N, P, K e B na parte aérea (PA) e raiz tuberosa (RT) da beterraba, na colheita, em função de cultivares e doses de K. ....                                              | 38     |
| <b>Tabela 3.</b> Acúmulos médios de N, P, K e B na parte aérea, raiz tuberosa e total pela cultura da beterraba. ....                                                                                                                   | 40     |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                       | <b>página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| CAPÍTULO 3 – Resposta da beterraba a doses de potássio em Latossolo com alto teor do nutriente .....                                                  | 30            |
| <b>Figura 1.</b> Teor foliar do nitrogênio e do potássio na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba em função das doses de potássio..... | 36            |
| <b>Figura 2.</b> Acúmulos de fósforo e potássio na raiz da beterraba, na colheita, em função das doses de potássio.....                               | 39            |

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

A tendência atual do sistema de exploração agrícola tem sido aumentar a produtividade das culturas associada à redução nos custos de produção. Portanto, é necessário que as práticas culturais como a adubação seja eficiente. Informações sobre a quantidade dos nutrientes contidos nas plantas é fundamental para avaliar a nutrição e a capacidade de remoção dos nutrientes das culturas agrícolas (Kano et al., 2010).

Uma das características das espécies olerícolas é o rápido crescimento e, conseqüentemente, acúmulo de matéria seca em pouco tempo (Paula et al., 2011). Com isso, a nutrição mineral é vista como um dos principais fatores que tem limitado a produção desse grupo de plantas. Além disso, os fertilizantes chegam a representar até 25% do custo total de produção em algumas culturas olerícolas (Cepea, 2011).

A cultura da beterraba apresenta ciclo curto, sistema radicular pouco profundo e alta demanda por nutrientes (Tivelli et al., 2011). A absorção de nutrientes pelas plantas de beterraba é contínua até os 40 dias após a semeadura, tornando-se mais intensa a partir dos 60 dias, quando a raiz apresenta maior incremento de massa (Tivelli et al., 2011; Cardoso et al., 2017). Com o cultivo intenso de hortaliças na mesma área, associado a intensas adubações no solo, em algumas situações podem ocorrer o aumento do teor de nutrientes no solo, principalmente de fósforo (P) e potássio (K). De acordo com Trani e Raij (1997), quando o teor de P no solo encontra-se acima de  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ , e acima de  $3,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$  para o K, são classificados como solos que apresentam elevado teor desses nutrientes.

A adubação fosfatada pode promover incrementos significativos na produtividade da beterraba (Oliveira et al., 2016); porém, quando manejada de maneira inadequada, seja pelo excesso, seja pela insuficiência de P, pode ocasionar distúrbios fisiológicos, afetar a produtividade da cultura e, conseqüentemente, gerar perdas econômicas ao produtor.

O K é o nutriente extraído do solo em maior quantidade pela beterraba (Grangeiro et al., 2007; Cardoso et al., 2017; Silva et al., 2017) e a recuperação desse

nutriente pela planta pode ser influenciado por diversos fatores, dentre eles, o teor e a disponibilidade de K no solo. Por isso, deve-se considerar aspectos como a quantidade de fertilizante a ser aplicado, pois o excesso de K pode interferir na absorção de outros nutrientes e comprometer a produtividade da cultura.

O programa de adubação da maioria das culturas agrícolas, principalmente nas hortaliças, não leva em consideração as características varietais das espécies. As recomendações de adubação são baseadas, geralmente, na cultivar mais utilizada na época da experimentação.

Para que a planta possa expressar o seu máximo potencial genético, vários fatores ambientais interferem diretamente no processo, como temperatura, fotoperíodo e nutrição mineral. A previsão do comportamento do desenvolvimento da cultura da beterraba em um local específico é dificultada por causa das especificidades ambientais em cada local, tornando-se necessário a realização de ensaios de campo para se conhecer a fenologia e a demanda nutricional das diferentes cultivares (Resende et al., 2016).

São raras as pesquisas sobre adubação fosfatada e potássica no desempenho nutricional de cultivares de beterraba em solos com altos teores de P e K. A crescente dependência da cultura por fertilizantes, o custo elevado dos insumos agrícolas, as reservas finitas de fósforo e de potássio e a preocupação com o meio ambiente são fatores que exigem melhoria constante no manejo da fertilização dos cultivos.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de P e de K em Latossolo com altos teores desses nutrientes.

## **1.2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.2.1 Características gerais da beterraba**

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) pertence à família Chenopodiaceae, é originária da região Mediterrânea da Europa (Trani et al., 2018). Existem três tipos de beterraba: a açucareira, a forrageira e a hortícola, sendo esta última a mais cultivada no Brasil e é conhecida como beterraba de mesa ou vermelha (Tivelli et al., 2011).



A comercialização da raiz pela Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), em 2015, correspondeu a 28.630 toneladas (Agrianual, 2017), sendo a 15ª hortaliça mais comercializada nas CEASAs do Brasil (HFBrasil, 2019). De acordo com o Programa de Modernização do Mercado Hortifrutigranjeiro (PROHORT), entre 2015 e 2017, o volume comercializado gerou receita de R\$ 250 milhões. Os estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná são os três os maiores produtores e, juntos com Bahia e Goiás, representam cerca de 87% da comercialização de beterraba no Brasil (HFBrasil, 2019). De acordo com as principais centrais de comercialização (CEAGESP e CEASAs) do Brasil, o preço de 1 kg de beterraba no primeiro semestre de 2019 correspondeu a R\$ 1,65 (CEAGESP, 2019).

Os solos recomendados para o cultivo são os argilo-arenosos ou areno-argilosos, com alto teor de matéria orgânica e pH na faixa de 5,5 a 6,2 (Echer et al., 2007). Fatores edafoclimáticos podem interferir diretamente na produtividade, podendo ser minimizados pela nutrição adequada da cultura (Malavolta, 2006).

Para a realização do manejo adequado da adubação de cada cultura, dados sobre os teores dos nutrientes que estão disponíveis no solo e na planta, assim como a quantidade que é requerida pela cultura, são fundamentais para a adequação do programa de adubação da cultura (Oliveira et al., 2016).

Dentre as cultivares plantadas no Brasil, a 'Early Wonder' é a mais utilizada pelos produtores e tradicionalmente cultivada no estado de São Paulo. Caracteriza-se por ser precoce, possuir raízes globulares e coloração púrpura (Oliveira et al., 2016). Entretanto, o número de cultivares híbridas vem aumentando (Cardoso et al., 2017).

O consumo regular de beterraba na dieta pode auxiliar na proteção e prevenção contra doenças relacionadas ao estresse oxidativo, como alguns tipos de câncer. A parte aérea é altamente nutritiva e espera-se que a demanda para o consumo humano aumente à medida que as folhas recém desenvolvidas façam parte do mix de folhas para saladas no segmento de "baby leaf" (Tivelli et al., 2011).

A beterraba contém na parte aérea e nas raízes, elementos que lhe proporcionam valor nutritivo, o que confere a importância da sua utilização na alimentação humana (Tabela 1).

**Tabela 1.** Quantidade de elementos contida em cem gramas da parte comestível da beterraba hortícola.

| Componente              | Parte aérea | Raiz |
|-------------------------|-------------|------|
| Água (%)                | 90,9        | 87,3 |
| Valor energético (cal)  | 24          | 43   |
| Carboidratos totais (g) | 4,6         | 9,9  |
| Cálcio (mg)             | 119         | 16   |
| Fósforo (mg)            | 40          | 33   |
| Sódio (mg)              | 130         | 60   |
| Potássio (mg)           | 570         | 335  |
| Vitamina A (U.I.)       | 6100        | 20   |

Fonte: Adaptado de Tivelli et al., 2011.

A beterraba se destaca como importante fonte alimentar natural de nutrientes, como o fósforo e o potássio. O manejo adequado desses elementos no sistema de adubação da cultura permitirá que a planta absorva a quantidade de nutrientes necessária para seu crescimento e desenvolvimento. Permitindo assim, que a ingestão das raízes e folhas da beterraba contenham quantidades ideais dos nutrientes que ela disponibilizar.

### 1.2.2 Fósforo na nutrição mineral da planta

Na maioria dos solos brasileiros, a quantidade de nutrientes disponíveis não é capaz de atender a demanda das culturas, havendo necessidade da utilização de adubos para suprir a exigência nutricional. Assim, a quantidade de adubo a ser aplicado depende da exigência de cada cultura e, também, de outros fatores como a fertilidade do solo e a eficiência da adubação (Rouached e Rhee, 2017).

Os solos tropicais apresentam minerais com carga variável e são caracterizados por serem profundos, retêm baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e são intemperizados por causa da decomposição dos minerais primários. Nesses tipos de solos predominam os minerais de argila 1:1 e óxidos de Fe e Al, o que permite grande capacidade de adsorção aniônica. A presença de grupamentos  $\text{OH}^{-1}$  nas faces quebradas das partículas de caulinita e na superfície dos óxidos permite que a maioria das cargas sejam dependentes de pH ou variáveis (Camenar et al., 2018).

Esses solos tropicais apresentam pequena quantidade de P disponível na profundidade de 0 a 20 cm. Geralmente, são solos ácidos e possuem grande potencial de adsorção de P nas cargas positivas dos óxidos de alumínio e ferro, prejudicando a disponibilidade do nutriente e a sua absorção pelas plantas (Hopkins e Ellsworth, 2005; Malavolta, 2006). Além disso, existem outros fatores que afetam a disponibilidade de P, como temperatura, aeração, pH, umidade, a própria planta, teor de P e outros elementos no solo (Prado, 2008).

A afinidade específica do fósforo com os hidróxidos e óxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita) do solo permitem reter o fósforo no sistema, tornando-o assim menos disponível à absorção pelas plantas e também a lixiviação. Os solos com textura muito argilosa e que possuem altas quantidades de óxidos, tendem a apresentar elevada capacidade de adsorção de fosfatos, a qual presume ser distinta de acordo com as formas dos óxidos de ferro (Bahia Filho et al., 1983).

Desta forma, o solo perde a função de fonte de P para as plantas e, desempenha papel de dreno, fixando o P na fase sólida, configurando um fator limitante para a produtividade agrícola do Brasil (Novais et al., 2007).

O conhecimento dos atributos do solo que influenciam na adsorção de P é de extrema importância para o aprimoramento do diagnóstico da sua dinâmica no solo e de sua disponibilidade para os vegetais (Hopkins e Ellsworth, 2005).

Os adubos fosfatados, quando aplicados no solo, sofrem reações químicas que podem diminuir a disponibilidade do nutriente para as plantas. Estima-se que apenas 15 a 25% do P aplicado no solo é absorvido pelas plantas (Cardoso et al., 2017).

Outro fator que pode diminuir a eficiência de aproveitamento de P são as características da cultura. Plantas que apresentam rápido crescimento e sistema radicular pouco desenvolvido possuem menor eficiência (Raij, 2001), características que podem ser encontradas na beterraba e na maioria das hortaliças. Esta menor eficiência pode causar a elevação do teor do nutriente no solo.

O P é responsável por várias funções como fornecer e armazenar energia na fotossíntese e respiração, síntese de ácido nucléico, ativação e inativação de enzimas, síntese e estabilidade de membrana, sinalização no metabolismo de carboidratos, síntese de proteínas, fixação biológica de nitrogênio, absorção iônica, dentre outras (Hawkesford et al., 2012).

Apesar de se concentrar, principalmente, nas flores e frutos, o P é importante no desenvolvimento do sistema radicular, cujo principal função é a absorção de água e nutrientes (Vance et al., 2003).

Nas folhas da beterraba, o teor adequado de P varia entre 2 e 4 g kg<sup>-1</sup> (Trani e Raij, 1997). A probabilidade de toxicidade com o P aumenta em teores mais elevados, partir de 10 g kg<sup>-1</sup> da matéria seca foliar. A determinação dos níveis críticos de P no solo e na planta são necessários para o estabelecimento da dose adequada a ser aplicada do fertilizante fosfatado, permitindo maior eficiência no manejo da adubação, uma vez que, a concentração de P varia entre as espécies, amostragem, condições edafoclimáticas, idade da planta e manejo da adubação (Oliveira et al., 2016).

A exigência de P disponível para obter mais de 90% do potencial produtivo nas culturas agrícolas é maior nas hortaliças. Por exemplo, nas culturas perenes anuais (frutíferas, forrageiras, florestais) necessita-se de 16 e 40 mg dm<sup>-3</sup> de P no solo e, para as hortaliças, o teor está entre 26 e 60 mg dm<sup>-3</sup> (Trani e Raij, 1997). De acordo com Trani et al. (1997), a recomendação de adubação com P para a cultura da beterraba em solo com alto teor (> 60 mg dm<sup>-3</sup>) do nutriente é de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

A resposta das culturas agrícolas mediante a aplicação de adubos fosfatados depende da quantidade de P que está disponível no solo, bem como da cultura que está sendo cultivada. Cultivos em solos deficientes em P disponível, geralmente, apresentarão boa resposta à aplicação de P; entretanto, se o teor de P no solo estiver acima de 70 mg dm<sup>-3</sup>, dificilmente haverá resposta da planta a adubação fosfatada (Nunes et al., 2011).

O fornecimento inadequado, seja pelo excesso, seja pela insuficiência de nutrientes, pode ocasionar distúrbios fisiológicos e afetar a produtividade da cultura. Assim, para o sucesso do cultivo, é necessário que se estabeleça o planejamento do manejo da adubação, definindo as concentrações de nutrientes e as fontes dos fertilizantes a serem utilizados (Fernandes et al., 2011).

A maioria das culturas agrícolas, principalmente as hortaliças, extraem pequenas quantidades de P do solo. Em trabalhos envolvendo a absorção de P, Grangeiro et al. (2007) observaram que a beterraba 'Early Wonder', em campo, acumulou 10,22 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto em hidroponia para a mesma cultivar, Gondim et al. (2011) constataram 9,3 kg ha<sup>-1</sup>.

Em casos de excesso de P nas plantas, em geral, os sintomas não são reconhecidos diretamente, mas pode induzir a deficiência de micronutrientes como cobre, ferro, manganês e zinco. Também, pode causar redução de biomassa e, ainda, como os genes que codificam as proteínas transportadoras tem alta afinidade para a absorção de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , o excesso de P pode desregular esta síntese (Malavolta, 2006; Hawkesford et al., 2012).

Quando o solo está saturado com P, existe a preocupação da contaminação de águas superficiais e subsuperficiais. Ao ser erodido, o solo saturado por P pode apresentar maior lixiviação desse elemento, visto que, solos mais saturados em P têm menor capacidade de adsorção do nutriente em relação aos menos saturados. Devido a isso, em solos saturados, o P poderá permanecer em maiores concentrações em solução ou solúvel em água o que favorece sua lixiviação para as camadas subsuperficiais e lençóis freáticos, portanto, a contaminação dos mananciais de água pelo elemento P é um problema ambiental muito estudado, pois causa a eutrofização desses recursos hídricos (Klein e Agne, 2012).

Outra alteração importante é o surgimento de cargas negativas na superfície dos minerais. A maior saturação por causa dos adubos fosfatados ocasionam maior dispersão dos constituintes, devido ao aumento de cargas negativas originárias desse ânion que tende a se repulsar, portanto o grande problema quando ocorre a dispersão é que o solo fica mais exposto a erosão (Santos et al., 2008).

Quando os solos são tratados por resíduos que dispõem de elevadas concentrações de ferro e alumínio, possuem maior capacidade de retenção de P, pois esses dois elementos aumentam a capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo. Os solos que são tratados com resíduos de origem orgânica tendem a aumentar a lixiviação desse elemento, pois a matéria orgânica adicionada obstrui a superfície que poderia adsorvê-lo (Klein e Agne, 2012).

É importante destacar que a legislação brasileira não reconhece o P como uma forma de contaminante do solo, reforçando a percepção do agricultor de que a adubação fosfatada deve obedecer apenas a critérios produtivos e econômicos, não levando em conta os problemas ambientais (Gebler et al., 2012). Entretanto, deve-se considerar a eficiência de uso do P quanto aos aspectos ambientais e de sustentabilidade, não apenas em relação aos econômicos e agrônômicos.

### 1.2.3 Potássio na nutrição mineral da planta

O K é um mineral essencial às plantas, sua forma de absorção é o íon  $K^+$ , que é facilmente absorvido pelas raízes. Possui inúmeras funções nos vegetais, atua no crescimento, produtividade e qualidade, tais como controle de água na planta (extensão celular, abertura dos estômatos, transporte no floema, compensação de carga); ativador das principais enzimas (ATPase, das sínteses de amido e de proteínas); na resistência aos estresses (seca, salinidade e baixa temperatura) e na resistência às doenças (Hawkesford et al., 2012).

O K também atua nos seguintes processos fisiológicos: melhor partição de carboidratos entre parte aérea e raiz, devido ao melhor carregamento de açúcares no floema; maior eficiência do uso da água e melhor taxa de fotossíntese (Malavolta, 2006).

O K está presente no solo nas formas K estrutural, K não trocável, K trocável e K em solução (Syers, 2003). As formas de K em solução e trocável são consideradas prontamente disponíveis às plantas e as demais formas constituem a reserva de K dos solos (Faria et al., 2012). Em solos tropicais, a dinâmica do K depende de alguns fatores como teor e tipo de argila, textura do solo, do pH e CTC. Esses fatores regulam a disponibilidade do K, uma vez que regulam a relação entre K na solução do solo e K adsorvido nos coloides (Bernardi et al., 2012).

Em solos tropicais teores trocáveis podem ser a reserva mais importante do K disponível. No solo, existem vários fatores que podem afetar a disponibilidade de K, como teor de argila, o umedecimento e secagem do solo, a temperatura, o valor do pH, entre outros (Prado, 2008).

Uma característica do K é que não é incorporado à fração orgânica, permanecendo na forma do íon ( $K^+$ ). Isso permite que quando o vegetal é reciclado após a colheita, o K presente nos tecidos retorne rapidamente ao solo (Hawkesford et al., 2012). No entanto, o teor de K no solo contempla faixas distintas de força de retenção, desde porções do elemento ligadas à estrutura dos minerais primários até as porções mais livres, solúveis em água (Trani et al., 2013). O K trocável representa

a fração disponível às plantas; entretanto, em alguns solos, formas não-trocáveis também podem fornecer, a curto prazo, K para as plantas (Novais et al., 2007).

Entre os efeitos do K sobre os processos na rizosfera podem ser mencionados: maior exsudação das raízes na rizosfera; redução do pH da rizosfera, melhorando a disponibilidade de P e de micronutrientes (Hömheld, 2005). Além desses benefícios, o K destaca-se como o nutriente da qualidade, pois ele atua diretamente no sabor, tamanho, cor, forma e resistência dos produtos hortícolas (Chitarra, 2005).

Para realizar a adubação potássica em determinada cultura, alguns principais fatores devem ser levados em consideração, como: manejo do solo, temperatura, umidade, quantidade de K disponível, forma predominante do K no solo (solúvel, trocável, não trocável e fixado) e CTC do solo (Malavolta, 2006). Além desses fatores, deve-se considerar outros aspectos como a dose junto ao tipo de fertilizante, e a época de aplicação que é um dos fatores que mais afeta a adubação potássica em uma cultura (Cardoso et al., 2017).

Segundo Malavolta (2005) e Koller (2006), diversos fatores podem influenciar a absorção de K pelas plantas, dentre eles pode-se citar sua disponibilidade, cuja absorção aumenta com a maior disponibilidade de K disponível na solução do solo; a presença de outros íons como excessos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no meio que diminuem a velocidade de absorção de K por competirem pelo mesmo carregador no processo ativo de absorção; a idade e velocidade de crescimento na medida em que a idade do tecido aumenta diminui a absorção de K; a temperatura por aumentar a difusão do K no solo em até o limite de 30°C devido ao aumento da respiração que fornece energia para o processo ativo de absorção e a umidade que quanto maior melhor é a absorção de K no solo o que favorece o mecanismo de contato íon raiz por difusão e aeração.

A agricultura tem priorizado o uso de fertilizantes com alta concentração de nutrientes e alta solubilidade, que permitem o fornecimento imediato do nutriente para as plantas. Como a quantidade desses fertilizantes produzidas no território brasileiro não é suficiente para suprir a demanda da agricultura brasileira por insumos, é necessário a importação o que ocasiona a dependência do Brasil por fertilizantes. Atualmente, a importação de adubos nitrogenados é de 78 %, a dos adubos fosfatados é de 53% e a dos adubos potássicos é de 92 % (IBRAM, 2015).

O K é considerado no comércio brasileiro o segundo nutriente mais comercializado e o fertilizante mais utilizado para seu fornecimento é o cloreto de potássio (KCl), pois apresenta menor custo por unidade de K, tendo eficiência agrônômica boa. Contém elevado índice salino, o que pode ser prejudicial ao crescimento inicial das plantas em solos com baixa capacidade de troca catiônica. Com isso, doses acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em solos argilosos ou acima de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em solos arenosos, deve-se parcelar a dose (Ernani et al., 2007).

As principais fontes potássicas minerais utilizadas na agricultura são o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o sulfato duplo de potássio e magnésio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.MgSO<sub>4</sub>) e o nitrato de potássio (Malavolta, 1996). Dos fertilizantes potássicos produzidos no mundo, 90% são na forma de cloreto de potássio (KCl), que é o fertilizante mais utilizado na agricultura (DNPM, 2012), por causa da alta concentração de K<sub>2</sub>O, 58 a 62 % de K<sub>2</sub>O e devido ao menor custo por unidade de potássio (Yamada e Roberts, 2005).

A beterraba é considerada uma planta exigente em K, absorvendo-o em maior quantidade que qualquer outro. Grangeiro et al. (2007), Cardoso et al. (2017) e Silva et al. (2017) verificaram que a ordem decrescente dos macronutrientes exportados pela raiz de beterraba foi K seguido por N, assim como para acumulados pela planta (parte aérea + raiz).

A beterraba absorve altas quantidades de K do solo; entretanto, nem sempre reflete em produtividade, o que caracteriza o consumo de luxo, isto é, extração de um nutriente acima da quantidade necessária para a nutrição adequada. Esse fato normalmente acontece em solos ricos em K trocável (Tivelli et al., 2011) e porque as plantas têm a capacidade de absorver mais K do que as suas necessidades (Meurer, 2006), interferindo assim na absorção e disponibilidade fisiológica de outros nutrientes para as plantas (Malavolta, 2006).

O sintoma de excesso de K pode ser confundido com o dano causado pela salinidade, que é alta nos principais fertilizantes potássicos. Pode ocorrer menor formação da lamela média da parede por falta de cálcio; distúrbios na formação de proteínas; quebra do funcionamento normal da membrana plasmática, vazamento de solutos e no uso da energia do ATP para sínteses, em geral (Prado, 2008).



Quando se aumenta o fornecimento de K é relativamente fácil aumentar o teor de K em vários órgãos das plantas. Quando a oferta de K é abundante, pode ocorrer interferência na absorção e disponibilidade fisiológica do magnésio e cálcio, o que proporciona desequilíbrios nas relações K/Mg e K/Ca; vazamento de solutos; instabilidade no funcionamento normal da membrana plasmática; diminuição da lamela média da parede por falta de cálcio e distúrbios na formação de proteínas e no uso da energia do ATP (Hawkesford, 2012).

Efeitos interiônicos entre os nutrientes catiônicos Ca, Mg e K geralmente ocorrem na forma de inibição competitiva ao nível de membrana celular (Epstein, 1975). De acordo com Malavolta (2006), tal processo ocorre quando dois elementos se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador. Isso pode ocorrer quando o solo está saturado por K, inibindo a absorção de Ca e Mg, podendo causar diminuição na produtividade por causa da deficiência de Ca e Mg. Hawkesford (2012) também relata que o K pode atravessar a membrana plasmática com alta velocidade, deprimindo a absorção de cátions como Ca e Mg, por serem mais lentos.

Para o estado de São Paulo, para solos com alto teor de K ( $> 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Trani et al. (1997) recomendam a aplicação de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  no plantio e de 30 a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  parceladas em três aplicações. Para Minas Gerais, também para situação de solo similar, Casali (1999) recomenda  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , sem adubação de cobertura.

### 1.3 REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2017: anuário da agricultura brasileira. Hortifrutas (2017). São Paulo: IEG/FNP 284 p.

Bahia Filho AFC, Braga JM, Resende M, Ribeiro AC (1983) Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 7:221-226.

Bernardi ACC, Rassini JB, Ferreira RP (2012) Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência de adubação potássica após dois anos de cultivo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 25p.

Camenar EL, Bach MA, Carvalho Júnior RM, Marangoni R, Zatta L (2018) Síntese e caracterização de hidróxidos e óxidos mistos Fe(III):Al com potencial aplicação como

pigmentos obtidos a partir da mistura dos géis de goethita e boehmita. **Cerâmica** 64:331-340.

Cardoso All, Magro FO, Oliveira Júnior MXO, Abrahão C, Tavares AEB, Fernandes DM (2017) Accumulation of macronutrients in beetroot plant. **Horticultura Brasileira** 35:328-334.

Casali VWD (1999) Beterraba. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VVH. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: CFSEMG. 359 p.

CEAGESP: Beterraba. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/beterraba>> Acesso em: 25 out. 2019.

CEPEA/HORTIFRUTI: Principais características da beterraba no BR. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruti-cepea-principais-caracteristicas-da-beterraba-no-br.aspx>> Acesso em: 12 abr. 2019.

CEPEA/HORTIFRUTI: Principais características da beterraba no BR. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruti-cepea-principais-caracteristicas-da-beterraba-no-br.aspx>> Acesso em: 12 abr. 2019.

Chitarra MIF, Chitarra AB (2005) Pós-colheita de frutos e hortaliças. Lavras: ESAL/FAEPE. 783 p.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral): Potássio Principais características da beterraba no BR. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-potassio>> Acesso em: 14 out. 2019.

Echer MM, Guimarães VF, Aranda AN, Bortolazzo ED, Braga JS (2007) Avaliação de mudas de beterraba em função do substrato e do tipo de bandeja. **Semina: Ciências Agrárias** 28:45-50.

Epstein E. (1975) **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo e Livros Técnicos e Científicos, 34p.

Ernani PR, Almeida JA, Santos FC (2007) Potássio. In: Novais, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** 1:551-594.

Faria AF, Alvarez VVH, Mattiello FM, Lima NJC, Felix BN, Nogueira PH (2012) Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science** 2:26-37.

Fernandes AM, Soratto RP, Silva BL (2011) Extração e exportação de nutrientes em Cultivares de batata: I – macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:2039-2056.

Gebler L, Louzadas JAS, Bertol I, Ramos RR, Miquelluti DJ, Schrammels BM (2012) Adaptação metodológica no cálculo de cargas contaminantes de P em bacias

hidrográficas gaúchas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 7:769–776.

Gondim ARO, Prado RM, Cecílio Filho AB, Alves AU, Correia MAR (2015) Boron foliar application in nutrition and yield of beet and tomato. **Journal of Plant Nutrition** 38:1573-1579.

Grangeiro LC, Negreiros MZ, Souza BS, Azevedo PE, Oliveira SL, Medeiros MA (2007) Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia** 31:267-273.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Møller IS, White P. (2012) Functions of macronutrients: phosphorus. In: Marschner H (3ed.) **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam: Academic Press p. 178-189.

Hömheld V (2005) Efeitos do potássio nos processos da rizosfera e na resistência das plantas às doenças. In: Yamada T, Roberts TL. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, p. 841.

Hopkins B, Ellsworth JW (2005) Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. In: 6<sup>th</sup> Western Nutrient Management Conference, Salt Lake City, Potash and Phosphate Institute, USA: Georgia p. 88-93.

Kano C, Cardoso All, Villas Boas RL (2010) Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira** 28:287-291.

Klein C, Agne SAA (2012) Fósforo: de nutriente à poluente!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** 8:1713-1721.

Koller OC (Org.) (2006) **Citricultura: 1.Laranja: tecnologia de produção, pós-colheita, industrialização e comercialização**. Editora Cinco Continentes, Porto Alegre, 396p.

Malavolta E (1996) **Nutri-fatos: Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas**. Arquivo do Agrônomo. Piracicaba: Potafos, 13p.

Malavolta E (2005) Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: Yamanda T, Roberts TL (Ed.) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, p.179-230.

Malavolta E (2006) **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p.

Meurer EJ (2006) Potássio. In: Fernandes MS **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p.281-298.

Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN (2007) Fósforo. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** 1:471-550p.

Nunes RS, Sousa DMG, Goedert WJ, Vivaldi LJ (2011) Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:877-888.

Oliveira RJP, Gatiboni LC, Valichesi RR, Miquelluti DJ, Brunetto G (2016) Calibração da adubação fosfatada e potássica para beterraba na região do Vale do Itajaí. **Horticultura Brasileira** 34:210-215.

Paula JAA, Medeiros JF, Neyton OM, Oliveira FA, Lima CJGS (2011) Metodologia para determinação das necessidades nutricionais de melão e melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:911– 916.

Prado RM (2008) **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP p. 407.

Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p.

Resende GM, Yuri JE, Costa ND, Mota JH (2016) Desempenho de cultivares de cenoura em sistema orgânico de cultivo em condições de temperaturas elevadas. **Horticultura Brasileira** 34:121-125.

Rouached H, Rhee SY (2017) System-level understanding of plant mineral nutrition in the big data era. **Current Opinion in Systems Biology** 4:71-77.

Santos DR, Gatiboni LC, Kaminski J (2008) Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Rural** 38:576-586.

Silva AO, Silva ÊFFE, Klar AE (2017) Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade. **Bragantia** 76:125-134.

Syers JK (2003) **Potassium in soils: current concepts**. In: Johnston AE, editor. Proceedings of the IPI Golden Jubilee Congress 1952-2002. Basel: International Potash Institute. p.301- 310.

Tivelli SW, Factor TL, Teramoto JRS, Fabri EG, Moraes ARA, Trani PE, May A (2011) Beterraba: do plantio à comercialização. Campinas: Instituto agrônomo, 45 p.

Trani PE, Raij B van (1997) Hortaliças. In: RAIJ, B van, Cantarella H, Ouaggio JÁ, Furlani AMC. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 285 p.

Trani PE, Raij B van, Cantarella, H Figueiredo, GJB (Org.) (2018) Beterraba. In: Trani PE, Breda Junior JM, Factor L Purquerio LFV, Lima Junior S, Tivelli WT. **Hortaliças, recomendação de calagem a adubação para o estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p. 41-43.

Trani PE, Terra MM, Tecchio MA, Teixeira LAJ, Hanasiro J (2013) Adubação orgânica de hortaliças frutíferas. Instituto Agrônomo de Campinas, 16 p.

Vance CP, Uhde Stone C, Allan DL (2003) Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157:423-447.

Yamada T, Roberts TL (2005) Potássio na Agricultura Brasileira. **Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato**. Piracicaba-SP, 841p.

## **CAPÍTULO 2 – Resposta da beterraba a doses de fósforo em Latossolo com alto teor do nutriente**

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de fósforo (P) em Latossolo com alto teor do nutriente. O experimento foi realizado em campo com delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2 com quatro repetições. As doses de P foram 0, 120, 240, 360 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e duas cultivares ('Early Wonder' e 'Kestrel'). Aos 50 dias após o transplante avaliaram-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e boro na folha diagnose. Produtividade e acúmulo de nutrientes foram feitos na colheita. Não houve interação dos fatores cultivares e dose de P para os teores foliares dos nutrientes. Os teores de P encontram-se acima da faixa adequada, inclusive para o tratamento controle que foi de 6,8 g kg<sup>-1</sup>. Os acúmulos para todos os nutrientes avaliados na 'Early Wonder' na parte aérea e na raiz tuberosa foram superiores aos encontrados na 'Kestrel'. Os nutrientes N, P e B acumularam-se preferencialmente nas raízes, enquanto K na parte vegetativa. As doses de P não influenciaram a produtividade. Em Latossolo com teor alto de P disponível, não se recomenda adubar a cultura da beterraba com o nutriente, pois não se verifica aumento de produtividade.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris*, macronutriente, adubação fosfatada, nutrição mineral

## 2.1 INTRODUÇÃO

O fósforo é absorvido em baixas quantidades pelas hortaliças, porém é necessário durante todo ciclo da beterraba, visto que desempenha papel fundamental no seu crescimento e desenvolvimento (Tivelli et al., 2011). Além disso, promove o aumento do sistema radicular e desempenha funções metabólicas importantes na planta (Hawkesford et al., 2012).

A adubação fosfatada para o cultivo da beterraba não considera as variações existentes entre as cultivares, sendo recomendadas doses de 60 a 360 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no estado de São Paulo (Raij et al., 2018) dependendo do teor do nutriente no solo. Entretanto, é comum que alguns produtores de hortaliças utilizem elevadas doses de adubos minerais, as quais podem conter fórmulas com altos teores de P independente dos teores do nutriente no solo, sem consultar recomendações técnicas e até mesmo sem fazer análise química para verificar a fertilidade atual do solo.

Nesse contexto, como as hortaliças possuem ciclo curto e são feitos vários cultivos ao longo do ano na mesma área; após alguns ciclos, torna-se comum a presença de teores muito elevados de nutrientes no solo e, particularmente de P, o que resulta na utilização demasiada de adubos fosfatados que podem ter implicações negativas para as culturas agrícolas e o meio ambiente, além de aumentar o custo de produção para os produtores.

Como as reservas mundiais de jazidas de rocha fosfática são finitas, torna-se necessário que este nutriente seja utilizado de forma eficiente. Por isso, torna-se necessário a otimização dos programas de adubação que objetivam melhorar a produtividade das culturas, reduzir o risco de problemas ambientais e minimizar custos de produção.

No cultivo de hortaliças, é recomendável que os teores de nutrientes no solo estejam na faixa de médio a alto (Trani, 2012). De acordo com o autor, quando os nutrientes no solo atingem a classificação muito alto, poderá ocorrer toxidez na planta; ou, interações de antagonismo ou inibição entre nutrientes. Para o P, ocorre inibição não competitiva do nutriente em relação ao zinco (Zn), a absorção de Zn pelas plantas pode ser dificultada devido aos altos teores de P no solo (Hawkesford et al., 2012).

Do ponto de vista ambiental, o P passa a ser considerado poluente quando está em excesso nos recursos hídricos, pois ocorre a eutrofização dos mesmos, e a consequente redução na quantidade de oxigênio dissolvido nas águas superficiais, que provavelmente causará a morte de peixes e de outros organismos aquáticos (Klein e Agne, 2012). Para os autores, o P chega às águas superficiais pela erosão do solo e, principalmente, pelos esgotos urbanos.

São raros os estudos envolvendo a adubação fosfatada na cultura da beterraba em solos com altos teores de P. Além disso, as informações encontradas na literatura indicam uma grande variação nas doses adequadas de P para o cultivo dessa hortaliça (Grangeiro et al., 2007; Sedyama et al., 2011; Silva et al., 2011 e Silva et al., 2017).

Quando os solos destinados para o cultivo apresentam teor de P acima de 60 mg dm<sup>-3</sup>, Trani et al. (2018) recomendam a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Entretanto, se o solo apresentar 50 ou 100% acima deste teor, deve-se manter a dose recomendada de fósforo? Não há pesquisas que responderam essa questão. Ademais, o elevado custo dos fertilizantes, o impacto ambiental causado pelo excesso e o esgotamento das reservas destes nutrientes são fatores que devem ser levados em consideração no planejamento do programa de adubação das hortaliças, como na cultura da beterraba.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de fósforo em Latossolo com alto teor do nutriente.



## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo no período de 26/06 a 25/09 de 2017, na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Jaboticabal (21°14'05" S, 48°17'09" O e 615 metros de altitude).

Os valores de temperatura mínima e máxima e de precipitação pluvial referentes ao período de condução do experimento (Tabela 1) foram provenientes de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Estação Agroclimatológica do Câmpus de Jaboticabal.

**Tabela 1.** Dados meteorológicos do período experimental.

| Mês      | Tmax.<br>(°C) | Tmin.<br>(°C) | Tmed.<br>(°C) | UR<br>(%) | Precipitação<br>pluvial (mm) | ND |
|----------|---------------|---------------|---------------|-----------|------------------------------|----|
| Junho    | 27,3          | 11,4          | 18,9          | 63,9      | 0                            | 0  |
| Julho    | 28,8          | 8,1           | 18,0          | 58,7      | 0                            | 0  |
| Agosto   | 34,8          | 9,8           | 21,0          | 58,3      | 17,1                         | 4  |
| Setembro | 34,9          | 12,6          | 24,4          | 36,5      | 0                            | 0  |
| Média    | 31,5          | 10,5          | 20,6          | 54,4      | -                            | -  |

Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico de textura muito argilosa, A moderado caulinítico-oxídico, relevo suave ondulado a ondulado (Santos et al., 2018).

### 2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi composto por 10 tratamentos conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, no esquema fatorial 2 x 5 e com quatro repetições. Os tratamentos resultam da combinação de duas cultivares de beterraba ('Kestrel' e 'Early Wonder') e cinco doses de P (0, 120, 240, 360 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Cada parcela foi composta por seis linhas; cada linha tinha 10 covas com duas plantas, o que proporcionou 496.000 plantas por hectare, considerando-se 6.200 m<sup>2</sup> de canteiros em 1 hectare. A

bordadura correspondeu às plantas que ficaram situadas na primeira e última linha de cada unidade experimental e a primeira e última planta de cada linha.

### *Características das cultivares*

Kestrel (Sakata): Híbrido de formato redondo, cor da raiz: vermelho intenso com diâmetro entre 6 e 7 cm, excelente uniformidade e peso de 180 a 200 g; pequena inserção foliar e plantas eretas; altura da folhagem de 45 a 50 cm. Início da colheita de 60 a 70 dias no verão e 80 a 90 dias no inverno. Indicada para semeadura direta e por mudas durante todo o ano.

Early Wonder Super Tall Top (Top Seed/Agristar): Planta não híbrida, precoce, com folhagem alta e coloração verde-escura intensa. Apresenta ciclo precoce e boa uniformidade. Raiz com formato arredondado, com casca lisa e coloração interna vermelha púrpura. Tamanho médio 7,5 x 7,5 cm; peso médio 260 g; ciclo médio 70 dias. Indicada para semeadura direta e por mudas durante todo o ano.

### **2.2.3 Instalação e condução do experimento**

O solo da área experimental foi coletado na camada de 0–20 cm de profundidade e apresentaram os seguintes. As análises químicas foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001) e observado pH de 6,0; 25 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 3,3; 26; 16;1 e 66,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K, Ca, Mg, Al e CTC, respectivamente, 88 e 10 mg dm<sup>-3</sup> de P e S, respectivamente. O teor de P no solo é considerado alto por Trani e Raij (1997). Os teores de argila, areia e silte do solo corresponderam a 615, 253 e 132 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Três meses antes do plantio foi realizada calagem para elevar a saturação por bases a 80%, conforme recomendação de Trani e Raij (1997). Não foi realizada a adubação orgânica e o preparo do solo foi feito com aração, gradagem e rotoencanteirador, para formação dos canteiros.

As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 200 células e preenchidas com substrato comercial Bioplant, sem adubação adicional. Foi realizado o desbaste deixando duas plantas por célula e, aos 30 dias após a semeadura, quando

as mudas apresentaram quatro folhas, foram transplantadas para o campo. O espaçamento utilizado foi de 0,25 m entre linhas e 0,10 m entre plantas na linha.

Para a adubação de plantio aplicou-se 20 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) a lanço. Através de pulverização no solo foi aplicado 2 kg ha<sup>-1</sup> de B (ácido bórico) e 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco) antes do plantio (Trani e Raij, 1997). As doses de P, previstas nos tratamentos, foram aplicadas totalmente no plantio, utilizando superfosfato triplo como fonte de P (41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 7 a 12% de Ca). Em cobertura, foram aplicados 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, ambos parcelados em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após o transplante.

O controle de plantas-daninhas foi realizado por meio de capina manual. Para o controle fitossanitário, foi utilizado o inseticida Mospilan WG (Acetamiprido) e o fungicida Amistar WG (Azoxistrobina).

A irrigação foi realizada via aspersão (aspersores ZE-30D da Asbrasil, com bocais de 4,5 x 5,5 mm de diâmetro) conforme a necessidades hídrica da cultura.

A colheita das plantas em todos os tratamentos foi realizada quando as raízes tuberosas apresentavam tamanho comercial adequado (6 a 8 cm de diâmetro transversal), o que aconteceu para todas as parcelas, em 25 de setembro de 2017, perfazendo-se 91 dias do transplante até a colheita.

## **2.2.4 Características avaliadas**

### **Teor de N, P, K e B na folha diagnose da beterraba**

Aos 50 dias após o transplante, realizou-se a coleta da folha diagnose para avaliação do estado nutricional (última folha recém desenvolvida que apresenta tamanho semelhante as anteriores) Trani e Raij (1997). Foram coletadas 10 folhas de cada parcela no período da manhã e levadas ao laboratório, onde foram lavadas em água corrente e posteriormente com água deionizada. Após a remoção do excesso de água, as amostras foram colocadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65±5 °C, até atingirem massa constante. Após a secagem, foram moídas no moinho tipo Willey. Os preparados dos extratos foram realizados segundo a metodologia de Miyasawa et al. (2009).

**Acúmulo de N, P, K e B da parte aérea e da raiz tuberosa, na colheita da beterraba**

Foi calculado mediante o produto entre o teor dos nutrientes obtidos na parte aérea e na raiz tuberosa, ao final do ciclo pela massa seca correspondente. A massa seca das folhas e das raízes foram determinadas em balança analítica (duas casas decimais). O total acumulado pela planta correspondeu a soma das quantidades acumuladas na parte aérea e raiz tuberosa. Como exportação, foram consideradas as quantidades de nutrientes acumulados na raiz tuberosa da beterraba.

**Produtividade**

Foi calculada considerando-se todas as raízes tuberosas produzidas na área útil das unidades experimentais. A quantidade obtida em kg m<sup>-2</sup> foi estimada para kg ha<sup>-1</sup>.

**2.2.5 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $\alpha \leq 5\%$ ). As cultivares foram comparadas pelo teste F e foi realizado estudo de regressão para doses de P. Foram escolhidas as equações significativas, de maior ordem e coeficiente de determinação para a elaboração dos gráficos. Em todas as análises utilizou-se o programa estatístico *AgroEstat* (Barbosa e Maldonato Júnior, 2015).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação dos fatores cultivares e dose de P nos teores foliares dos nutrientes avaliados na folha diagnose, aos 50 dias após o transplante, mas verificou-se efeito isolado apenas para o fator cultivares (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para teor de N, P, K e B na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba, aos 50 dias após o transplante e para produtividade, em função de cultivares e doses de fósforo.

| Causas da Variação                     | Valores de F                   |                   |                     |                   | Produtividade           |
|----------------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
|                                        | N                              | P                 | K                   | B                 |                         |
| Cultivares (C)                         | 13,7** <sup>1</sup>            | 36,9**            | 0,1 <sup>ns</sup>   | 4,8*              | 1,90 <sup>ns1</sup>     |
| Doses de P (P)                         | 1,6 <sup>ns</sup>              | 0,7 <sup>ns</sup> | 1,3 <sup>ns</sup>   | 2,3 <sup>ns</sup> | 0,23 <sup>ns</sup>      |
| C x P                                  | 0,9 <sup>ns</sup>              | 0,3 <sup>ns</sup> | 2,3 <sup>ns</sup>   | 1,7 <sup>ns</sup> | 0,23 <sup>ns</sup>      |
| CV (%)                                 | 9,9                            | 9,8               | 16,8                | 29,9              | 16,52                   |
| <hr/>                                  |                                |                   |                     |                   |                         |
| Cultivares                             | Médias dos Teores              |                   |                     |                   | Médias da produtividade |
|                                        | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |                   | mg kg <sup>-1</sup> |                   | kg ha <sup>-1</sup>     |
| ‘Early Wonder’                         | 25,2 a                         | 7,7 a             | 60,6 a              | 44,8 a            | 33.011,9 a              |
| ‘Kestrel’                              | 22,5 b                         | 6,4 b             | 61,6 a              | 36,4 b            | 30.717,4 a              |
| DMS                                    | 1,5                            | 0,5               | 6,6                 | 7,9               | 3.416,4                 |
| <hr/>                                  |                                |                   |                     |                   |                         |
| Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Médias dos Teores              |                   |                     |                   | Médias da produtividade |
|                                        | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |                   | mg kg <sup>-1</sup> |                   | kg ha <sup>-1</sup>     |
| 0                                      | 23,9                           | 6,7               | 57,1                | 40,3              | 30.298,6                |
| 120                                    | 22,1                           | 6,9               | 67,0                | 36,8              | 32.034,6                |
| 240                                    | 24,1                           | 7,2               | 60,7                | 38,2              | 32.123,7                |
| 360                                    | 24,3                           | 7,1               | 57,7                | 51,8              | 32.488,0                |
| 480                                    | 24,9                           | 7,2               | 63,1                | 35,9              | 32.378,2                |
| DMS                                    | 3,4                            | 1,0               | 15,0                | 17,7              | 7.689,1                 |

<sup>1</sup> Teste F, \* p < 0,05; \*\* p ≤ 0,01; <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa

O teor foliar de N (Tabela 2) está abaixo da faixa dos teores recomendados para a beterraba, que é de 30 a 50 g kg<sup>-1</sup> (Trani et al., 2018). Mesmo apresentando teores de N aquém da faixa adequada, não foram constatados sintomas visuais de deficiência nutricional de N nos tratamentos. Esses valores estão próximos do teor máximo estimado de 32,9 g kg<sup>-1</sup> de N, observado por Avalhães et al. (2009), quando avaliaram o crescimento das plantas de beterraba, cultivar ‘Early Wonder’, em função de doses de P.

Os teores de P (Tabela 2) encontram-se acima da faixa recomendada por Trani et al. (2018), que é de 2 a 4 g kg<sup>-1</sup>. O teor médio foi alto (7,0 g kg<sup>-1</sup>), até mesmo para o tratamento controle, que apresentou 6,8 g kg<sup>-1</sup>. Esses valores elevados refletem o resultado da análise química do solo para o teor de P, que estava com 88 mg dm<sup>-3</sup>. No entanto, não foram observados sintomas de toxidez por P (clorose nas bordas das folhas velhas e raízes claras), mesmo na dose máxima de P em que o teor foi de 7,2 g kg<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos neste estudo são semelhantes ao encontrado por Oliveira et al. (2016), que em experimento com 'Early Wonder' e dose de 333 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, verificaram que o teor máximo de P na diagnose foi de 7,8 g kg<sup>-1</sup>.

O K foi o nutriente que apresentou maior teor na folha da beterraba (Tabela 2). Os teores estimados variaram de 57,1 a 67,0 g kg<sup>-1</sup> e encontram-se acima do intervalo de 20 a 40 g kg<sup>-1</sup>, considerado adequado por Trani et al. (2018). Entretanto, a grande maioria dos trabalhos acadêmicos utilizados na revisão de literatura desse trabalho apresentam teores de K para a beterraba acima da faixa considerada como adequada.

O teor estimado de B na folha diagnose variou de 35,9 a 51,8 mg kg<sup>-1</sup> e a faixa recomendada por Trani et al. (2018) é de 40 a 80 mg kg<sup>-1</sup>. As doses de 0 e 360 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentaram teores de B acima de 40 mg kg<sup>-1</sup>. Os resultados encontrados neste trabalho se aproximam dos teores de B (33 a 49 mg kg<sup>-1</sup>) encontrados por Gondim et al. (2015), para a beterraba 'Early Wonder'.

Não houve interação dos fatores e nem efeito isolado de cultivar e dose de P na produtividade (Tabela 2). Não houve ajuste de equação polinomial para as médias de produtividade em função das doses de P.

Como não ocorreu diferença estatística entre as doses, foi calculada a média da produtividade do experimento, que correspondeu a 31,86 t ha<sup>-1</sup>, a qual encontra-se dentro da faixa adequada para a cultura, que é de 30 a 50 t ha<sup>-1</sup> (Tivelli et al., 2011).

A diferença da média da produtividade no tratamento controle e no tratamento com a dose máxima de P foi de apenas 2,08 t ha<sup>-1</sup> de raízes de beterraba. A ausência de resposta da planta a adubação fosfatada, mesmo com doses elevadas, está relacionada com os altos teores de P apresentados na análise química de solo, que estava com 88 mg dm<sup>-3</sup>. De acordo com Trani et al. (2018), o teor encontrado nesse solo é considerado alto e a adubação recomendada é de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

Neste estudo, não houve resposta da beterraba a doses de P; entretanto, a maioria dos trabalhos científicos encontrados na literatura encontrou resposta da beterraba a adição de adubos fosfatados, como no trabalho de Silva et al. (2019) que verificaram máximas produtividades de 21,71 t ha<sup>-1</sup> e 22,59 t ha<sup>-1</sup> para 'Early Wonder' e 'Kestrel', respectivamente; porém em Argissolo Vermelho-Amarelo (2,0 mg dm<sup>-3</sup> de P), com baixo teor de P no solo.

Oliveira et al. (2016), que avaliaram a resposta da beterraba a doses de P em duas épocas de cultivo, em Cambissolo Háplico (250 g kg<sup>-1</sup> de argila e 2,5 mg dm<sup>-3</sup> de P), também obtiveram máxima produtividade de beterraba com 379 a 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Ainda, tal justificativa pode também ser atribuída à divergência entre o resultado obtido neste trabalho e as recomendações de Trani et al. (1997 e 2018), 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o teor de 88 mg dm<sup>-3</sup> de P, pois trata-se de recomendação geral para o estado de São Paulo, que possui variações nos atributos químicos e físicos do solo.

Os acúmulos de nutrientes na parte aérea e na raiz, na colheita da beterraba, não foram influenciados pela interação dos fatores cultivar e dose de P; porém, houve efeito isolado desses dois fatores (Tabela 3).

Os acúmulos para todos os nutrientes avaliados na 'Early Wonder' na parte aérea e na raiz tuberosa foram significativamente superiores a 'Kestrel'. A 'Early Wonder' é uma das cultivares mais cultivadas no estado de São Paulo, portanto, provavelmente está mais adaptada as condições climáticas da região, o híbrido 'Kestrel' é uma cultivar que está ganhando o mercado e ainda está se adaptando as condições locais.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para acúmulo de N, P, K e B na parte aérea (PA) e raiz tuberosa (RT) da beterraba, na colheita, em função de cultivares e doses de P.

| Causas da Variação                     | Valores de F                        |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                        | NPA                                 | PPA               | KPA               | BPA               | NRT               | PRT               | KRT               | BRT               |
| Cultivares (C)                         | 16,9** <sup>1</sup>                 | 64,2**            | 44,7**            | 27,2**            | 5,7*              | 20,7**            | 5,1*              | 5,5*              |
| Doses de P (P)                         | 0,54 <sup>ns</sup>                  | 0,7 <sup>ns</sup> | 1,6 <sup>ns</sup> | 0,8 <sup>ns</sup> | 0,2 <sup>ns</sup> | 1,4 <sup>ns</sup> | 0,6 <sup>ns</sup> | 3,2*              |
| C x P                                  | 1,5 <sup>ns</sup>                   | 1,3 <sup>ns</sup> | 1,0 <sup>ns</sup> | 0,7 <sup>ns</sup> | 2,1 <sup>ns</sup> | 0,5 <sup>ns</sup> | 2,4 <sup>ns</sup> | 1,1 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                                 | 35,1                                | 18,7              | 23,8              | 33,4              | 16,3              | 18,8              | 27,3              | 15,4              |
| Cultivares                             | Médias dos acúmulos (mg por planta) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 'Early Wonder'                         | 150,3 a                             | 40,9 a            | 590,1 a           | 0,17 a            | 223,3 a           | 45,0 a            | 230,7 a           | 1,06 a            |
| 'Kestrel'                              | 94,5 b                              | 25,2 b            | 353,4 b           | 0,10 b            | 197,5 b           | 34,3 b            | 189,9 b           | 0,94 b            |
| DMS                                    | 27,9                                | 4,0               | 73,0              | 0,03              | 22,3              | 4,9               | 37,2              | 0,10              |
| Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Médias dos acúmulos (mg por planta) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 0                                      | 108,8                               | 30,3              | 394,2             | 0,15              | 210,6             | 35,1              | 184,0             | 0,89              |
| 120                                    | 116,3                               | 32,4              | 509,9             | 0,15              | 210,8             | 39,0              | 216,3             | 0,93              |
| 240                                    | 119,3                               | 34,7              | 503,3             | 0,14              | 212,5             | 42,4              | 210,7             | 1,05              |
| 360                                    | 130,4                               | 34,1              | 506,7             | 0,13              | 217,3             | 42,7              | 218,8             | 1,03              |
| 480                                    | 136,6                               | 33,8              | 446,8             | 0,12              | 200,8             | 39,2              | 221,5             | 1,13              |
| DMS                                    | 62,7                                | 9,1               | 164,2             | 0,07              | 50,2              | 10,9              | 83,7              | 0,23              |

<sup>1</sup> Teste F, \*\*:  $p \leq 0,01$ ; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa

Houve somente ajuste de equação quadrática para o acúmulo de K ( $Y = 403,06 + 0,8969x - 0,001691x^2$ ,  $R^2 = 0,90$ ,  $F = 5,26^{**}$ ) na parte aérea e foi máximo (522 mg) com 265 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Na raiz, houve ajuste de equação quadrática somente para B ( $Y = 0,89 + 0,000488x$ ,  $R^2 = 0,89$ ,  $F = 11,5^{**}$ ), com máximo de 1,12 mg quando foram aplicados 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A quantidade de N acumulado na parte aérea foi semelhante ao resultado encontrado por Oliveira et al. (2017), 106,5 mg por planta. O N absorvido pelas raízes é assimilado para suprir as necessidades de compostos nitrogenados da planta. Segundo Oliveira (2017), na escala do ciclo da cultura, há, portanto, uma ligação entre a absorção de N e o aumento em produtividade.

O acúmulo de P na raiz foi maior do que na parte aérea, esses resultados foram semelhantes ao reportado por Grangeiro et al. (2007) e diferentes dos apresentados por Silva et al. (2017). Os principais fatores que levam a essa discrepância entre os resultados são os diferentes tipos de solo e, principalmente, a quantidade de P encontrado na análise química do solo, os teores desse nutriente encontrado nos trabalhos citados anteriormente são 157 e 2,5 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.



O K foi o nutriente mais acumulado pela beterraba e acumulou-se na parte aérea e raiz em 70% e 30% do total, respectivamente. Proporções semelhantes foram encontradas por Grangeiro et al. (2007), Silva et al. (2011) e Silva et al. (2017), que também encontraram K como o nutriente mais acumulado.

Com relação ao acúmulo de B, este foi cerca de 7 vezes maior na raiz (0,8 a 1,1 mg por planta) do que na parte aérea (0,12 a 0,16 mg por planta).

Tendo em vista que a beterraba não respondeu em produtividade ao fornecimento de P, na Tabela 4 são observadas as quantidades médias acumuladas na parte aérea, na raiz e total pela planta e por hectare.

**Tabela 4. Acúmulos médios de N, P, K e B na parte aérea, raiz tuberosa e total pela cultura da beterraba.**

|               | N     | P             | K     | B    |
|---------------|-------|---------------|-------|------|
|               |       | mg por planta |       |      |
| Parte aérea   | 122,5 | 33,1          | 471,8 | 0,14 |
| Raiz tuberosa | 210,4 | 39,7          | 210,3 | 1,00 |
| Total         | 332,9 | 72,8          | 681,1 | 1,14 |

Do total dos nutrientes acumulados, a raiz participou com 63% de N, 55% de P, 31% de K e 88% de B, o que corresponde a 105, 21, 110 e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K e B, respectivamente. Os nutrientes N, P e B, acumulam-se preferencialmente nas raízes, enquanto K na parte vegetativa.

Considerando-se que a adição da adubação fosfatada no solo não promove incremento de produtividade na cultura da beterraba onde existe elevado teor de P no solo, uma alternativa para a manutenção do teor de P no solo é considerar a exportação do nutriente como forma de manter o teor dos mesmo no solo.

Para a produtividade de 31,86 t ha<sup>-1</sup>, a quantidade de P exportada causou a redução de 15,9 mg dm<sup>-3</sup> de P no solo, considerando a profundidade de 20 cm de do solo, o que não foi capaz de alterar a condição de alto teor do nutriente no meio, segundo Trani et al. (2018).

## 2.4 CONCLUSÕES

Em Latossolo com teor alto de fósforo disponível, não se recomenda fertilizar a cultura da beterraba com fósforo, pois não se verifica aumento de produtividade.

Em Latossolo com alto teor do nutriente, 'Early Wonder' e 'Kestrel' não respondem diferentemente à adubação fosfatada.

## 2.5 REFERÊNCIAS

Avalhães CC, Prado RM, Gondim ARO, Alves AU, Correia MAR (2009) Rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação com fósforo. **Scientia Agrária** 10:75-80.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) Experimentação agrônômica e AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015. 396p.

Gondim ARO, Prado RM, Cecílio Filho AB, Alves AU, Correia MAR (2015) Boron foliar application in nutrition and yield of beet and tomato. **Journal of Plant Nutrition** 38:1573-1579.

Grangeiro LC, Negreiros MZ, Souza BS, Azevedo PE, Oliveira SL, Medeiros MA (2007) Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia** 31:267-273.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Møller IS, White P. (2012) Functions of macronutrients: phosphorus. In: Marschner H (3ed.) **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam: Academic Press p. 178-189.

Klein C, Agne SAA (2012) Fósforo: de nutriente à poluente!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** 8:1713-1721.

Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ (2009) Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. DA (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, p. 191–233.

Oliveira RJP, Gatiboni LC, Brunetto G, Miquelluti DJ, Valicheski RR (2017) Resposta da beterraba a adubação com nitrogênio, enxofre e micronutrientes em um Cambissolo Háplico. **Horticultura Brasileira** 35:63-68.

Oliveira RJP, Gatiboni LC, Valicheski RR, Miquelluti DJ, Brunetto G (2016) Calibração da adubação fosfatada e potássica para beterraba na região do Vale do Itajaí. **Horticultura Brasileira** 34:210-215.

Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 285 p.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VAV, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira JB (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos** – 3 ed. - Brasília, DF: EMBRAPA. 376 p.

Sediyama MAN, Santos MR, Vidigal SM, Salgado LT (2011) Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:883-889.

Silva AO, Silva ÊFFE, Klar AE (2017) Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade. **Bragantia** 76:125-134.

Silva GA, Grangeiro LC, Sousa VFL, Silva LRR, Jesus PMM, Silva, JLA (2019) Agronomic performance of beet cultivars as a function of phosphorus fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 23:518-523.

Silva ML, Bezerra Neto F, Linhares PCF, Sá JR, Lima JSS, Barros Júnior AP (2011) Produção de beterraba fertilizada com jitrana em diferentes doses e tempos de incorporação ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:801-809.

Tivelli SW, Factor TL, Teramoto JRS, Fabri EG, Moraes ARA, Trani PE, May A (2011) Beterraba: do plantio à comercialização. Campinas: Instituto agrônomo, 45 p.

TRANI PE (2012) **Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2012. Disponível em <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas179.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas179.pdf)> Acesso em: 21 out. 2019.

Trani PE, Raij B van, Cantarella, H Figueiredo, GJB (Org.) (2018) Beterraba. In: Trani PE, Breda Junior JM, Factor L Purquerio LFV, Lima Junior S, Tivelli WT. **Hortaliças, recomendação de calagem a adubação para o estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p. 41-43.

Trani PE, Raij B van (1997) Hortaliças. In: RAIJ, B van, Cantarella H, Ouaggio JÁ, Furlani AMC. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 285 p.

### **CAPÍTULO 3 – Resposta da beterraba a doses de potássio em Latossolo com alto teor do nutriente**

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de potássio (K) em Latossolo com alto teor do nutriente. O experimento foi realizado em campo, com delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições. As doses de K foram 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e duas cultivares ('Early Wonder' e 'Kestrel'). Aos 50 dias após o transplante avaliaram-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e boro na folha diagnose. Produtividade e acúmulo de nutrientes foram analisados na colheita. As doses de K influenciaram significativamente o teor foliar de K. Todos teores de K encontrados situaram-se acima da faixa adequada. Mesmo com o aumento linear do teor de K na folha diagnose, a produtividade não aumentou com o fornecimento de K à cultura. As exportações de K pela beterraba 'Early Wonder' e 'Kestrel' foram correspondentes a 135,5 e 105,6 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente. As médias de N, P, K e B acumulados na parte aérea foram 120,0; 29,8; 373,8 e 0,15 mg por planta. Na raiz, houve ajuste de equação quadrática para os acúmulos P e K. As médias de N e B acumuladas na raiz foram 33,9 e 241,0 mg por planta. Os máximos acúmulos de P e K foram 38,4 e 276,8 mg por planta, obtidos com 85 e 101 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente. Do total dos nutrientes acumulados, em média, a raiz participou com 66% de N, 53% de P, 39% de K e 72% de B, sendo que N, P e B acumularam-se preferencialmente nas raízes, enquanto K na parte vegetativa. Em Latossolo com teor alto de K disponível, não se recomenda a fertilização potássica, uma vez que não aumenta a produtividade da beterraba.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., adubação potássica, nutrição mineral, acúmulo de potássio

### 3.1 INTRODUÇÃO

O potássio é um nutriente-chave para elevar a produtividade das culturas, além de melhorar significativamente os atributos de qualidade. Esse nutriente é requerido em grandes quantidades pelas hortaliças, podendo chegar a ser três ou quatro vezes mais acumulado nos tecidos vegetais do que o P (Trani et al., 2013).

O K é considerado o segundo nutriente mais comprado e comercializado. As plantas para que se desenvolvam em sua melhor forma necessitam de 2 a 5% de K na matéria seca, variando apenas em função da parte analisada e da espécie utilizada (Faquin, 2005).

Com o aumento da dependência da agricultura por fertilizantes, o maior custo dos mesmos, as reservas finitas de K e a preocupação com o ambiente são fatores que motivam a aprimoramento constante no manejo da adubação das culturas agrícolas (Ernani et al., 2007).

A necessidade de alta disponibilidade de K no solo para as hortaliças, quando comparada a outras culturas agrícolas, estimula produtores a aplicarem doses elevadas deste nutriente. Como consequência, tem sido observado que o cultivo contínuo de hortaliças na mesma área, no decorrer de anos, gera aumento nos teores de nutrientes no solo, especialmente de potássio (Sediyama et al., 2011).

A beterraba é considerada uma planta exigente em K, acumulando-o em maior quantidade quando comparado ao N (Cardoso et al., 2017). Porém, existem poucos trabalhos com relação aos efeitos na produção desta hortaliça (Echer, 2007).

Para a cultura da beterraba a absorção de nutrientes é contínua desde a semeadura até 40 dias. A partir dos 60 dias a absorção torna-se mais intensa, pois é quando a raiz apresenta maior incremento de massa (Cardoso et al., 2017).

Em experimento conduzido em São Manuel-SP, Cardoso et al. (2017), verificaram que a ordem decrescente dos macronutrientes exportados pela raiz de beterraba foi  $K > N > P > Mg > S > Ca$ , com 376, 232, 45, 29, 21 e 13 mg por planta, respectivamente, e acumulados pela planta (parte aérea + raiz) foi  $K > N > Mg > Ca > P > S$ , com 709, 404, 126, 113, 69 e 50 mg por planta, respectivamente.

Embora existam recomendações de adubação para o cultivo comercial da beterraba, são escassas as pesquisas que relacionam o efeito da adubação potássica

em um solo com alto teor desse nutriente. Estudos como esse são importantes a fim de garantir aplicações de doses adequadas, evitando excesso do nutriente para a planta e contribuindo para uma prática agrícola sustentável.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a resposta da beterraba a doses de potássio em Latossolo com alto teor do nutriente.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Localização e caracterização da área experimental**

As informações pertinentes à esse subitem já foram apresentadas no subitem 2.2.1 do capítulo 2.

### **3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental**

O experimento foi composto por oito tratamentos conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, no esquema fatorial 2 x 4 e com quatro repetições. Os tratamentos resultam da combinação de duas cultivares de beterraba ('Kestrel' e 'Early Wonder') e quatro doses de K (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

Cada parcela foi composta por seis linhas; cada linha tinha 10 covas com duas plantas, o que proporcionou 496.000 plantas por hectare, considerando-se 6.200 m<sup>2</sup> de canteiros em 1 hectare. A bordadura correspondeu às plantas que ficaram situadas na primeira e última linha de cada unidade experimental e a primeira e última planta de cada linha.

#### *Características das cultivares*

Kestrel (Sakata): Híbrido de formato redondo, cor da raiz: vermelho intenso com diâmetro entre 6 e 7 cm, excelente uniformidade e peso de 180 a 200 g; pequena inserção foliar e plantas eretas; altura da folhagem de 45 a 50 cm. Início da colheita de 60 a 70 dias no verão e 80 a 90 dias no inverno. Indicada para semeadura direta e por mudas durante todo o ano.

Early Wonder Super Tall Top (Top Seed/Agristar): Planta não híbrida, precoce, com folhagem alta e coloração verde-escura intensa. Apresenta ciclo precoce e boa uniformidade. Raiz com formato arredondado, com casca lisa e coloração interna vermelha púrpura. Tamanho médio 7,5 x 7,5 cm; peso médio 260 g; ciclo médio 70 dias. Indicada para semeadura direta e por mudas durante todo o ano.

### 3.2.3 Instalação e condução do experimento

O solo da área experimental foi coletado na camada de 0–20 cm de profundidade e apresentaram os seguintes. As análises químicas foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001) e observado pH de 5,4; 24 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 49 e 14 mg dm<sup>-3</sup> de P e S, respectivamente; 3,2; 31; 14;1 e 72,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K, Ca, Mg, Al e CTC, respectivamente. O teor de K no solo é classificado como alto Trani e Raij (1997). Os teores de argila, areia e silte do solo corresponderam a 615, 253 e 132 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Três meses antes do plantio foi realizada calagem para elevar a saturação por bases a 80%, conforme recomendação de Trani e Raij (1997). Não foi realizada a adubação orgânica e o preparo do solo foi feito com aração, gradagem e rotoencanteirador, para formação dos canteiros.

As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno de 200 células e preenchidas com substrato comercial Bioplant, sem adubação adicional. Foi realizado o desbaste deixando duas plantas por célula e, aos 30 dias após a semeadura, quando as mudas apresentaram quatro folhas, foram transplantadas para o campo. O espaçamento utilizado foi de 0,25 m entre linhas e 0,10 m entre plantas na linha.

Para a adubação de plantio aplicaram-se 20 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) a lanço. Através de pulverização no solo, foi aplicado 2 kg ha<sup>-1</sup> de B (ácido bórico) e 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco) (Trani e Raij, 1997). As doses de K, previstas nos tratamentos, ambos parcelados em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após o transplante.

Em cobertura, foram aplicados 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia e para o K, as doses foram de acordo com os tratamentos, aos 20 e 40 dias após o transplante.

O controle de plantas-daninhas foi realizado por meio de capina manual. Para o controle fitossanitário, foi utilizado o inseticida Mospilan WG (Acetamiprido) e o fungicida Amistar WG (Azoxistrobina).

A irrigação foi realizada via aspersão (aspersores ZE-30D da Asbrasil, com bocais de 4,5 x 5,5 mm de diâmetro) conforme a necessidades hídrica da cultura.

A colheita das plantas em todos os tratamentos foi realizada quando as raízes tuberosas apresentavam tamanho comercial adequado (6 a 8 cm de diâmetro transversal), o que aconteceu para todas as parcelas, em 25 de setembro de 2017, perfazendo-se 91 dias do transplante até a colheita.

#### **3.2.4 Características avaliadas**

As informações pertinentes à esse subitem já foram apresentadas no subitem 2.2.4 do capítulo 2.

#### **3.2.5 Análise estatística**

As informações pertinentes à esse subitem já foram apresentadas no subitem 2.2.5 do capítulo 2.



### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

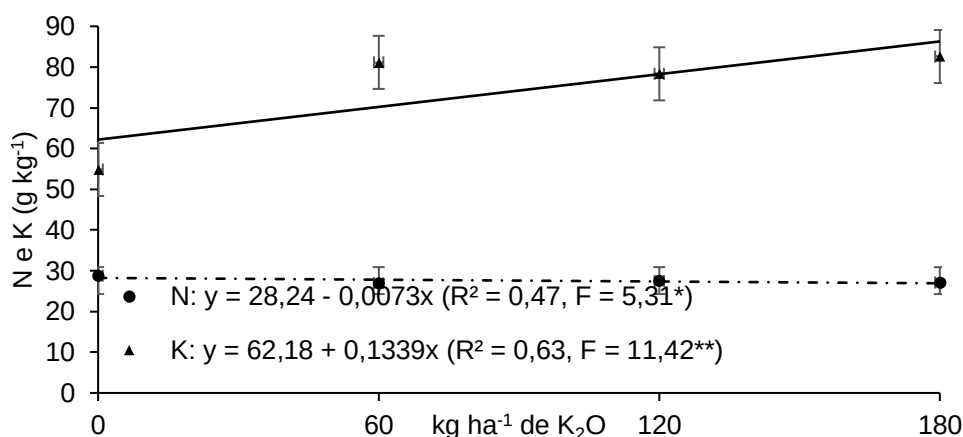
Não houve interação dos fatores cultivares e dose de K nos teores foliares dos nutrientes avaliados na folha diagnose, mas verificou-se efeito isolado dos fatores (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para o teor de N, P, K e B na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba, aos 50 dias após o transplante, e para produtividade em função de cultivares e doses de K.

| Causas de variação                               | Valores de F                   |                   |                     |                    |                        |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
|                                                  | N                              | P                 | K                   | B                  | Produtividade          |
| Cultivares (C)                                   | 29,1 <sup>**1</sup>            | 2,4 <sup>ns</sup> | 1,3 <sup>ns</sup>   | 47,4 <sup>**</sup> | 8,35 <sup>**</sup>     |
| Doses de K (K)                                   | 3,7 <sup>*</sup>               | 5,4 <sup>**</sup> | 6,0 <sup>**</sup>   | 2,0 <sup>ns</sup>  | 2,01 <sup>ns</sup>     |
| C x K                                            | 0,3 <sup>ns</sup>              | 2,3 <sup>ns</sup> | 1,7 <sup>ns</sup>   | 0,1 <sup>ns</sup>  | 0,35 <sup>ns</sup>     |
| CV (%)                                           | 4,4                            | 13,9              | 20,3                | 11,0               | 12,18                  |
| <hr/>                                            |                                |                   |                     |                    |                        |
| Médias dos Teores                                |                                |                   |                     |                    | Média da produtividade |
| Cultivares                                       | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |                   | mg kg <sup>-1</sup> |                    | kg ha <sup>-1</sup>    |
| ‘Early Wonder’                                   | 28,7 a                         | 8,1 a             | 71,2 a              | 45,4 a             | 29.710,9 a             |
| ‘Kestrel’                                        | 26,4 b                         | 7,5 a             | 77,3 a              | 34,7 b             | 26.230,5 b             |
| DMS                                              | 0,9                            | 0,8               | 11,1                | 3,2                | 2.504,1                |
| <hr/>                                            |                                |                   |                     |                    |                        |
| Médias dos Teores                                |                                |                   |                     |                    | Média da produtividade |
| Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> ) | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |                   | mg kg <sup>-1</sup> |                    | kg ha <sup>-1</sup>    |
| 0                                                | 28,8                           | 6,9               | 71,2                | 42,2               | 27.097,7               |
| 60                                               | 26,9                           | 8,8               | 81,2                | 37,6               | 26.140,6               |
| 120                                              | 27,5                           | 7,2               | 78,3                | 41,5               | 30.019,5               |
| 180                                              | 27,1                           | 8,1               | 82,6                | 38,9               | 28.625,0               |
| DMS                                              | 1,7                            | 1,5               | 21,0                | 6,1                | 4.746,4                |

<sup>1</sup> Teste F, \*\*: p ≤ 0,01; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa

As doses de K influenciaram significativamente os teores de N e K. O teor de N diminuiu e o de K aumentou à medida em que as doses dos tratamentos aumentaram de acordo com a adição de K (Figura 1). Não foi considerado o ajuste de terceiro grau para teor de P em função das doses de K, pois não há explicação biológica.



**Figura 1.** Teor foliar do nitrogênio e do potássio na folha de diagnose do estado nutricional da beterraba em função das doses de potássio.

Os teores de N estão abaixo da faixa recomendada por Trani et al. (2018), que é de 30 a 50 g kg<sup>-1</sup>. Porém, não foram constatados sintomas visuais de deficiência de N. Pode-se observar também que mesmo havendo ajuste significativo de equação para teor de N, os valores encontrados são muito próximos e possuem baixo desvio padrão.

O teor máximo de K (82,6 g kg<sup>-1</sup>) foi observado com a dose máxima de K, e foi 51% maior do que o teor obtido no tratamento controle. Os teores de K encontrados em todos os tratamentos estão acima do intervalo de 20 a 40 g kg<sup>-1</sup>, considerado adequado por Trani et al. (2018), provavelmente as plantas apresentaram consumo de luxo.

Os elevados teores de K na parte aérea e na raiz tuberosa da beterraba confirmam a importância deste nutriente para plantas que armazenam reserva em órgãos subterrâneos, principalmente para translocação de açúcares e síntese de amido e, conseqüentemente, obtenção de produções elevadas (Hawkesford et al., 2012).

A disponibilidade de K no solo e a sua absorção pelas plantas está relacionada com a disponibilidade dos cátions bivalentes, Ca e Mg, dominantes do complexo de troca. Ainda assim, a absorção do K pelas plantas é favorecida em comparação com outras espécies catiônicas.

Mesmo com alto teor de K no solo (3,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e adubação de até 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, não foram observados sintomas visuais de deficiência de quaisquer

outros nutrientes, nem mesmo de cálcio, o qual, segundo Prado (2008), tem uma relação de inibição competitiva quando existe alta concentração de K no meio.

O teor de P na folha diagnose variou de 6,9 a 8,8 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1), ou seja, todos os teores de P na folha diagnose encontraram-se acima da faixa recomendada por Trani et al. (2018), 2 a 4 g kg<sup>-1</sup>. Esses altos valores encontrados provavelmente estão relacionados com o teor de P encontrado no solo, que é considerado como médio.

O teor de B na folha diagnose variou de 37 a 42 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 1), não ocorrendo diferença significativa entre as doses de K. Quando utilizado 60 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O os teores de B apresentaram-se abaixo do recomendado por Trani et al. (2018), 40 a 80 mg kg<sup>-1</sup>. Esses resultados são semelhantes ao teor de B (33 a 49 mg kg<sup>-1</sup>) que foi encontrado por Gondim et al. (2015), para 'Early Wonder'.

Não houve interação dos fatores estudados e efeito da dose de K na produtividade da beterraba. Somente observou-se efeito isolado do fator cultivar (Tabela 1).

Mesmo com o aumento linear do teor de K na folha diagnose, a produtividade não aumentou com o fornecimento de K à cultura. A falta de relação entre o aumento no teor foliar de K e a produtividade caracterizam o consumo de luxo do nutriente pela beterraba, visto que os teores de K na folha diagnose situaram-se acima da faixa considerada adequada de 20 a 40 g kg<sup>-1</sup> (Trani et al., 2018). Portanto, a quantidade de K presente no solo foi suficiente para maximizar a produtividade das duas cultivares, nestas condições de cultivo.

Em experimentos realizados no Vale do Itajaí-SC, Oliveira et al. (2016) observaram incrementos significativos na produtividade da beterraba 'Early Wonder' com adubação de K, o solo apresentava 2,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup> trocável (classificação média). As máximas produtividades foram atingidas com as doses estimadas de 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no primeiro cultivo e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no segundo. Como o teor de K foi classificado como médio, ainda existe a necessidade da adubação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e, portanto, ocorreu resposta da planta. Quando o solo apresenta alto teor de K (> 3,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), a recomendação de adubação é de 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Trani et al., 1997). Entretanto, mesmo com a adubação de três vezes mais do que a recomendação, a produtividade não foi significativa para as doses.

Em relação às cultivares, 'Early Wonder' apresentou melhor desempenho ( $29.710,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que 'Kestrel' ( $26.230,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Normalmente, a cultivar híbrida possui maior potencial produtivo, o que não ocorreu neste estudo, provavelmente, devido à maior adaptação da cultivar não-híbrida às condições climáticas do local onde o experimento foi conduzido. Portanto, o resultado observado sugere que as cultivares de beterraba não respondem à adubação potássica em solo com alto teor de K ( $3,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Os acúmulos dos nutrientes na parte aérea e na raiz, na colheita da beterraba, não foram influenciados pela interação dos fatores cultivares e dose de K; porém, houve efeito isolado desses dois fatores (Tabela 2).

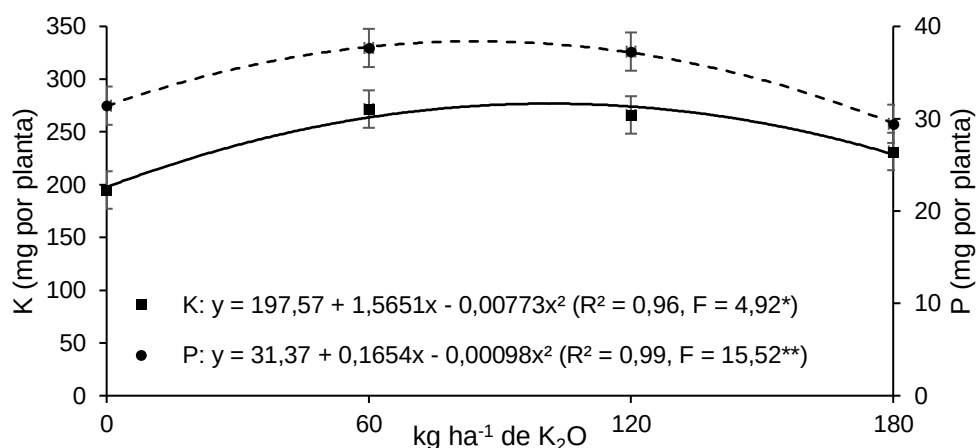
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para acúmulo de N, P, K e B na parte aérea (PA) e raiz tuberosa (RT) da beterraba, na colheita, em função de cultivares e doses de K.

| Causas da Variação            | Valor de F                         |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                               | N PA                               | P PA               | K PA               | B PA              | N RT              | P RT              | K RT              | B RT              |
| Cultivares (C)                | 34,0** <sup>1</sup>                | 39,3**             | 0,2 <sup>ns</sup>  | 21,7**            | 9,2**             | 14,1**            | 5,8*              | 4,4*              |
| Doses de K <sub>2</sub> O (K) | 0,4 <sup>ns</sup>                  | 0,6 <sup>ns</sup>  | 0,07 <sup>ns</sup> | 1,6 <sup>ns</sup> | 2,2 <sup>ns</sup> | 5,4**             | 2,0 <sup>ns</sup> | 1,2 <sup>ns</sup> |
| C x K                         | 0,3 <sup>ns</sup>                  | 0,06 <sup>ns</sup> | 0,4 <sup>ns</sup>  | 0,2 <sup>ns</sup> | 0,2 <sup>ns</sup> | 2,0 <sup>ns</sup> | 2,5 <sup>ns</sup> | 0,5 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                        | 25,2                               | 25,7               | 53,6               | 41,3              | 14,9              | 14,9              | 29,4              | 28,7              |
| Cultivares                    | Média dos acúmulos (mg por planta) |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |
| 'Early Wonder'                | 151,2 a                            | 38,3 a             | 389,7 a            | 0,2 a             | 251,0 a           | 37,3 a            | 271,3 a           | 0,43 a            |
| 'Kestrel'                     | 88,8 b                             | 21,3 b             | 357,9 a            | 0,1 b             | 213,9 b           | 30,6 b            | 210,8 b           | 0,35 b            |
| DMS                           | 22,3                               | 5,7                | 147,4              | 0,05              | 25,4              | 3,7               | 52,2              | 0,08              |
| Doses de K <sub>2</sub> O     | Média dos acúmulos (mg por planta) |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |
| 0                             | 124,2                              | 29,8               | 383,1              | 0,18              | 219,1             | 31,4              | 194,9             | 0,44              |
| 120                           | 127,3                              | 32,4               | 368,9              | 0,19              | 231,2             | 37,7              | 271,6             | 0,39              |
| 240                           | 112,4                              | 29,6               | 393,4              | 0,13              | 258,2             | 37,3              | 266,1             | 0,34              |
| 360                           | 116,2                              | 27,4               | 349,7              | 0,15              | 221,3             | 29,5              | 231,5             | 0,39              |
| DMS                           | 42,2                               | 10,7               | 279,5              | 0,09              | 48,2              | 7,0               | 98,9              | 0,16              |

<sup>1</sup> Teste F, \*\*:  $p \leq 0,01$ ; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa

Não houve ajuste de equação polinomial para os acúmulos de N, P, K e B na parte aérea da beterraba. As médias de N, P, K e B acumulados na parte aérea foram 120,0; 29,8; 373,8 e 0,15 mg por planta.

Na raiz, houve ajuste de equação quadrática para os acúmulos P e K. As médias de N e B acumuladas na raiz foram 33,9 e 241,0 mg por planta. Os máximos acúmulos de P e K foram 38,4 e 276,8 mg por planta, obtidos com 85 e 101 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Acúmulos de fósforo e potássio na raiz da beterraba, na colheita, em função das doses de potássio.

Em experimento com a beterraba híbrida 'Boro', Cardoso et al. (2017) aos 60 dias após o transplante, observaram acúmulo máximo de N de 177,3 mg e 481,8 mg na parte aérea e nas raízes, respectivamente.

O P apresentou os menores valores acumulados nas plantas dentre os macronutrientes, 38,3 mg por planta na parte aérea e 37,3 mg por planta na raiz para a 'Early Wonder'. O resultado da parte aérea encontra-se próximo do resultado obtido por Silva et al. (2017), de 38,9 mg por planta para a parte aérea da 'Early Wonder'. Para tais observações, pode-se entender que o acúmulo dos nutrientes em diferentes órgãos da planta está de acordo com a adaptabilidade que a cultura possui com relação a suas características genéticas e ao local em estudo.

Oliveira et al. (2016) observaram que na 'Early Wonder' houve efeito da adubação de K, sendo que a dose 418 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O proporcionou acúmulo máximo de 172,3 kg ha<sup>-1</sup> de K pela beterraba.

No presente trabalho, o K foi o nutriente mais acumulado pela parte aérea. Este resultado é semelhante a ordem de acúmulo para K encontrada por Grangeiro et al. (2007), para a cultivar de beterraba ‘Early Wonder’, e obteve acúmulo máximo de 538 mg por planta, aos 60 dias após a semeadura. Resultado semelhante também foi encontrado por Cardoso et al. (2017) e Silva et al. (2017). Os autores constataram que K e N foram o primeiro e segundo nutriente mais acumulado na beterraba. De acordo com Alves et al. (2008), o elevado acúmulo de K na parte aérea e raízes da beterraba confirma a importância deste nutriente para plantas armazenadoras de reserva em órgão subterrâneos, que faz dele o nutriente mais extraído pela planta.

Em experimento com a beterraba ‘Early Wonder’, Gondim et al. (2015) observaram que o acúmulo de B foi de 0,16 e 0,15 mg por planta na parte aérea e na raiz tuberosa, respectivamente. Os resultados deste estudo corroboram com os dados encontrados pelos autores.

Na Tabela 3 são observadas as quantidades médias acumuladas na parte aérea, na raiz e total pela planta e por hectare.

**Tabela 3.** Acúmulos médios de N, P, K e B na parte aérea, raiz tuberosa e total pela cultura da beterraba.

|               | N             | P    | K     | B    |
|---------------|---------------|------|-------|------|
|               | mg por planta |      |       |      |
| Parte aérea   | 120,0         | 29,8 | 373,8 | 0,15 |
| Raiz tuberosa | 232,4         | 33,9 | 241,1 | 0,39 |
| Total         | 352,4         | 63,7 | 614,9 | 0,54 |

Do total dos nutrientes acumulados, em média, a raiz participou com 66% de N, 53% de P, 39% de K e 72% de B, sendo que N, P e B acumulam-se preferencialmente nas raízes, enquanto K, na parte vegetativa.

Quanto à participação da parte aérea e raízes no total de K extraído, os resultados desse estudo corroboram com os encontrados por Oliveira et al. (2016), de 40 e 60% para a parte aérea e raiz, respectivamente. Estes resultados diferem dos resultados obtidos por Grangeiro et al. (2007), que mostraram participação de 48% para a parte aérea e de 52% para as raízes no total de K extraído pela planta.

Trani et al. (2013) verificaram que as quantidades extraídas de macronutrientes pela beterraba foram em kg ha<sup>-1</sup> (raízes + folhas) foram 78 a 275 de N; 18 a 40 de P

(ou 41 a 92 de  $P_2O_5$ ); 83 a 476 de K (ou 100 a 571 de  $K_2O$ ). A ordem de exportação encontrada neste estudo foi semelhante aos resultados obtidos por Sediya et al. (2011), que encontraram a sequência  $K > N > P > B$  para a 'Early Wonder'.

Embora não tenha havido incremento de produtividade das cultivares de beterraba ao fornecimento de K até  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , a princípio justificando a não adubação potássica em Latossolo com alto teor de K, as exportações de K pela beterraba 'Early Wonder' e 'Kestrel' reduziram em 2,8 e 2,2  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  o teor de K no solo respectivamente, o que causa reclassificação dos teores de K no solo como baixo para ambas as cultivares, que segundo Trani et al. (2018) tem como limite  $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Assim, pode-se optar por realizar a adubação potássica para a beterraba com doses relativas ao acumulado na raiz de beterraba 'Early Wonder' e 'Kestrel' correspondentes a 162 e 126  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , respectivamente.

### 3.4 CONCLUSÕES

Em Latossolo com teor alto de potássio disponível, não se recomenda a fertilização potássica, uma vez que não aumenta a produtividade da beterraba.

Para a manutenção da fertilidade do solo em nível alto de K, recomenda-se a fertilização com dose de 162 e 126  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , para 'Early Wonder' e 'Kestrel', respectivamente, as quais são equivalentes à quantidade exportada pela raiz dessas cultivares.

Em Latossolo com alto teor do nutriente, 'Early Wonder' e 'Kestrel' não respondem diferentemente à adubação potássica.

### 3.5 REFERÊNCIAS

- Alves AU, Prado RM, Gondim ARO, Fonseca IM, Cecílio Filho AB (2008) Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira** 26:292-295.
- Cardoso All, Magro FO, Oliveira Júnior MXO, Abrahão C, Tavares AEB, Fernandes DM (2017) Accumulation of macronutrients in beetroot plant. **Horticultura Brasileira** 35:328-334.
- Echer MM, Guimarães VF, Aranda AN, Bortolazzo ED, Braga JS (2007) Avaliação de mudas de beterraba em função do substrato e do tipo de bandeja. **Semina: Ciências Agrárias** 28:45-50.
- Ernani PR, Almeida JA, Santos FA (2007) Potássio. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p.
- Faquin V (2005) **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 183p.
- Gondim ARO, Prado RM, Cecílio Filho AB, Alves AU, Correia MAR (2015) Boron foliar application in nutrition and yield of beet and tomato. **Journal of Plant Nutrition** 38:1573-1579.
- Grangeiro LC, Negreiros MZ, Souza BS, Azevedo PE, Oliveira SL, Medeiros MA (2007) Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia** 31:267-273.
- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Møller IS, White P. (2012) Functions of macronutrients: phosphorus. In: Marschner H (3ed.) **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam: Academic Press p. 178-189.
- Oliveira RJP, Gatiboni LC, Valicheski RR, Miquelluti DJ, Brunetto G (2016) Calibração da adubação fosfatada e potássica para beterraba na região do Vale do Itajaí. **Horticultura Brasileira** 34:210-215.
- Prado RM (2008) **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP p. 1. 407.
- Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p.
- Sediyama MAN, Santos MR, Vidigal SM, Salgado LT (2011) Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:883-889.
- Silva AO, Silva ÊFFE, Klar AE (2017) Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade. **Bragantia** 76:125-134.
- Trani PE, Raij B van, Cantarella, H Figueiredo, GJB (Org.) (2018) Beterraba. In: Trani PE, Breda Junior JM, Factor L Purquerio LFV, Lima Junior S, Tivelli WT. **Hortaliças**,



**recomendação de calagem a adubação para o estado de São Paulo.** Campinas: CATI, p. 41-43.

Trani PE, Raij B van (1997) Hortaliças. In: RAIJ, B van, Cantarella H, Ouaggio JA, Furlani AMC. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 285 p.

Trani PE, Terra MM, Tecchio MA, Teixeira LAJ, Hanasiro J (2013) Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas. Instituto Agrônomo de Campinas, 16 p.