

ROBINSON JARDEL PIRES DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA BETERRABA
(*Beta vulgaris* L.) NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES, SC
2015**

O48a

Oliveira, Robinson Jardel Pires de

Adubação para a cultura da beterraba (*Beta vulgaris* L.) na região do Alto Vale do Itajaí / Robinson Jardel Pires de Oliveira. - Lages, 2015.

73 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni

Bibliografia: p. 63-73

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2015.

1. *Beta vulgaris*. 2. Calibração da adubação. 3. Nutrição. 4. Nitrogênio. 5. Fósforo. 6. Potássio. 7. Enxofre. 8. Micronutrientes. I. Oliveira, Robinson Jardel Pires de. II. Gatiboni, Luciano Colpo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

CDD: 631.81 - 20.ed.

ROBINSON JARDEL PIRES DE OLIVEIRA

ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

Banca examinadora:

Orientador: _____
Dr. Luciano Colpo Gatiboni
UDESC/Lages-SC

Co-orientador: _____
Dr. David José Miquelluti
UDESC/Lages-SC

Membros:

Dr. Alvaro Luiz Mafra
UDESC/Lages-SC

Dr. Gustavo Brunetto
UFSC/Santa Maria-RS

Dr. Romano Roberto Valichski
IFC-Campus Rio do Sul-SC

Dr. Paulo Roberto Ernani
UDESC/Lages-SC

Lages, 13/03/2015

A minha mãe Marina Pires de Oliveira,
como gratidão por todas as dificuldades
enfrentadas na vida em busca do melhor
para os seus filhos e pelas suas orações.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida, por guiar o meu caminho e pelas conquistas.

Aos meus pais, pelas suas orações.

Ao meu irmão Rérinton, por todos os momentos de diálogo compartilhado.

A minha esposa Joice, pelo companheirismo e amor.

A minha filha, Maria Luiza Bento de Oliveira pela alegria a cada amanhecer.

Ao professor Luciano Colpo Gatiboni, pelos seus ensinamentos, orientação e compreensão.

Ao professor Paulo Cesar Cassol pela oportunidade concedida na realização da primeira matrícula.

Aos professores Romano Roberto Valicheski, David José Miquelluti e Gustavo Brunetto pelos auxílios a mim concedidos.

A Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), pelo ensino de qualidade e pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

Ao Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, pela liberação parcial e total, disponibilização da área para a condução dos experimentos e do espaço físico para a realização das análises durante o Curso de Doutorado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do CAV/UDESC, pelos ensinamentos e amizade.

Aos alunos, bolsistas, colegas e estagiários dos laboratórios de química e física do solo do CAV/UDESC e IFC-Campus Rio do Sul, que contribuíram na realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma me apoiaram, fica meu verdadeiro reconhecimento.

Muito obrigado!

Meu agradecimento especial (in memoriam) ao meu pai, Osmar Bueno de Oliveira, pelas lições de humildade. Partiu há pouco tempo, sem ver este momento. A ausência é intrigante. Há quem fique ausente ao nosso lado mesmo presente, e quem continue ao nosso lado mesmo ausente.

*“O homem prepara-se para a batalha,
mas do Senhor vem a vitória”*

Provérbios 21:31

RESUMO

OLIVEIRA, Robinson Jardel Pires de. **ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ**. 2015. 73 f. Tese. (Doutorado em Manejo do Solo – Área: Solos) - Centro de Ciências Agro-Veterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2015.

A recomendação de fertilizantes para a cultura da beterraba no âmbito de Santa Catarina ainda carece de ajustes e, por isso, este trabalho foi conduzido com o objetivo avaliar a resposta da cultura da beterraba à adubação com nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), boro (B), zinco (Zn) e molibdênio (Mo). Foram conduzidos três experimentos à campo e um em casa-de-vegetação no IFC, em Rio do Sul (SC), sob solo Cambissolo Háplico. O experimento 1 foi conduzido em dois cultivos. No primeiro cultivo utilizou-se o delineamento blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 4 com três repetições, nas quais foram testadas as doses de P (0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e K (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹ de K₂O). No segundo cultivo avaliaram-se as doses de reposição de 0, 33% e 66% das doses iniciais. Em ambos, foram transplantadas as mudas no espaçamento de 0,25 x 0,08 m e a colheita foi efetuada 60 dias após o transplante. Determinaram-se o diâmetro de raiz e a massa fresca e seca de folhas e raízes, o teor de P e K no tecido vegetal. No primeiro cultivo, a beterraba aumentou a produtividade com a aplicação de até 379 kg ha⁻¹ de P₂O₅, não tendo sido observada resposta ao K. No segundo cultivo a máxima produtividade foi obtida nas parcelas com as maiores doses de P e K do primeiro cultivo, acrescidas da maior dose de reposição. No experimento 2, conduzido no esquema fatorial 5x2, no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições, foram testadas as doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) na presença ou ausência de adubação conjunta com S, Zn, B e Mo (doses de 30, 2, 1 e 0,01 kg ha⁻¹, respectivamente). A beterraba respondeu positivamente à aplicação de doses de N até 100 kg ha⁻¹, acrescida da adubação com os demais nutrientes. Com base nestes resultados, foi instalado o experimento 3, em casa-de-vegetação, com o objetivo de determinar qual dos nutrientes do experimento 2 foi responsável pela resposta. Os tratamentos foram: B, Zn S, Mo, completo (B+Zn+S+Mo) e testemunha, arrançados em delineamento inteiramente

casualizado com quatro repetições. Os resultados evidenciaram que o nutriente determinante na produtividade foi o S. A partir desses resultados, instalou-se a campo o experimento 4 no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições testando as doses de S (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹). A beterraba respondeu positivamente à adubação com S até a dose de 60 kg ha⁻¹.

Palavras-chaves: *Beta vulgaris*. Calibração da adubação. Nutrição. Nitrogênio. Fósforo. Potássio. Enxofre. Micronutrientes.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Robinson Jardel Pires de. **FERTILIZATION FOR BEET (*Beta vulgaris* L.) AT ALTO VALE DO ITAJAÍ REGION.** 2015. 75 f. Thesis. (Doutorado em Manejo do Solo – Área: Solos) - Centro de Ciências Agro-Veterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2015.

The recommendation of fertilizer for beet cultivation in Santa Catarina still lacks adjustments and, therefore, this study was conducted to evaluate the crop response to fertilization with nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), sulfur (S), boron (B), zinc (Zn) and molybdenum (Mo). Three experiments were conducted on the field and one at greenhouse in the IFC, Rio do Sul (SC), using a Cambisol. In the first study, it was used the randomized block design in a factorial 4 x 4 with three replications, in which it were tested P (0, 200, 400 and 600 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and K rates (0, 150, 300 and 450 kg ha⁻¹ K₂O). On the second crop it was evaluated the replacement rates of 0, 33% and 66% of the initial doses. In both cases, the seedlings were transplanted and harvested 60 days after transplantation. It was determined the root diameter and the fresh and dry weight of leaves and roots, and the P and K content in the plant tissue. In the first crop beet reached maximum yield with 379 kg ha⁻¹ P₂O₅ and it has not been observed response to K. On the second crop the maximum yield was obtained with the highest levels of P and K of applies on the first crop plus the largest replacement rate. In experiment 2, conducted in a 5x2 factorial arrangement in randomized blocks design with four replications, it were tested N rates (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) in the presence or absence of fertilization with S, Zn, B, Mo (rates of 30, 2, 1 and 0.01 kg ha⁻¹ respectively). The beet responded positively to N rates up to 100 kg ha⁻¹, increasing production when other nutrients were applied. Based on these results, the experiment 3 was installed in a greenhouse in order to determine which of the nutrients from experiment 2 was responsive. The treatments were: B, Zn, S e Mo, complete (B + Zn + S + Mo) and control, arranged in a completely randomized design with four replications. The results showed that the responsive nutrient was S. From this result, it was installed the field experiment 4 in a randomized block design with four replications testing S rates (0, 30, 60, 90, 120

and 150 kg ha⁻¹). The beet answered positively to fertilization with S up to 60 kg ha⁻¹.

Key-words: *Beta Vulgaris*. Calibration of fertilization. Nutrition. Nitrogen. Phosphorus. Potassium. Sulfur. Micronutrients.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de F e nível de significância para as diversas fontes de variação e coeficiente de variação para as variáveis biométricas avaliadas. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.....	23
Tabela 2	Equações de ajuste de doses de P no 1º cultivo (x1) e no segundo cultivo (x2) em cada nível de potássio aplicado no 1º cultivo para as variáveis de produção de massa fresca e seca, sendo apresentados os dados apenas para os parâmetros e doses de K onde foi observado efeito significativo ($P < 0,05$). Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.....	30
Tabela 3	Equações de ajuste de doses de P no 1º cultivo (x1) e no segundo cultivo (x2) em cada nível de potássio aplicado no 1º cultivo para as variáveis de P e K no tecido vegetal, sendo apresentados os dados apenas para os parâmetros e doses de K onde foi observado efeito significativo ($P < 0,05$). Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.....	32
Tabela 4	Valores de F e nível de significância para as diversas fontes de variação e coeficiente de variação para as variáveis biométricas avaliadas	41
Tabela 5	Exportação de N (kg ha^{-1}) em folha, raízes e total na planta em função das diferentes doses de N (Fator 1), dois níveis do mix (Fator 2), interação entre os fatores ($F1 \times F2$) e coeficiente de variação. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	45
Tabela 6	Valores de F e nível de significância para as diversas fontes de variação relacionadas às variáveis biométricas, exportação de S em tecidos e teor de enxofre no solo; e coeficiente de variação em função das diversas doses de enxofre aplicadas. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Massa seca, massa fresca e diâmetro de tubérculos, em função das doses de fósforo aplicadas. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.....	24
Figura 2	Exportação de fósforo na folha, tubérculo e na planta em função da dose de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.	26
Figura 3	Exportação de potássio no tubérculo e na planta em função da dose de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.....	27
Figura 4	Massa seca (a) e fresca (b) de folha, raiz e total em função da dose de N aplicado no cultivo de beterraba..	43
Figura 5	Nitrogênio exportado ($kg\ ha^{-1}$) em folhas, tubérculos e total em plantas de beterraba em função de doses de N ($Kg\ ha^{-1}$).....	45
Figura 6	Massa seca e fresca ($g\ planta^{-1}$) de raiz de beterraba para os diferentes tratamentos: T= testemunha; Mo= molibdênio; B= boro; Zn= zinco; S= enxofre e Completo (todos os demais nutrientes); conduzido em vaso na casa de vegetação.	47
Figura 7	Massa fresca de folha, tubérculo e total da planta, em função das doses de S aplicadas no solo ($kg\ ha^{-1}$). Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	57
Figura 8	Massa seca de folha, tubérculo e total da planta, em função das doses de S aplicadas no solo ($kg\ ha^{-1}$). Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	58
Figura 9	Exportação de enxofre na folha, tubérculo e na planta em função da dose de S ($kg\ ha^{-1}$) aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	59
Figura 10	Porcentagem de enxofre em tecido em relação ao teor de enxofre no solo, em função da dose de enxofre aplicado no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.....	60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO I	17
1 Calibração da adubação fosfatada e potássica para a beterraba na região do Alto Vale do Itajaí-SC	17
1.1 RESUMO	17
1.2 ABSTRACT	18
1.3 INTRODUÇÃO	19
1.4 MATERIAL E MÉTODOS	21
1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
1.6 CONCLUSÕES	32
CAPÍTULO II	33
2 Resposta da beterraba à adubação com nitrogênio, enxofre e micronutrientes em um Cambissolo Háplico na região do Alto Vale do Itajaí-SC	33
2.1. RESUMO	33
2.2. ABSTRACT	34
2.3. INTRODUÇÃO	35
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	36
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
2.6 CONCLUSÕES	47
CAPÍTULO III	48
3 Resposta da cultura da beterraba a doses de enxofre na região do Alto Vale do Itajaí - SC	48
3.1 RESUMO	48
3.2 ABSTRACT	49
3.3 INTRODUÇÃO	50
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	52
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.5 CONCLUSÕES	60
3.6 CONCLUSÃO GERAL	62
REFERÊNCIAS	63

INTRODUÇÃO GERAL

A beterraba (*Beta vulgaris* L.), pertence à família Quenopodiaceae. Ela originou-se no Norte da África e se espalhou pelo Mar Mediterrâneo. Os romanos foram os primeiros a cultivar e usar as suas raízes na alimentação humana e a folhagem para alimentar os animais domésticos (NEELWARNE; HALAGUR, 2013). No Brasil, o cultivo de beterraba intensificou-se grandemente com a imigração européia e asiática, sendo cultivada exclusivamente como variedades para mesa (GRANGEIRO et al., 2007).

A cultura se desenvolve melhor sob temperaturas amenas ou baixas, apresentando resistência a frios intensos e geadas leves. Não tolera chuvas intensas e irrigações pesadas e, em tais condições adversas, ocorre destruição prematura das folhas por doenças fúngicas e alteração no sabor, tornando-se menos doce. Há poucas cultivares plantadas no Brasil, a maioria delas é de origem norte-americana ou europeia, sendo as sementes importadas. A tradicional cultivar é a Early Wonder, que se tornou padrão de qualidade, da qual há algumas seleções diferenciadas comercializadas (FILGUEIRA, 2008).

A planta desenvolve uma parte tuberosa, purpúrea, pelo intumescimento do hipocótilo, de formato globular, desenvolvendo-se quase à superfície do solo. O sistema radicular é do tipo pivotante e a raiz principal atinge profundidade de até 60 cm, com poucas ramificações laterais. A coloração característica se deve a presença dos pigmentos betalainas, que também ocorre nas folhas, nas nervuras e nos pecíolos. A beterraba não é uma raiz tuberosa típica, tal como a cenoura, razão pela qual se pode efetuar o transplante de mudas, optativamente (FILGUEIRA, 2008).

Nos últimos dez anos, pôde-se observar um aumento na procura por esta hortaliça, tanto para utilização nas indústrias de conservas de alimentos infantis como para consumo in natura (MARQUES et al., 2010). O elevado consumo se deve ao seu valor nutritivo, sobretudo em açúcares para o organismo humano, fonte de sódio, ferro e vitamina A, além de possuir algumas propriedades medicinais como ação laxativa e neutralizadora dos ácidos. Também por ser rica em ferro, é muito útil na formação de glóbulos vermelhos (FERREIRA; TIVELLI, 1989).

A cultura ocupa lugar de destaque entre as hortaliças, sendo cultivada no mundo todo, com uma produção mundial de 227.158.114 t (FAOSTAT, 2011). No Brasil, a estimativa de área plantada com

beterraba está em torno de 100.000 hectares, distribuída em 100.500 propriedades, cultivada principalmente nas regiões Sudeste e Sul, com produtividade média oscilando entre 20,0 e 35,0 t ha⁻¹ (RESENDE; CORDEIRO, 2007). Em Santa Catarina, a principal região produtora é o Alto Vale do Itajaí, ocupando áreas expressivas e em constante crescimento, sendo uma alternativa de cultivo para as pequenas propriedades em sucessão ao cultivo da cebola, por apresentar um pacote tecnológico de menor custo e um ciclo relativamente curto quando comparado com o da cebola (DUARTE et al., 2012).

Na região do Alto Vale do Itajaí, o relevo acidentado, que, associado às condições menos favoráveis, ao intemperismo, fazem com que a maior parte dos solos pertença à ordem dos Cambissolos, que representam 70% dos solos da região, os quais, apresentam baixos teores de fósforo e baixos a médios de potássio. A mineralogia da fração argila é composta de caulinita como argilomineral dominante, além de mica (ou ilita), argilominerais 2:1 com ou sem polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas, interestratificados e quartzo. Esses argilominerais do tipo 2:1, não agem de forma expressiva devido os fatores do intemperismo, podendo liberar gradativamente parte do potássio presente nas entrecamadas para a cultura em desenvolvimento (ALMEIDA, 1997).

Quanto à adubação, Filgueira (2008) afirma que para o cultivo da beterraba as informações são escassas em solos brasileiros, apresentando uma sugestão para regiões onde não existam ainda dados regionais. É uma cultura altamente exigente quanto à acidez do solo, produzindo melhor na faixa de pH de 6,0 a 6,8, em solos com textura média ou argilosa, desde que rica em matéria orgânica e bem drenados.

A recomendação de adubação utilizada na região do Alto Vale do Itajaí para a cultura da beterraba, por ocasião do plantio, segundo o Manual de Olericultura é de 200 – 350 kg ha⁻¹ de P₂O₅; de 100 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O e 20 kg ha⁻¹ de N, e em adubação complementar, 60 – 120 kg ha⁻¹ de N juntamente com 30 – 60 kg ha⁻¹ de K₂O, parceladas em duas aplicações. Para micronutrientes, a única recomendação é para B, pela sua elevada exigência, sugerindo aplicar de 2 – 3 kg ha⁻¹ de B na forma de Bórax (12% B) (FILGUEIRA, 2008). Já no Manual de recomendação de adubação e de calagem para o RS e SC (CQFS RS/SC, 2004), as doses recomendadas para P₂O₅ e K₂O variam de 80 a 240 kg ha⁻¹, em função da classe textural e da CTC do solo. Para o nitrogênio está entre 50 e 100 kg ha⁻¹, com base no teor de matéria orgânica no

solo. Quanto à aplicação de enxofre e micronutrientes, não existem informações.

Desta forma, fica evidente a necessidade de uma recomendação específica para a região, sendo que o uso de uma adubação equilibrada é fundamental. Assim, há a necessidade de se implantar experimentos e fazer a calibração da adubação em função do tipo de solo da região, relacionando a quantidade de nutriente disponível no solo com a quantidade aplicada e o rendimento da cultura. Isso possibilitará prever a resposta da cultura à adubação, à calagem e a quantidade de nutriente ou de corretivo a ser aplicada (CQFS RS/SC, 2004).

Nos estudos de calibração, o pH dos solos, os demais nutrientes e o manejo devem ser adequados para a máxima produtividade. Para fins de calibração, utilizam-se apenas os valores das parcelas que receberam todos os demais tratamentos exceto o nutriente a ser testado (geralmente conhecida como parcela testemunha) (DAHNKE; OLSON, 1990; MIELNICZUK, 2002).

Na calibração também há a definição de um ponto da curva (teor do nutriente calibrado), denominado de teor crítico (CATE; NELSON, 1973). Nesse teor, ou acima dele, a probabilidade de resposta das plantas à adição do nutriente no solo é nula ou muito pequena. Assim, quanto menor o teor do nutriente do solo em relação ao teor crítico estabelecido, maior será a probabilidade de resposta das culturas à adubação (CQFS-RS/SC, 2004).

A recomendação de adubação para N, P, K e S, além de micronutrientes para a cultura da beterraba, tem sido feita, aos agricultores, baseada mais nas fórmulas de fertilizantes e quantidades já consagradas entre os produtores locais. Por outro lado, são genéricas as sugestões de adubação constantes no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) e do Manual de Olericultura (FILGUEIRA, 2008) e, por isso, a hipótese dessa pesquisa é que as recomendações existentes para N, P, K, S e micronutrientes para os Cambissolos da região necessitam ajustes. Considerando que os Cambissolos representam aproximadamente 70% dos solos da região, justifica-se a realização deste trabalho, que tem por objetivos, no primeiro capítulo, avaliar a resposta da cultura da beterraba a diferentes níveis de adubação fosfatada e potássica, visando estabelecer uma recomendação para esta classe de solo. No segundo capítulo, avaliar a resposta da cultura da beterraba à aplicação de doses de N, com e sem adição de S, B, Zn e

Mo. No terceiro capítulo, avaliar a resposta da cultura da beterraba a diferentes doses de adubação com enxofre.

CAPÍTULO I

1 CALIBRAÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA PARA BETERRABA NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ-SC

1.1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar a resposta da beterraba a diferentes níveis de adubação fosfatada e potássica conduziu-se no Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, em Rio do Sul (SC), um experimento composto por dois cultivos. O primeiro cultivo foi montado em blocos inteiramente casualizados, no esquema fatorial 4 x 4, (0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹ de K₂O) com 3 repetições. O transplante foi efetuado em 05/07/2010, com espaçamento de 0,25m entre linhas e de 0,08m entre plantas, tendo 40 plantas por parcela. No segundo cultivo, foi testada a reposição de fósforo e potássio, sendo que cada parcela do primeiro cultivo foi dividida em três e, aplicadas 0%, 33% e 66% das doses iniciais de fertilizantes. Em cada um dos cultivos foram aplicados 110,0 kg ha⁻¹ de N, 1,0 kg ha⁻¹ de B e 2,0 kg ha⁻¹ de Zn. A coleta das plantas (4 plantas por parcela) foi efetuada 60 dias após o transplante, determinando-se diâmetro de raiz, massa fresca de folhas e raízes. Todo material foi submetido à secagem em estufa (60°C) até atingir massa constante, onde determinou-se massa seca de raízes e folhas. Os teores totais dos macronutrientes foram determinados na massa seca após digestão sulfúrica. No primeiro cultivo, a máxima produção de beterraba ocorreu com a aplicação de 379 kg ha⁻¹ de P₂O₅, quando o montante de fósforo exportado em tecidos foi de 21,3 kg ha⁻¹ de P. Para potássio, não foi observada resposta à adubação no primeiro cultivo devido às reservas naturais do solo, porém a exportação pelas plantas foi elevada, atingindo 172,0 kg ha⁻¹ de K com a dose 418 kg ha⁻¹ de K₂O. No segundo cultivo, houve resposta às doses de P e K, sendo a máxima produtividade obtida sob os tratamentos com as maiores doses aplicadas no 1º cultivo e com as

maiores doses de reposição, mostrando que a cultura é altamente exigente na disponibilidade de fósforo. Para potássio as doses necessárias também são altas, em função da elevada extração pela cultura.

Palavras-chave: *Beta vulgaris*. Nutrição mineral. Crescimento. Fósforo. Potássio.

1.2 ABSTRACT

In order to assess the beet response to different levels of phosphorus and potassium fertilization was conducted at the Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, Rio do Sul (SC), an experiment consists of two crops. The first crop was set in randomized blocks in a factorial 4 x 4, (0, 200, 400 and 600 kg ha⁻¹ P₂O₅) and (0, 150, 300 and 450 kg ha⁻¹ K₂O) 3 replicates. The transplant was made on 05/07/2010, with spacing of 0.25 m between rows and 0.08 m between plants, with 40 plants per plot. The second crop was tested phosphorus and potassium replacement where the first portion of each culture was divided into three and applied 0%, 33% and 66% of the initial doses of fertilizers. In each of the crops were applied 110 kg ha⁻¹ N, 1.0 kg ha⁻¹ B and 2.0 kg ha⁻¹ Zn. The collection of plants (4 plants per plot) was performed 60 days after transplantation, determining root diameter, fresh weight of leaves and roots. After, all material was subjected to oven drying (60 ° C) until constant weight, where it was determined dry matter of roots and leaves. The total contents of macronutrients were determined in dry matter after sulfuric digestion. For the first cultivation the maximum yield was obtained when the total content of phosphorus accumulated in tissues was 21.3 kg ha⁻¹, obtained with the application of 379 kg ha⁻¹ of P₂O₅. For potassium, it was not observed response from beet, but the plants exported 172.27 kg ha⁻¹ K in tissues with the dosage of 418 kg ha⁻¹ K₂O. In the second crop it was observed responses do P and K up to the higher doses of fertilizers, including the replacement doses. These results show that the beet is highly demanding on the availability of phosphorus to achieve high yields. For potassium dose requirements are also high due to the high extraction by culture.

Key-words: *Beta vulgaris*. Mineral nutrition. Growth. Phosphorus. Potassium.

1.3 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris*) é uma hortaliça que vem ganhando espaço e importância econômica no Brasil, sendo atualmente, uma das dez principais olerícolas cultivadas (SEDIYAMA et al., 2011). Em Santa Catarina, o volume médio comercializado desta hortaliça via CEASA/SC é de 3.600.000 kg ano⁻¹, gerando um volume monetário equivalente a R\$ 4,00 milhões (CEASA/SC, 2007). Na região do Alto Vale do Itajaí, o seu cultivo vem crescendo nos últimos anos em função da necessidade de se diversificar a produção nas propriedades familiares após o cultivo da cebola, principal cultura da região (DUARTE et al., 2012). Por isso, a cultura ocupa uma área de 773,1 ha, envolvendo diretamente 296 famílias (EPAGRI, 2010).

Com relação à nutrição mineral da cultura, em âmbito nacional, praticamente não existem informações na literatura a respeito das exigências na mesma (GRANGEIRO et al., 2007). Quanto à adubação, Filgueira (2008) apresenta uma sugestão de adubação para regiões onde não existam ainda dados regionais. Apesar de existir uma boa base de dados em outros países, as informações referem-se principalmente à beterraba açucareira NPK (MARINKOVIC et al., 2010; Turk, 2010).

Segundo Avalhaes et al., (2009), no cultivo de hortaliças, o emprego do fósforo favorece o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a absorção de água e de nutrientes, refletindo em aumento no rendimento dos produtos colhidos. Quando comparado com o nitrogênio e o potássio, o fósforo é o nutriente de menor acúmulo pela beterraba, sendo a cultura, uma hortaliça considerada pouco exigente neste nutriente, uma vez que as quantidades retiradas do solo são geralmente baixas (GRANGEIRO et al., 2007).

Entretanto, apesar dessa aparente baixa exigência, os teores de P na solução do solo, bem como a velocidade do seu restabelecimento na mesma, não são suficientes para atender às necessidades da cultura na maioria dos solos brasileiros devido ao alto poder de sorção do fósforo nas partículas minerais do solo. Como consequência, nas adubações é o fósforo que entra em maiores proporções (COUTINHO et al., 1993).

O potássio é o cátion mais abundante na planta, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes (CAMPO et al., 2000). Possui importante função na translocação e armazenamento de fotoassimilados e na manutenção de água nos tecidos vegetais. Embora o potássio não faça parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na

planta (MEURER, 2006), é conhecido como o nutriente da qualidade por causa de seu importante efeito sobre o tamanho, forma, cor, sabor e resistência dos produtos hortícolas ao armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O potássio é o nutriente capaz de provocar influência nos teores de sólidos solúveis dos vegetais, aumentando quantidade de açúcar na beterraba (LOPES, 1995).

De acordo com Malavolta (2004), a adubação potássica depende de fatores como CTC do solo, quantidade de K disponível, forma predominante do K no solo (solúvel, trocável, não trocável e fixado), a temperatura, a umidade, manejo do solo e, principalmente, em função da cultura que será implantada.

O conhecimento da quantidade total de nutrientes extraídos, exportados e o quanto retornou ao solo através dos restos culturais é fundamental para o fornecimento correto da quantidade de nutrientes exigido pela cultura, sem doses excessivas, que possam causar desbalanços nutricionais na cultura ou transformar quimicamente o solo. Para isso, deve-se fazer a calibração preferencialmente em função do tipo de solo da Região, relacionando quantidade de nutriente disponível no solo, com a quantidade aplicada e o rendimento da cultura. Com a calibração, busca-se chegar a um valor chamado nível crítico, que indicará o teor do elemento no solo a ser alcançado para se obter a máxima resposta da cultura. Isso possibilitará prever a resposta da cultura à adubação, além da quantidade de fertilizante a ser utilizada, caso o teor do nutriente esteja abaixo do nível crítico (CQFS – RS/SC, 2004).

Atualmente, não existem recomendações de adubação específicas para a região do Alto Vale do Itajaí, sendo a aplicação de nutriente, feita conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que apresenta recomendação genérica para as culturas da beterraba e cenoura (CQFS – RS/SC, 2004) ou seguindo o Manual de Olericultura (FILGUEIRA, 2008), onde o autor destaca que “pouco se sabe sobre a adubação dessa cultura em solos brasileiros”. Esta ausência de informações e a disparidade entre as doses recomendadas por estas fontes bibliográficas justificam o estudo sobre as necessidades nutricionais da cultura.

Nesta perspectiva, o presente trabalho objetiva avaliar a resposta da cultura da beterraba a diferentes níveis de adubação fosfatada e potássica, visando estabelecer uma recomendação para a classe dos Cambissolos, predominantes na região do Alto Vale do Itajaí.

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, Rio do Sul (SC). A região, segundo a classificação climática de Köppen, possui clima mesotérmico úmido (Cfa), sem estação seca, com verões quentes, apresentando temperaturas médias de 19,2°C e precipitação média anual entre 1.300mm/1.400mm (SEIFFERT, 1996).

O solo da área experimental é um Cambissolo Háplico, com os seguintes atributos: pH em água de 5,2; teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e CTC de 4,2; 2,2; 0,8 e 12,6 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, respectivamente; saturação por bases de 51,3%, teor de argila de 240 g kg^{-1} e teores de P e K de 2,5 e 30 mg dm^{-3} . Conforme recomendação da CQFS – RS/SC (2004), para a cultura elevou-se o pH do solo a 6,0.

A condução do trabalho foi efetuada em duas etapas denominadas de Primeiro Cultivo e Segundo Cultivo. No primeiro cultivo avaliou-se a curva de resposta da beterraba a diferentes doses de P e K. O experimento foi montado em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro doses de P (0, 200, 400 e 600 kg ha^{-1} P_2O_5) e quatro doses de K (0, 150, 300 e 450 kg ha^{-1} K_2O) com três repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. As doses foram definidas de modo a abranger aquelas recomendadas por FILGUEIRA (2008) e CQFS – RS/SC (2004) para o solo da área experimental. Os canteiros (com 1,0 m de largura x 6,4 m de comprimento) foram feitos mecanicamente com encanteirador, sendo estes subdivididos em parcelas com 0,80 m de comprimento cada, nas quais se aplicou os tratamentos, incorporando-se os fertilizantes ao solo com o auxílio de um rastelo. A fonte de P foi o superfosfato triplo e de K, o cloreto de potássio.

As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno, conduzidas em casa-de-vegetação (estufa modelo capela, com sistema de irrigação por microaspersão automatizado) até o transplante, realizado 30 dias após a semeadura. Utilizou-se a cultivar de beterraba Early Wonder. O transplante das mudas foi efetuado em 05/07/2010, utilizando espaçamento de 0,25m entre linhas e 0,08m entre plantas, totalizando uma população de 500.000 plantas ha^{-1} (FILGUEIRA, 2008). Em cada parcela experimental cultivaram-se 40 plantas, das quais se coletou para avaliação 4 plantas. Em cada um dos cultivos foram aplicados 110 kg ha^{-1} de N (sendo 40 kg ha^{-1} no transplante e duas doses

de 35 kg ha⁻¹ em cobertura aos 20 e 40 dias de cultivo), 1,0 kg ha⁻¹ de B e 2,0 kg ha⁻¹ de Zn. O volume de precipitação no período de 337,5 mm.

No segundo cultivo foi testada a curva de resposta da beterraba à reposição de P e K após a primeira adubação. Cada parcela do experimento I foi subdividida em três partes, ficando as parcelas do Cultivo II com 0,26 m de comprimento, nas quais aplicou-se 0%, 33% ou 66% da dose de fertilizante anteriormente aplicada, sendo este incorporado ao solo com o auxílio de um rastelo.

O transplante das mudas foi efetuado em 06/12/2010, utilizando espaçamento de 0,25m entre linhas e de 0,08m entre plantas. Em cada parcela experimental cultivaram-se 16 plantas, das quais foram coletadas quatro plantas para avaliação. Para as aplicações de nitrogênio, bórax e zinco foram adotados o mesmo procedimento do primeiro cultivo, uniforme para todos os tratamentos. O volume de precipitação durante o segundo cultivo foi de 469 mm, e o volume total de precipitação desde a implantação do 1º cultivo e a colheita do 2º cultivo foi de 1181 mm.

Em ambos, os cultivos, não foi necessário tratamento fitossanitário e o controle de plantas daninhas ocorreu mediante capina. A coleta das plantas foi aos 60 dias após o transplante, determinando-se com o auxílio do paquímetro o diâmetro de raiz e, em balança de precisão a massa fresca de folhas e raízes. Após, todo material coletado foi submetido à secagem em estufa (60°C) até atingir peso constante, determinando-se então, a massa seca. O material foi triturado em moinho tipo Willey e submetido à digestão sulfúrica, determinando-se na folha, raiz e planta, os teores de fósforo pelo método colorimétrico e potássio pela fotometria de chama (TEDESCO et al., 1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando houve necessidade, foram ajustadas equações de regressão polinomiais para se analisar os efeitos das doses dos nutrientes. Também foram ajustadas curvas de resposta polinomiais às doses de P, considerando as aplicações nos dois cultivos, para cada dose de K aplicada no primeiro cultivo. A normalidade e a homogeneidade de variâncias dos resíduos foram testadas pelos testes de Shapiro-Wilk e de Hartley (F máximo). Em todos os testes, foi adotado o nível mínimo de significância de 5%. As análises foram conduzidas com o uso do programa SAS (Statistical Analysis System®, 2006).

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de F e o nível de significância para as fontes de variação, bem como o coeficiente de variação para diversas variáveis relacionadas ao desenvolvimento da parte aérea e de raízes da beterraba no primeiro cultivo. Para o fósforo, observou-se efeito significativo ($P < 0,01$) para massa seca de raízes (MSR), massa fresca de raízes (MFR) e para o diâmetro de raiz (DR) ($P < 0,05$).

Tabela 1 - Valores de F e nível de significância para as diversas fontes de variação e coeficiente de variação para as variáveis biométricas avaliadas no primeiro cultivo. F.V.= fonte de variação; CV= coeficiente de variação; MSR = massa seca de raízes; MSF =massa seca de folha; MFR = massa fresca de raízes; MFF= massa fresca de folha; DR = diâmetro de raiz. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.

F.V.	MSR	MSF	MFR	MFF	DR
Bloco	3,84*	0,73 ^{ns}	8,49**	6,63**	5,73**
Fósforo	5,56**	0,48 ^{ns}	4,75**	1,97 ^{ns}	3,64*
Potássio	0,89 ^{ns}	0,81 ^{ns}	2,24 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,68 ^{ns}
P x K	0,94 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,03 ^{ns}	0,92 ^{ns}
CV(%)	24,6	17,3	23,6	25,9	13,4

ns= não significativo, *= significativo (1%), **= altamente significativo (5%)

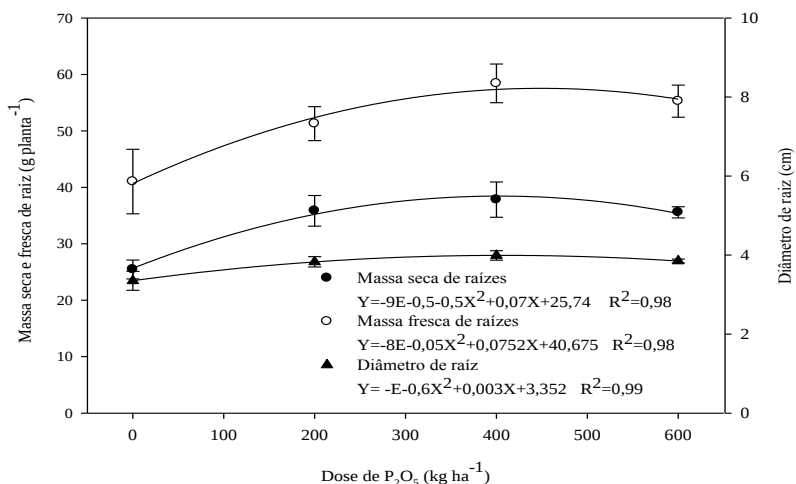
A ausência de resposta às doses de potássio aplicadas é um indicativo de que os teores disponíveis previamente no solo foram suficientes para atender a demanda das plantas neste período.

Para as variáveis: massa seca e diâmetro de raiz (Figura 1), em função das doses de P aplicadas, houve comportamento quadrático, obtendo-se valores máximos de 39,3 g planta⁻¹ e de 3,91cm de diâmetro de raiz com a aplicação de 385 e 375 kg ha⁻¹ P₂O₅, respectivamente. Comparando os dados obtidos neste trabalho, com a recomendação para esta cultura segundo o Manual de Olericultura (FILGUEIRA, 2008), que é de 200 a 350 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observa-se que a quantidade de fertilizante fosfatado recomendada está abaixo da real necessidade para obtenção do máximo rendimento. Recomendação similar a esta também é obtida ao se utilizar o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS – RS/SC, 2004), onde para solos enquadrados na classe textural 3 e com teor muito baixo de fósforo (similar ao da área

onde se conduziu este experimento), recomenda-se a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

A produção máxima de massa fresca de raízes foi de 29170 kg ha⁻¹ (equivalente a produto beneficiado), obtida com a aplicação de 470 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Este valor está dentro dos valores médios preconizados para cultura, sendo a produtividade da beterraba beneficiada (raízes) extremamente variável, situando-se entre 20 e 35 t ha⁻¹ (FILGUEIRA, 2008; RESENDE; CORDEIRO, 2007).

Figura 1 - Massa seca, massa fresca e diâmetro de raízes, em função das doses de fósforo aplicadas. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.



Na otimização da produção, um dos pontos a se considerar é o espaçamento ideal, pois uma das maneiras óbvias de se tentar aumentar a produtividade de uma cultura é plantar-se um maior número de plantas por unidade de área (CORRÊA et al., 2014). Entretanto, na maioria dos cultivos, o aumento da produtividade por esse método tem um limite, já que, com o aumento da densidade há um aumento na competição entre plantas e o desenvolvimento individual de cada planta é prejudicado (MINAMI et al., 1998). A exportação de nutrientes pela planta acompanha o acúmulo de matéria seca, sendo que dentro da faixa populacional considerada ideal, esta não é alterada.

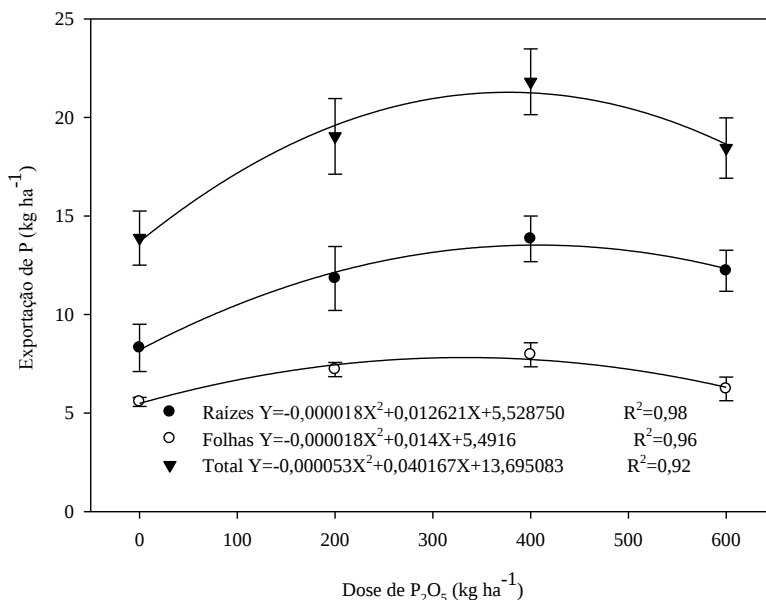
Na folha o teor máximo de fósforo ($7,82 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtido com a aplicação de 333 kg ha^{-1} de P_2O_5 , que equivale a uma exportação de $7,82 \text{ kg ha}^{-1}$, para uma lavoura com população de $500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (Figura 2). Este valor é superior ao obtido por GRANGEIRO et al. (2007), que obtiveram $4,16 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo acumulado em folhas para uma população de $330.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, equivalente a $6,30 \text{ kg ha}^{-1}$ para uma população de $500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Já para doses superiores (600 kg ha^{-1}) de P_2O_5 , há uma redução do teor de P na folha (Figura 2). ISMAEL et al., (1998), obtiveram resultados similares e destacam que os teores de fósforo disponíveis nas folhas aumentaram com o aumento crescente das doses aplicadas no solo, confirmado pela análise de regressão.

Para o teor de fósforo na raiz, observou-se equivalência nos valores obtidos com a aplicação de 200, 400 e 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e similaridade com o encontrado para o teor de P na folha, com um incremento de P na raiz, obtendo-se teor máximo ($13,55 \text{ g kg}^{-1}$) com a aplicação de 409 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Para esta dose, a exportação total de fósforo nas raízes foi de $13,55 \text{ kg ha}^{-1}$, para uma população de $500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Estes valores revelaram-se superiores aos obtidos por GRANGEIRO et al., (2007), sendo que para uma população de 330.000 plantas , obteve-se uma exportação de $6,06 \text{ kg ha}^{-1}$, o que equivale para a população a $9,18 \text{ kg ha}^{-1}$ de P em raiz. Haag; Minami (1987), ao trabalharem com a cultivar Early Wonder, citam que a extração de nutrientes foi contínua dos 40 dias até a colheita (80 dias), sendo máxima, a absorção de P aos 60 dias de idade.

Já para a planta, a máxima absorção de P ocorreu com a aplicação de 379 kg ha^{-1} P_2O_5 . Considerando uma lavoura com $500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (recomendada para a região), o total de fósforo acumulado pelas plantas foi de $21,30 \text{ kg ha}^{-1}$.

Neste experimento, os valores máximos obtidos para exportação de fósforo foram superiores aos encontrados por GRANGEIRO et al., (2007), os quais relatam o acúmulo de $15,48 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na planta. As raízes apresentaram maior contribuição (63,29%), quando comparado com a parte aérea (36,71%). Esses dados estão de acordo com aqueles publicados por MAGRO (2012), que relata a extração de 63% do P absorvido pelas raízes e de 37% para a parte aérea em plantas ao final do ciclo.

Figura 2 - Exportação de fósforo na folha, raízes e na planta em função da dose de fósforo aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.

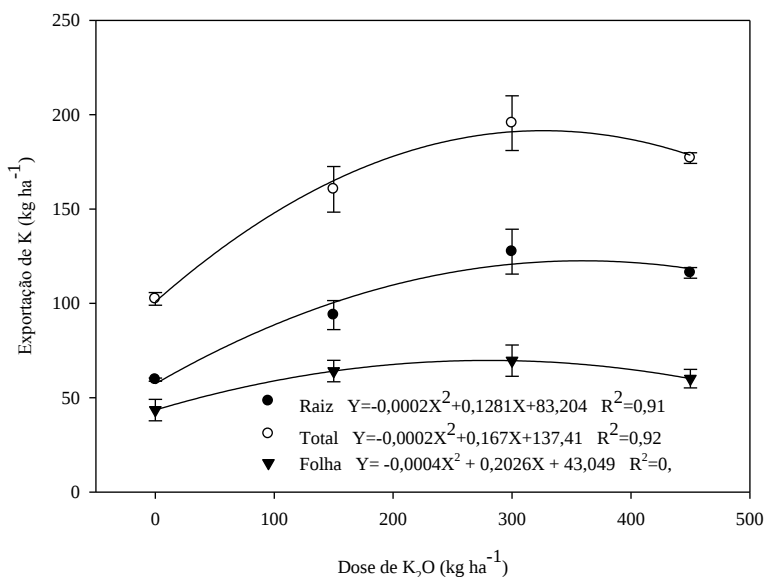


Em relação à exportação de potássio pelas raízes, observou-se que nos tratamentos com adição deste, a exportação foi maior que na testemunha (Figura 3), indicando o fenômeno de “consumo de luxo” amplamente relatado na literatura para o potássio, uma vez que a alta disponibilidade de um nutriente faz com que a sua absorção e exportação pelas culturas seja maior, mesmo que não ocorra resposta de aumento de produtividade com o uso do nutriente (Meurer, 2006). Para os dados obtidos, o modelo quadrático, de segunda ordem, foi o mais adequado, obtendo-se R^2 de 0,92 e conforme este, a dosagem 320 kg ha⁻¹ de K₂O, foi a que proporcionou maior acúmulo de K na raiz (3,55 g kg⁻¹), o que equivale a exportação de 104 kg ha⁻¹ de K.

Para a planta, observou-se comportamento similar ao relatado para as raízes, porém o ponto de máxima, conforme modelo, foi obtido com a aplicação de 418 kg ha⁻¹ de K₂O, o que equivale a um acúmulo total de potássio 172 kg ha⁻¹. Estes dados estão de acordo com os

publicados por GRANGEIRO et al., (2007), os quais relatam uma exportação total de 179 kg ha^{-1} para cultivar de beterraba Early Wonder aos 60 dias após o transplante. Isso mostra que, embora não tenha se observado resposta à adubação potássica, a quantidade de K exportada via colheita é relevante, sendo um fator importante para o ajuste da adubação dos cultivos subsequentes. Conforme Alves et al., (2008), o elevado acúmulo de potássio 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, para translocação de açúcares e síntese de amido e requerido para a obtenção de produções elevadas.

Figura 3 - Exportação de potássio em raízes e total em função da dose de K_2O (kg ha^{-1}) aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.



Quanto à participação da parte aérea e raízes no total de K extraído, estas respectivamente contribuíram com 39,8% e 60,2% do total de K absorvido pela planta. Esses dados apresentam certa divergência aos apresentados por GRANGEIRO et al. (2007), que

relatam uma participação de 48% para a parte aérea e de 52% para as raízes, no total de K extraído pela planta.

Considerando que no terço final do experimento ocorreu um déficit hídrico, limitando a absorção de K pelas plantas, a mesma possivelmente redistribuiu o K que estava nas folhas para o órgão em crescimento, no caso a raiz, justificando assim, a maior proporção de K nas raízes em relação à parte aérea. Para a extração de K pelas folhas, não se observou resposta significativa ($\alpha=5\%$), em relação às doses de K aplicadas ao solo. Segundo KHATOUNIAN (2001), o potássio é um elemento ativo em forma livre, sendo prontamente liberado para o solo, principalmente onde a CTC é menor. Como nas folhas a demanda é menor, quando comparado com as raízes, acredita-se que a quantidade fornecida pelo solo atende as necessidades da parte aérea da planta.

Com base no Manual de adubação e de calagem (CQFS – RS/SC, 2004), o teor crítico para o potássio no solo (com CTC de 12,6 mg kg⁻¹) é de 60 mg kg⁻¹, considerando o teor inicial de 30 mg kg⁻¹ de K na área experimental, a princípio há a necessidade de adubação potássica. Contudo, o rendimento relativo da beterraba em função da disponibilidade de potássio existente no solo apontou um nível crítico menor que o preconizado (47 mg kg⁻¹). Este menor valor crítico obtido para o potássio, bem como, a ausência de resposta à aplicação de K nas variáveis biométricas avaliadas pode estar relacionado ao fato do experimento ser desenvolvido em um Cambissolo com reservas de K não trocável.

Segundo Almeida et al., (1997), os Cambissolos da região de Rio do Sul apresentam a mineralogia da fração argila composta de caulinita como argilomineral dominante, além de mica (ou ilita), argilominerais 2:1 com ou sem polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas, interestratificados e quartzo. Esses argilominerais do tipo 2:1, devido os fatores do intemperismo agem de modo gradual, podendo estar liberando parte do potássio que a beterraba necessita para o seu desenvolvimento, o que contribui para o abaixamento do nível crítico da cultura. Comportamento similar foi encontrado por Kaminski et al., (2010) em Argissolos da região de Santa Maria (RS), onde a presença de minerais 2:1 contendo potássio fizeram com que o nível crítico fosse estabelecido em 51 mg kg⁻¹ (abaixo de 60 kg⁻¹) em um experimento de longa duração com culturas de grãos .

Em relação ao fósforo, o nível crítico estabelecido no Manual de adubação e de calagem (CQFS - RS/SC, 2004), para solos com 240 g kg⁻¹ de argila (classe textural 3), é de 12 mg kg⁻¹ extraído pelo método

Melich-1. O valor crítico, obtido neste trabalho ($18,5 \text{ mg kg}^{-1}$) é superior ao valor apresentado nesta fonte, justificando assim, a resposta obtida às doses de P aplicadas, uma vez que quanto menor o teor de nutriente do solo em relação ao teor crítico estabelecido, maior a probabilidade de resposta da cultura a adubação.

O cultivo intensivo das hortaliças exige uma grande reposição de nutrientes em forma de adubação devido à elevada exportação. Dependendo da espécie cultivada, há a necessidade da aplicação de doses elevadas de fertilizantes para a obtenção de altos rendimentos e boa qualidade (RAIJ, 1997). Em função da não resposta ao K aplicado no primeiro cultivo, a análise estatística, para os resultados do segundo cultivo foi realizada individualmente para cada nível de potássio. Assim, em cada nível, foi testada a resposta ao fósforo (efeito residual do primeiro cultivo e efeito imediato das doses de reposição no segundo cultivo).

Quando o objeto de estudo é a massa seca e fresca de raízes (Tabela 2), o melhor resultado foi obtido para os tratamentos com a dose máxima de fertilizante aplicada (450 kg ha^{-1} de K_2O e 600 kg ha^{-1} de P_2O_5) mais a dose de reposição 66% da dose de plantio, obtendo-se produtividade de 25881 kg ha^{-1} . Este resultado mostra que no segundo cultivo a cultura respondeu até a maior dose de P e K, indicando que a exportação de potássio ocorrida no primeiro cultivo exauriu as reservas do solo, necessitando doses mais elevadas de reposição. Já para fósforo, provavelmente o processo de adsorção residual ao solo e o fenômeno de envelhecimento (NOVAIS & SMYTH, 1999) fizeram com que a resposta ao P continuasse elevada no segundo cultivo.

Para diâmetro de raiz (Tabela 2) a melhor resposta foi obtida com a dose de 150 kg ha^{-1} de K_2O e 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 no primeiro cultivo e reposição de 33% (testado no 2º cultivo), atingindo assim, 3,75 cm de diâmetro de raiz. Similarmente, para massa fresca de folha (Tabela 2) o melhor resultado foi obtido para os tratamentos de plantio com a dose 150 kg ha^{-1} de K_2O e 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 , independente da dose de reposição.

Quando se analisa a exportação de nutrientes nos tecidos da planta (Tabela 3) em função da adubação de reposição, observa-se para o tratamento 0 kg ha^{-1} de K em reposição sob os tratamentos do primeiro cultivo (0, 150, 300 e 450 kg ha^{-1} de K_2O), não houve diferença quanto ao volume de potássio exportado pelas raízes. Vale lembrar que o experimento foi implantado sob Cambissolo Háplico, com argila de atividade baixa e $\text{CTC}=12,6 \text{ cmol}_c\text{dm}^3$, ou seja, com pequena

capacidade de adsorver K, o que pode ter levado a movimentação do nutriente aplicado no primeiro cultivo por lixiviação.

O volume de precipitação desde a implantação do primeiro cultivo à colheita do 2º cultivo foi de 1181 mm, favorecendo este processo, pois a mobilidade vertical descendente dos nutrientes acontece principalmente por fluxo de massa, em decorrência das forças gravitacionais. Assim, os fatores que mais influenciam positivamente a descida são as concentrações na solução do solo e o volume de água que percola, independentemente da condição. Entretanto, a mobilidade no perfil estará dependente de uma boa precipitação pluvial no período (ERNANI et al., 2007).

Para fósforo em raízes (Tabela 3), o melhor resultado foi obtido com a dose 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicadas no primeiro cultivo, mais a reposição de 66% de P, resultando no acúmulo de 11,0 kg ha⁻¹ de fósforo, independente da dose de potássio. Para fósforo em folha não houve resposta da adubação de reposição.

Tabela 2 - Equações de ajuste de doses de P no primeiro cultivo (x1) e no segundo cultivo (x2) em cada nível de potássio aplicado no 1º cultivo para as variáveis massa fresca e seca de folha e raiz. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.

Dose de K ₂ O	Equação	Valor de R ²
K1=150 kg ha ⁻¹	Massa fresca de folha Y=13,8933+0,0227X ₁	R ² =0,16
	Massa fresca de raízes Y=45,5771+0,1003X ₁ +0,2558X ₂	
K1=450 kg ha ⁻¹	Massa seca de raízes Y=4,9894+0,0204X ₁ -0,00001X ₁ ² +0,0126X ₂	R ² =0,59
	Diâmetro de raízes Y=1,4867+0,0027X ₁ -0,00000077X ₁ ² +0,0100X ₂ -0,0000X ₂ ²	
K1=150 kg ha ⁻¹		R ² =0,65

Obs.: Equação X₁= P no primeiro cultivo X₂= P no segundo cultivo

Obs.: são apresentados os dados apenas para os parâmetros e doses de K onde foi observado efeito significativo (P<0,05).

De acordo com a análise dos resultados da adubação de segundo cultivo (Tabela 3), apenas nos tratamentos que receberam a dose 150 kg ha⁻¹ de K₂O no primeiro cultivo, foram observados os mesmos resultados apresentados anteriormente, ou seja, não houve diferença entre as doses de K aplicadas no primeiro cultivo. A reposição de 66% sobre a dose 400 kg ha⁻¹ de K₂O no primeiro cultivo foi a que promoveu

a maior exportação de potássio em raízes, ou seja, 133 kg ha^{-1} . Por sua vez, quando se analisa a exportação de fósforo, o maior resultado foi obtido com a dose de $600 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$ no primeiro cultivo, não havendo muita variação quando a dose de reposição foi de 0, 33% e 66% de P_2O_5 , tendo a planta exportado $21,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo.

Quando analisado o efeito da dose 450 kg ha^{-1} de K_2O aplicados no solo, não há diferença entre as doses de K aplicados no primeiro cultivo, e a maior exportação de potássio pelas raízes se dá com a dose de 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados no primeiro cultivo, mais 66% de reposição de P_2O_5 , resultando na exportação de 169 kg ha^{-1} de potássio pelas raízes. Para fósforo em raízes, o melhor resultado foi obtido na dosagem 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 no primeiro cultivo, mais a reposição de 66% de P, proporcionando a exportação de $26,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo do solo.

A CQFS-RS/SC (2004) recomenda para a adubação de reposição uma dose padronizada de 100 kg ha^{-1} de K_2O e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , independente das características do solo ou produtividade obtida anteriormente. Para os Cambissolos da região do Alto Vale do Itajaí, com $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo e teor de argila de 24%, a proposta para a adubação de reposição é de 396 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; e para potássio uma adubação de reposição de 297 kg ha^{-1} de K_2O , uma vez que o teor de K no solo de 30 mg dm^{-3} e CTC $12,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 3 - Equações de ajuste de doses de P no primeiro cultivo (x1) e no segundo cultivo (x2) em cada nível de potássio aplicado no primeiro cultivo para as variáveis de P e K no tecido vegetal. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2013.

Variáveis	$K_2O = 0 \text{ kg ha}^{-1}$	
K raízes	$Y = 50,2234 + 0,0052X_1 + 0,7321X_2 - 0,0009X_1X_2$	$R^2 = 0,49$
P raízes	$Y = 7,2471 - 0,0046X_1 + 0,0374X_2$	$R^2 = 0,49$
	$K_2O = 150 \text{ kg ha}^{-1}$	
K raízes	$Y = 56,7125 - 0,0226X_1 + 0,66814X_2 - 0,0013X_2^2$	$R^2 = 0,42$
K folha	$Y = 19,9391 + 0,0483X_1 + 0,3094X_2 - 0,0008X_2^2$	$R^2 = 0,38$
P raízes	$Y = 8,2086 + 0,0226X_1$	$R^2 = 0,22$
P folha	$Y = 6,9225 + 0,0543X_2 - 0,00013X_2^2$	$R^2 = 0,24$
	$K_2O = 450 \text{ kg ha}^{-1}$	
K raízes	$Y = 73,3632 + 0,2404X_2$	$R^2 = 0,36$
K folha	$Y = 31,6094 + 0,1733X_2$	$R^2 = 0,38$
P raízes	$Y = 9,0108 + 0,0402X_2$	$R^2 = 0,40$
P folha	$Y = 7,5722 + 0,0235X_2$	$R^2 = 0,36$
Equação $X_1 = P$ no primeiro cultivo $X_2 = P$ no segundo cultivo		
Dados apenas para os parâmetros e doses de K onde foi observado efeito significativo ($P < 0,05$).		

1.6 CONCLUSÕES

No primeiro cultivo a produção máxima de beterraba ocorreu com a aplicação de 379 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e consequentemente a exportação de P na planta foi de $21,3 \text{ kg ha}^{-1}$. Também não foi observada resposta à adubação potássica, porém a exportação do nutriente pelas plantas foi elevada.

No segundo cultivo, houve resposta à adubação fosfatada e potássica, sendo a máxima produtividade obtida com as maiores doses aplicadas no primeiro cultivo (600 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 450 kg ha^{-1} de K_2O) e 66% a dose de reposição, com exportação de $16,88 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na folha e $26,64 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na raiz; e $100,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de K na folha e $168,56 \text{ kg ha}^{-1}$ de K na raiz.

CAPÍTULO II

2 RESPOSTA DA BETERRABA À ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ-SC

2.1. RESUMO

Há poucos trabalhos objetivando calibrar a adubação de macro e micronutrientes para a cultura da beterraba cultivada na Região Sul do país. Neste trabalho foram conduzidos dois experimentos, um de campo e um em casa-de-vegetação com os objetivos de: a) em condições de campo avaliar a resposta da beterraba para doses de nitrogênio (N), na presença ou ausência de dose única dos nutrientes enxofre (S), boro (B), zinco (Zn) e molibdênio (Mo); b) em casa-de-vegetação avaliar a resposta das plantas aos nutrientes S, B, Zn e Mo. O experimento 1 foi conduzido em um Cambissolo Háplico, no qual testou-se as doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) na presença ou ausência de adubação com S, Zn, B e Mo nas doses 50; 2; 1 e 0,01 kg ha⁻¹, respectivamente. Plotou-se o esquema fatorial 5x2 no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. No experimento 2 usou-se o mesmo solo do experimento 1, conduzido em casa-de-vegetação em vasos com 3,0 kg de solo. Foram testados seis tratamentos (testemunha, adição de S, adição de B, adição de Zn, adição de Mo e adição de S, Zn, B e Mo), no delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. As doses dos nutrientes testados foram as mesmas usadas no experimento 1, enquanto os demais nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) foram adicionados em todos tratamentos seguindo as recomendações técnicas da cultura. Aos 60 dias após o transplante, as plantas de ambos, os experimentos, foram colhidas e separadas em folhas e raízes, para a determinação de massa fresca e seca e determinação de N, S, B e Zn no tecido vegetal. Houve efeito significativo para fator N, atingindo a máxima produtividade com

aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, na presença de S, Zn, B e Mo, cuja adição praticamente dobrou a produção de raízes. O experimento em casa-de-vegetação comprovou que o enxofre foi o responsável pelo aumento da produção observada no experimento 1.

Palavras-chave: *Beta vulgaris*. Adubação. nutrição mineral. produção.

2.2. ABSTRACT

There are few studies in Brazil aiming to calibrate the fertilization of macro and micronutrients to grown of beets in the Southern Region. In this work two experiments were conducted, one in the field and another in a greenhouse with the objectives of: a) under field conditions to assess the response of beets to nitrogen (N) in the presence or absence of a single rate of sulfur (S), boron (B), zinc (Zn) and molybdenum (Mo); b) in a greenhouse experiment to evaluate the response of plants to nutrients S, B, Zn and Mo. The experiment 1 was conducted in a Cambisol with 270 g kg⁻¹ clay and 33 g kg⁻¹ organic matter. The treatments were N rates (0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹) in the presence or absence of fertilization with S, Zn, B and Mo in dosages of 50; 2; 1 and 0.01 kg ha⁻¹, respectively, in a 5x2 factorial design with randomized blocks and four replications. In Experiment 2 it was used the same soil of experiment 1, conducted in a greenhouse in pots of 3.0 kg of soil. Six treatments were tested: (control, addition of S, addition of B, addition of Zn, addition of Mo and addition of S, Zn, B and Mo) in a completely randomized design with five replicates. The rates of nutrients tested were the same as used in experiment 1, while the remaining nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) were added in all treatments following the technical recommendations to the culture. At 60 days after transplantation, the plants of both experiments were collected and separated in leaves and roots for the determination of fresh and dry weight and determination of N, S, B and Zn in plant tissue. The results showed a significant effect for factor N with plants reaching maximum productivity with the application of 100 kg N ha⁻¹ in the presence of S, Zn, B and Mo, whose addition nearly doubled the production of roots. The experiment in the greenhouse showed that sulfur was the nutrient, after N, responsible for the increase in production observed in Experiment 1.

Keywords: *Beta vulgaris*. Fertilizer. mineral nutrition. Production.

2.3. INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris*) pertencente à família das Quenopodiáceas é originária de regiões européias e norte-africanas de clima temperado (FILGUEIRA, 2008). Seu cultivo vem ganhando espaço e importância econômica, sendo, atualmente, uma das dez principais olerícolas cultivadas no Brasil (SEDIYAMA et al, 2011). Em Santa Catarina, o volume médio comercializado desta hortaliça via CEASA/SC é de 3.600.000 kg ano⁻¹, movimentando a cifra de aproximadamente R\$ 4,00 milhões ano⁻¹ (CEASA/SC, 2007). A inserção da cultura, por apresentar um pacote tecnológico de menor custo e um ciclo bastante curto, vem merecendo destaque na região do Alto Vale do Itajaí, SC, principalmente após a colheita da cebola, (DUARTE et al., 2012).

Dentre os nutrientes mais exigidos, destaca-se o nitrogênio (N), pela sua contribuição para o aumento da produtividade, por promover a expansão foliar e acúmulo de massa de folhas e raízes (TIVELLI et al., 2011). Devido a sua alta exigência e instabilidade no solo, via de regra, as adubações nitrogenadas para as culturas não leguminosas se dão em altas doses (CQFS-RS/SC, 2004), sendo levemente atenuadas em solos com altos teores de matéria orgânica (MOS), o que pode contribuir com parte do N necessário pela cultura.

A importância da aplicação do enxofre em culturas agrícolas tem sido evidenciada pela redução de sua disponibilidade aos vegetais (deficiência de S em muitas regiões), verificada principalmente pelo uso de fertilizantes concentrados em NPK (Maximo et al., 2005) e em solos com baixos teores de MOS. Este elemento essencial para a produção de proteínas e clorofila, ainda é componente de alguns hormônios da planta, o qual melhora o crescimento das raízes e aumenta a produtividade (MENDONÇA; PEIXOTO, 1991). A omissão de enxofre a cultura da beterraba afeta negativamente o número de folhas, a matéria seca da raiz e a matéria seca da planta inteira (ALVES et al., 2008). Embora as plantas sejam aptas a absorver S via foliar, obtêm em maior proporção esse nutriente via sistema radicular.

Os micronutrientes zinco (Zn) e boro (B) são fundamentais para o crescimento e o desenvolvimento dos cultivos, agindo como constituintes das paredes celulares (B) e das membranas celulares (B, Zn) e como ativadores de enzimas (Zn) (KIRKBY; ROMHELD, 2007). O molibdênio (Mo) tem sido recomendado para a cultura em aplicações foliares, auxiliando supostamente no metabolismo do nitrogênio, na

ativação enzimática, principalmente das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato (DECHEN et al., 1991). Contudo, na literatura, estudos abrangendo Zn e Mo na nutrição da cultura da beterraba são insipientes.

Já para B, a cultura da beterraba possui elevadas exigências, pois este elemento aumenta a taxa de transporte de açúcares produzidos pela fotossíntese nas folhas maduras, contribuindo no crescimento da planta e consequentemente, no rendimento da cultura (ALLEN; PILBEAM, 2007). O suplemento ideal de boro reduz as lesões nas raízes, áreas escurecidas na superfície e manchas escuras no interior do tubérculo (HEMPHILL Jr. et al., 1982; MACK, 1989; TRANI et al. 1993).

Tem sido demonstrado que, entre os macronutrientes (o nitrogênio) e entre os micronutrientes (o boro), são os nutrientes que na ausência causam mais prejuízos para as plantas de beterraba (TRANI et al., 1993). As plantas que apresentam maior exigência em B são aquelas que contêm maior quantidade de B complexado na parede celular, como é o caso da beterraba, cenoura, rabanete e as brássicas, ricas em B na sua composição (BERGAMIN et al., 2005).

Tendo em vista o exposto, e diante da carência de pesquisas abordando a resposta da beterraba à aplicação de N, S, B e Mo, estudos se fazem necessários para estabelecer as curvas de resposta, acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura nos Cambissolos Háplicos, predominantes na região do Alto Vale do Itajaí. Desta forma o trabalho foi conduzido com os objetivos: a) em condições de campo, avaliar a resposta da beterraba a doses de N, na presença ou ausência de dose única dos nutrientes S, B, Zn e Mo; b) em casa-de-vegetação avaliar a resposta das plantas aos nutrientes S, B, Zn e Mo.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos, um a campo e o outro em casa-de-vegetação foram realizados no Instituto Federal Catarinense, Campus Rio do Sul, Rio do Sul (SC), (latitude 27°12'51" sul, longitude 49°38'35" oeste e altitude de 690 metros acima do nível do mar). A região, segundo a classificação climática de Köppen, possui clima Mesotérmico Úmido - Cfa (sem estação seca), com verões quentes, apresentando temperaturas médias de 19,2°C e precipitação média anual entre 1.300 e 1.400 mm. Quanto ao volume de precipitação e distribuição no período, ocorreram 196 mm de chuvas, bem distribuídas ao longo dos 60 dias em que a

cultura permaneceu a campo; volume este considerado normal para a época na região.

Nos dois experimentos utilizou-se a cultivar de beterraba Early Wonder precoce, com raízes globulares e coloração púrpura (interna e externamente), tradicionalmente cultivada na região do Alto Vale do Itajaí. As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido, sendo usado substrato comercial específico para hortaliças, composto à base de casca de pinus compostada, Trichoderma e vermiculita, livres de patógenos, nematóides, sementes de plantas daninhas e com alta capacidade de retenção de umidade. Foram adicionadas de 2 a 3 sementes por células e aos 8 dias após a semeadura, as plantas foram repicadas, permanecendo uma planta por célula. O sistema de irrigação automatizado por nebulização foi acionado três vezes ao dia, com 15 minutos de molhamento. As bandejas permaneceram sobre bancadas em casa-de-vegetação, até 30 dias após a semeadura, quando foram transplantadas para os experimentos.

No experimento de campo, o solo da área experimental é um Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2013), com os seguintes atributos: argila 270 g kg⁻¹; matéria orgânica 33 g kg⁻¹; pH em água 5,2; índice SMP 5,7; Ca, Mg e Al trocáveis (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹) 4,1, 2,3 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente; P disponível e K trocável (ambos extraídos por Mehlich-1) 12,6 e 66,0 mg dm⁻³, respectivamente; Teor de S de 6,79 mg dm⁻³, Zn de 13,72 mg dm⁻³ e de B de 0,11 mg dm⁻³. O solo possuía CTC_{pH7,0} de 12,1 cmol_c dm⁻³ e saturação por bases de 54,5%. Em dezembro de 2011, foram adicionadas 5,2 ton ha⁻¹ de calcário (PRNT = 92%) na superfície do solo, seguido de incorporação até a profundidade de 20 cm, para elevar o pH em água do solo até 6,0. Três meses depois da calagem, foram aplicados 380 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 180 kg ha⁻¹ de K₂O e incorporados ao solo até aproximadamente 20 cm.

Os canteiros com 1,0 m de largura e 6,4 m de comprimento foram preparados mecanicamente e subdivididos em parcelas onde os tratamentos foram aplicados na superfície do solo e incorporados usando um rastelo até, aproximadamente, 10 cm de profundidade. Os tratamentos foram doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) usando uréia como fonte, na presença ou ausência de adubação com S, Zn, B e Mo (doses de 50; 2; 1 e 0,01 kg ha⁻¹, respectivamente). O experimento foi instalado em esquema fatorial 5x2, usando o delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições. Em fevereiro de 2012, após a aplicação e incorporação ao solo do fósforo, potássio, enxofre, zinco, boro e 40% da dose de N, as mudas de beterraba foram transplantadas, utilizando-se

espaçamento de 0,25m entre linhas e 0,08m entre plantas. O restante da adubação nitrogenada foi aplicada em cobertura aos 20 e 40 dias após o transplante. As fontes de S, Zn, B e Mo utilizadas foram S puro (95%), ZnSO_4 (20% de Zn), H_3BO_3 (17,4% de B) e MoO_3 (57% de Mo), sendo que a fertilização com Mo foi realizada via foliar, com aplicações semanais. Em cada parcela experimental, cultivou-se até os 60 dias após o transplante, 16 plantas (4 linhas de 4 plantas), das quais coletou-se para avaliação apenas 4 plantas localizadas no centro de cada parcela, sendo as demais consideradas como bordadura. Na sequência, para o experimento de casa-de-vegetação, amostras de solo do terreno localizado ao lado do experimento de campo foram coletadas, na profundidade de 0 a 20 cm, seca ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, o solo foi dividido em porções de três quilogramas, acondicionado em sacos plásticos e armazenado em vasos de 3 litros. Foram testados seis tratamentos: testemunha, adição de S, adição de Zn, adição de B, adição de Mo e mais um tratamento completo com todos os nutrientes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. As doses foram 50 kg ha^{-1} de S, 2 kg ha^{-1} de B, 1 kg ha^{-1} de Zn e $0,01 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mo, utilizando-se como fonte de zinco $\text{Zn}(\text{Cl})_2$ (47,98% de Zn), fonte de boro H_3BO_3 (17,4% de B), fonte de enxofre S puro (95% de S) e fonte de molibdênio MoO_3 (57% de Mo). As fontes de Zn, B e S foram aplicadas na no solo, homogeneizado antes de irem para o vaso. Para o Mo, após o transplante das mudas, um grama MoO_3 foi diluído em um litro de água e aplicada semanalmente via foliar.

Em novembro de 2012 transplantou-se, em cada vaso, uma muda de beterraba, sendo cultivada até os 60 DAT (dias após o transplante). Ao longo do cultivo, a umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de campo, controlado através de pesagens diárias dos vasos e adicionado água, quando necessário.

Para os dois experimentos, aos 60 dias após o transplante (DAT) as plantas foram colhidas, determinando-se com o auxílio de um paquímetro o diâmetro de raiz. Após, as folhas foram separadas da raiz e determinada a massa fresca de folhas e raiz de cada planta. As folhas e as raízes de cada planta foram acondicionadas individualmente em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C , até atingir peso constante. Em seguida, determinou-se a massa seca de folhas e raízes, usando balança digital. Posteriormente, as folhas e raízes foram moídas, preparadas em uma porção submetida à digestão sulfúrica, sendo no extrato determinado o teor total de N pelo método de

Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Outra porção foi submetida à digestão nitroperclórica, e no extrato determinado S, pelo método de turbidimetria, e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica (TEDESCO et al., 1995). Uma última porção passou por digestão a seco em mufla a 600°C por 60 min, sendo no extrato, por colorimetria determinado o B (TEDESCO et al., 1995). Esta metodologia foi aplicada em todas as amostras nos dois experimentos.

Os resultados do experimento 1 foram submetidos à análise de variância, usando o pacote estatístico SAS, versão 9.1.3 (SAS INSTITUTE, 2006). Como foi detectado efeito significativo para as doses de N, testaram-se os modelos linear, quadrático e linear-platô, adotando-se o de maior significância e sentido agrônômico. Para isso, foi usado o pacote estatístico SAS, versão 9.1.3 (SAS INSTITUTE, 2006) e os procedimentos recomendados por ANDERSON; NELSON (1974).

Os resultados do experimento 2 foram submetidos à análise de variância e quando significativo, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASm (CANTIERI et al., 2001).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o fator dose de N (Tabela 4), houve efeito significativo ($P < 0,01$) para todas as variáveis biométricas avaliadas (massa fresca de folha - MFF, massa seca de folha - MSF, massa fresca de raízes - MFR, massa seca de raízes - MSR, massa total fresca - MTF e massa total seca - MTS). Os resultados positivos obtidos para a dose de N se devem ao papel funcional do N no metabolismo de desenvolvimento da beterraba. O N é encontrado em compostos orgânicos como aminoácidos e ácidos nucleicos e participa de diversos processos fisiológicos vitais para a vida das plantas, como a absorção iônica, fotossíntese, respiração celular, multiplicação e diferenciação celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MENGEL; KIRKBY, 2001).

Com a adição de N no solo, espera-se um aumento do teor de N mineral no solo (nitrato e amônio), que por sua vez chega às raízes basicamente por fluxo de massa, e é absorvido pelas plantas principalmente na forma de NO_3^- , podendo ser reduzido ou armazenado nos vacúolos, ou translocado para a parte aérea via xilema, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares. Uma vez assimilado, o NO_3^- é translocado via floema até os sítios de absorção, tendo papel

fundamental no metabolismo vegetal, sendo essencial para a estrutura e funções nas células, para as reações enzimáticas, e fazendo parte da molécula de clorofila (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Os resultados obtidos para as variáveis biométricas vem de encontro com os relatados por AQUINO et al. (2006). Estes autores comentam que a aplicação de doses de até 400 kg ha⁻¹ de N para a cultura da beterraba, em um Argissolo Vermelho Amarelo com 32 g dm⁻³ de M.O. promoveu incremento até certo ponto em todas as características avaliadas (MFR, MFF, MSR e MSF). Já Trani et al. (2005) e Purquerio et al. (2009), relatam aumento na produção de massa seca de parte aérea e raiz de beterraba, com a aplicação de diferentes doses de N, apresentando assim, resposta linear e crescente. Portanto, normalmente as maiores produtividades de raízes de beterraba são obtidas com as maiores doses aplicadas.

Quando a fonte de variação foi a presença ou ausência de adubação composta por S+Zn+B+Mo, houve efeito significativo ($P<0,01$), sendo que em todas as variáveis avaliadas, o uso desses nutrientes praticamente dobrou a produção, sendo observados aumentos de 1,70 vezes para MSF; 2,19 vezes para MST; 2,0 vezes para MTS; 2,0 vezes para MFF; 2,33 vezes para MFT e 2,17 vezes para MTF (Tabela 4). É possível que o teor dos nutrientes em questão, fosse insuficiente no solo para suprir a demanda das plantas de beterraba. Por isso, quando aplicados, resultaram em aumento da produção. Os micronutrientes são limitantes ao crescimento das culturas, sendo que o nível adequado destes na planta é essencial para a obtenção do uso eficiente de fertilizantes contendo N e P (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Não foi observada interação entre as doses de N e o uso de S+Zn+B+Mo (Tabela 4). Embora o uso destes nutrientes tenha aumentado a produtividade, ela foi semelhante em qualquer dose de N testada. Assim, o indicado é o uso da dose de N que proporcione o melhor retorno técnico ou econômico, associado aos nutrientes S+Zn+B+Mo.

Tabela 4 - Valores de F, nível de significância e coeficiente de variação para as para as diversas variáveis biométricas em função da fonte de variação. F.V.= fonte de variação; CV= coeficiente de variação; MSR = massa seca de raízes; MSF =massa seca de folhas; MFR = massa fresca de raízes; MFF= massa fresca de folhas; MTS = massa total seca; MTF= massa total fresca.

Fonte de Variação	MSF	MSR	MFF	MFR	MTS	MTF
	t ha ⁻¹					
F1 - 0 kg ha ⁻¹	2,19	2,84	14,00	18,22	5,03	32,22
F1 - 50 kg ha ⁻¹	3,36	5,34	26,08	31,97	8,70	58,06
F1 - 100 kg ha ⁻¹	4,20	6,95	36,30	44,57	11,16	80,85
F1 - 150 kg ha ⁻¹	4,48	7,33	34,79	44,78	11,81	79,57
F1 - 200 kg ha ⁻¹	4,11	6,23	33,33	38,54	10,34	71,87
Valor de F	8,07**	8,60**	4,77**	4,21**	12,76**	5,36**
F2 - Sem	2,92	3,97	2,11	23,58	6,89	44,70
F2 - Com	4,97	8,68	4,23	55,01	13,65	97,35
Valor de F	50,35**	83,10**	33,46**	47,70**	107,9**	49,9**
Interação F1 x F2	1,04 ^{ns}	0,66 ^{ns}	2,01 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,86 ^{ns}
CV (%)	19,3	22,7	31,1	32,9	17,3	29,1

F1=fator 1 – dose de N; F2=fator 2 – adubação com S, Zn, Mo e B; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para determinar a dose de N mais adequada para as condições experimentais, as Figuras 4 e 5 apresentam o modelo de equação linear-platô, que foram significativas ($P < 0,01$) para massa seca e fresca de folhas, raízes e total na planta. O modelo linear-platô é um modelo segmentado, caracterizado por dois segmentos, sendo o primeiro determinado por uma resposta crescente até um determinado ponto (intersecção entre as retas), e que a partir deste, a planta não responde ao aumento da dose de fertilizante, sendo assim, o modelo assume um valor constante, denominado platô (ANDERSON; NELSON, 1974). O ponto de intersecção entre a equação linear e o platô representa o nível ótimo de nutriente, ou nível crítico.

As plantas atingiram o platô com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, indicando que esta dose é a que proporciona maior retorno econômico

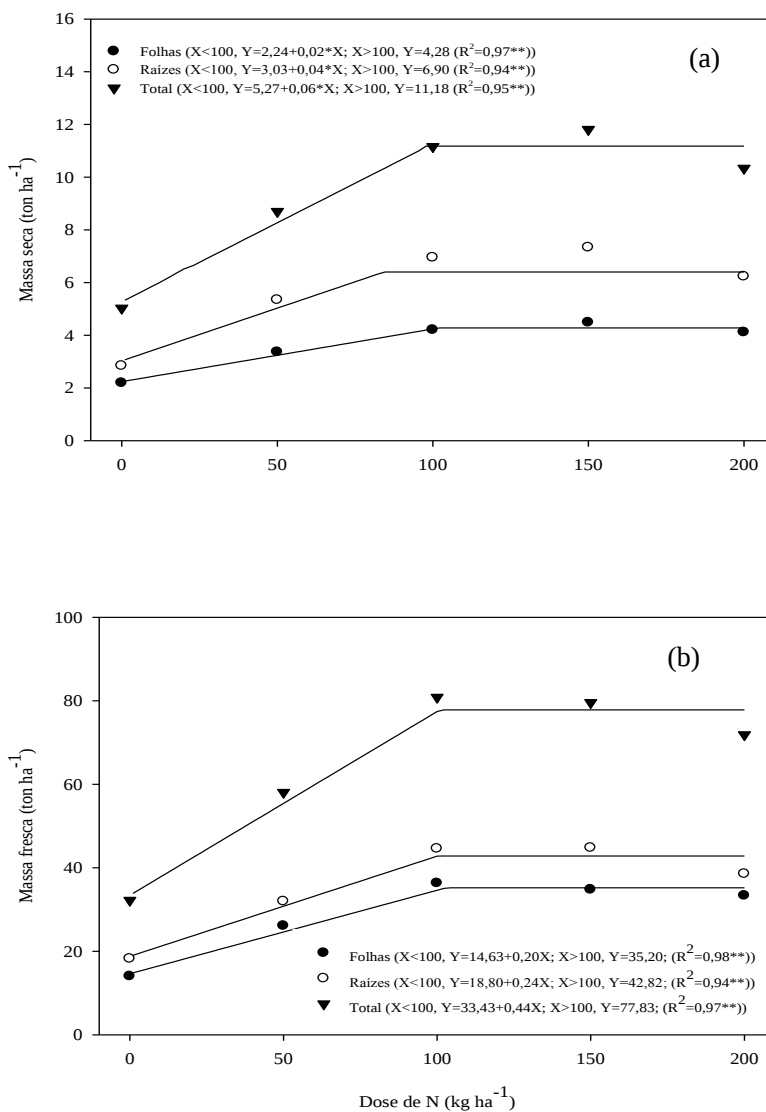
para o produtor, com produção de raízes de 42.820 kg ha⁻¹ (equivalente a produto beneficiado), para uma população de 500.000 plantas ha⁻¹; valor este superior ao descrito por FILGUEIRA (2008), que destaca que a produtividade da cultura esta entre 20 e 35 t ha⁻¹. A CQFS-RS/SC (2004) recomenda para um solo com teor de matéria orgânica de 33 g kg⁻¹ e população de 500.000 plantas ha⁻¹ a aplicação de 70 kg ha⁻¹ de N, valor inferior aos 100 kg ha⁻¹ de N recomendado no presente trabalho.

A resposta das culturas hortícolas à adubação nitrogenada é alta quando a dose é pequena, e à medida que ocorre o aumento da dose, ocorre aumento da produção por unidade de fertilizante adicionado, o que diminui à medida que se aproxima da dose crítica (ANDREU et al., 2006). Quando a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado excede a dose crítica, pode ocorrer a lixiviação de nitrato no solo (ARAUJO et al., 2007), potencializando a contaminação de águas superficiais.

Avaliando o potencial de otimização econômica e ambiental da fertilização em lavouras de beterraba açucareira em uma região europeia, CAALMAL-PAT et al. (2014) concluíram que na maioria das áreas pesquisadas, 51,14%, utilizam doses excessivas de N, sendo em 35% das propriedades aplicado um excedente entre 5 e 15% e, em 14,65%, entre 15 e 30% a mais de N. Já 24,75% das propriedades aplicam doses insuficientes e, somente 23,45% seguem a recomendação com base no conteúdo presente no solo e na extração pela cultura.

Os altos valores de R^2 (= ou > 0,94), como os verificados nas equações da Figuras 4a e 4b, são considerados critérios de lógica biológica (quando verifica-se que após uma certa dose do fertilizante não ocorre acréscimo na produtividade) e indicativo da escolha correta do modelo, o qual possibilita a identificação da dose ótima econômica de N para a cultura (SILVA et al., 2007).

Figura 4 - Massa seca (a) e fresca (b) de folhas, raízes e total em função da dose de N aplicado no cultivo de beterraba.



Os valores de F e o nível de significância para as fontes de variação, bem como o coeficiente de variação experimental para exportação de N em folhas, raízes e total nas plantas em função das diferentes doses de N aplicadas no solo (F1), apresentaram efeito significativo ($P < 0,01$) para todas as variáveis analisadas (Tabela 5). Para o fator interação entre F1 x F2, não houve efeito significativo, semelhante ao observado para a massa seca e verde de folhas e raízes.

Para uma população de 500.000 plantas ha^{-1} de beterraba, e colheita aos 60 dias após o transplante, a máxima exportação de nitrogênio (Figura 5) em folhas foi de 106,5 kg ha^{-1} (50,6%) e, de 104,1 kg ha^{-1} nas raízes (49,4%), de um total de 210,7 kg ha^{-1} de N exportado na planta para a dose de 100 kg ha^{-1} de N aplicado no solo, considerado como nível crítico. Valores estes, bastante próximos aos obtidos por GRANGEIRO et al., (2007), que foi de 186,10 kg ha^{-1} de N na planta, sendo que a parte aérea exportou 98,07 kg ha^{-1} (52,7%) e as raízes 88,03 kg ha^{-1} (47,3%), para a cultivar Early Wonder, aos 60 Dias Após a Semeadura (DAS).

A eficiência de exportação de N varia em função da produção de massa seca da parte aérea e raízes, e do teor de N nesses órgãos, e dependem de fatores gerenciais, ambientais e genotípicos envolvidos nos diversos processos que ocorrem na planta, como absorção e translocação de N, crescimento, desenvolvimento e partição de assimilados (ZEBARTH et al. 2006).

Quanto à distribuição percentual da quantidade de N acumulada nas raízes e parte aérea, em diferentes trabalhos, os resultados são contraditórios, pois em muitos casos a maior proporção de N está nas folhas, em outros, a maior proporção está nas raízes. Isto se deve a inversão quanto ao teor de N na parte aérea e raiz, e está relacionada com a época em que é feita a avaliação das plantas, pois na fase inicial (entre 40 e 50 DAS) as folhas são os drenos preferenciais e após este período, as raízes passam a demandar mais N, por ser este um nutriente móvel (GRANGEIRO et al., 2007). A quantidade de N exportada por área é dependente da população de plantas, do tipo de solo, da temperatura; da dose, época e modo de aplicação do fertilizante nitrogenado, bem como da fonte de N usada (TRANI et al., 1993).

Para o uso da adubação com S+Zn+B+Mo, também houve efeito significativo para exportação de N nas folhas, nas raízes e total na planta (Tabela 5). O uso de S+Zn+B+Mo aumentou 1,85 vezes exportação de N via folhas; 1,95 vezes o N em raízes e 1,90 vezes a exportação total de N pela planta. É possível que este aumento na

exportação de N tenha ocorrido em função do S, uma vez que este nutriente é necessário em quantidades razoáveis pelas plantas, para a síntese dos aminoácidos essenciais metionina e cisteína, e para produzir as proteínas estruturais e funcionais; atuando também junto ao grupo funcional de coenzimas, tornando mais eficiente a de síntese de proteínas (WILLENBRINK, 1967). Seadh et al. (2007) cita que a aplicação de enxofre aumentou significativamente o conteúdo de nitrogênio, devido ao seu efeito no aumento das atividades das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase no solo, consequentemente, aumentando a disponibilidade de nutrientes na rizosfera, juntamente com o aumento da atividade em nível celular, levando a aumento na absorção de N e sua concentração nos órgãos das plantas de beterraba.

Figura 5 - Nitrogênio exportado em folhas, raízes e total em plantas de beterraba em função de doses de N.

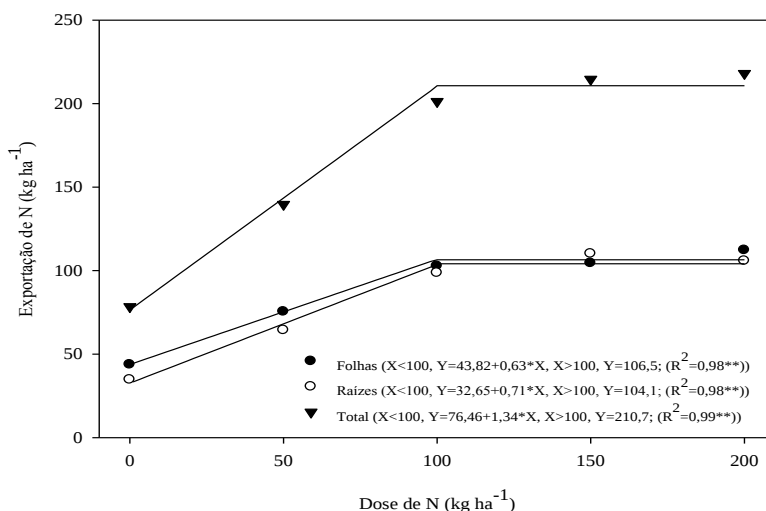


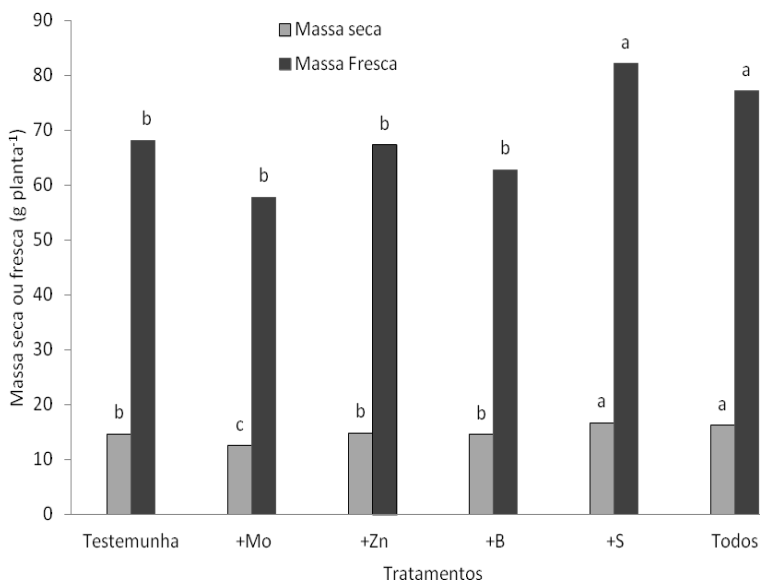
Tabela 5 – Coeficiente de variação e exportação de N (kg ha^{-1}) em folhas, raízes e total na planta em função das diferentes doses de N (Fator 1), dos níveis do mix (Fator 2), e da interação entre os fatores (F1 x F2). Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.

Fonte de Variação	Acúmulo N folhas	Acúmulo N raízes	Acúmulo N total
	kg ha^{-1}		
F1 - 0 kg ha^{-1}	43,7	34,7	78,4
F1 - 50 kg ha^{-1}	75,4	64,3	139,7
F1 - 100 kg ha^{-1}	102,7	98,6	201,3
F1 - 150 kg ha^{-1}	104,5	110,1	214,6
F1 - 200 kg ha^{-1}	112,2	105,8	218,1
Valor de F	7,79**	7,02**	8,87**
F2 - Sem	67,12	62,0	129,1
F2 - Com	124,4	120,6	245,0
Valor de F	38,89**	25,89**	38,21**
Interação F1 x F2	2,12 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,60 ^{ns}
CV (%)	25,2	32,7	26,13

F1=fator 1 – dose de N; F2=fator 2 – adubação com S, Zn, Mo e B; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para confirmar qual(is) dos nutrientes aplicados no experimento de campo foram responsáveis pelo aumento da produtividade, foi realizado o experimento de casa-de-vegetação, cujos resultados são apresentados na Figura 6. A beterraba cultivada no solo contendo o tratamento “Todos” (presença de S, B, Zn e Mo) e o tratamento + S (presença de enxofre) apresentou maior produção de massa seca e fresca de raízes. Já os tratamentos + Mo, + Zn e +B (presença de molibdênio, zinco e boro, respectivamente) não diferiram da testemunha, indicando que a adição destes nutrientes não aumentou a produtividade no solo testado. Para um solo com 33 g kg^{-1} de MOS, verifica-se que o S é o nutriente que proporcionou o aumento de produtividade no experimento de campo quando foi aplicado juntamente com o nitrogênio.

Figura 6 - Massa seca e fresca de raízes de beterraba para os tratamentos T= testemunha; Mo= molibdênio; B= boro; Zn= zinco; S= enxofre e Todos= completo com todos os demais nutrientes; conduzido em vaso em casa de vegetação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



2.6 CONCLUSÕES

As plantas de beterraba apresentaram a maior produção de massa fresca e seca de folhas e raízes com adição de 100 kg ha⁻¹ de N e uso de adubação complementar com enxofre, zinco, boro e molibdênio.

O experimento em casa-de-vegetação evidenciou que dentre os nutrientes da adubação complementar, o enxofre foi o responsável pela maior resposta pelas plantas, quando associado à adubação nitrogenada.

CAPÍTULO III

3 RESPOSTA DA CULTURA DA BETERRABA A DOSES DE ENXOFRE NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ - SC

3.1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar a produção de raízes, parte aérea, exportação de S e teor de S em tecido e no solo, foi conduzido no IFC – Campus Rio do Sul, em Rio do Sul – SC, um experimento testando diferentes doses de enxofre aplicado via solo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ de S), no delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições. Nos canteiros com 1,0 m de largura x 5,34 m de comprimento foram alocados as parcelas com 0,64m de comprimento e distância de 0,30m uma das outras. O solo é um Cambissolo Háplico, com argila 270 e MO 33 (g kg⁻¹); pH em água de 5,2; índice SMP 5,7; Ca, Mg e Al trocáveis de 4,2, 2,2 e 0,8 cmol_c dm⁻³; teores de P disponível; K trocável e S de 12,6; 30,0; e 6,79 mg dm⁻³, respectivamente; CTC_{pH7,0} 12,1 cmol_c dm⁻³ e saturação por bases de 54,5%. Foram adicionadas 5,2 ton ha⁻¹ de calcário para elevar o pH em água do solo até 6,0; e aplicados 380 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 180 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo estes incorporados ao solo. As avaliações foram realizadas aos 60 DAT, determinando-se para cada planta a massa fresca de folhas e raiz, e após secagem em estufa, a massa seca. Na sequência, as folhas e raízes foram moídas, sendo uma porção submetida à digestão nitro-perclórica, para posterior determinação do teor de S por turbidimetria. Para a análise de S no solo, as amostras foram coletadas até 20 cm de profundidade, secas em estufa, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm, para posterior determinação do S-SO₄⁻² disponível, utilizando-se como extrator Ca(H₂PO₅)₂. Este extrato foi submetido a digestão nitro-perclórica, determinando-se em um espectrofotocolorímetro (440nm), o teor de SO₄⁻² por turbidimetria. Após tabulação, todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste F a 5,0% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASm. Quando detectado efeito significativo para as doses de S foram testados os modelos linear, quadrático e linear-platô, adotando-se o de maior

significância e sentido agrônomo. Com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de S, foi obtido maior produção de massa fresca e seca de raízes. No entanto, com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de S foi observado maior massa fresca e seca de folha, e exportação de S em folha e raízes. Os teores de S observados no solo e no tecido das plantas foram superiores aos preconizados pela CQFS RS/SC.

Palavras-chave: *Beta vulgaris*. Nutrição mineral. Enxofre. Crescimento. Nível crítico.

3.2 ABSTRACT

In order to evaluate the production of roots, leaves, export of S and S content in tissue and soil, was conducted at IFC - Campus South River an experiment testing different doses of sulfur applied to the soil (0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha^{-1} S), in a randomized block design with four replications. The beds with 1,0 m wide x 5,34 m in length were placed in the portions with length of 0,64 m and 0,30 m distance from each other. Soil is a Cambisol with clay 270,0 and MO 33,0 (g kg^{-1}); pH in water 5,2; index SMP 5,7; Ca, Mg, Al, 4,2, 2,2 and $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; values of P available, K and S 12,6; 30,0; and $6,79 \text{ mg dm}^{-3}$, respectively; $\text{CTC}_{\text{pH}=7,0}$ $12,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ and base saturation of 54,5%. $5,2 \text{ ton ha}^{-1}$ of lime was added to raise the pH in soil water to 6,0; and applied 380 kg ha^{-1} P_2O_5 and 180 kg ha^{-1} of K_2O and incorporated into the soil. The evaluations were performed at 60 DAT, being determined for each plant fresh weight of leaves and roots, and then dried, dry mass. Following, the leaves and roots were ground, with a portion subjected to perchloric digestion nitro, for subsequent determination of the S content by turbidimetry. For the S analysis in soil, samples were collected up to 20 cm deep, oven dried, ground and sieved with 2 mm mesh for subsequent determination of the available S-SO_4^{-2} , using as Ca extractor $(\text{H}_2\text{PO}_5)_2$. This extract was subjected to perchloric digestion nitro, determining in a espectrofotocolorímetro (440nm), the SO_4^{-2} content by turbidimetry. After tabulation, all data were subjected to analysis of variance with application of Testing F to 5,0% probability of error, using the SSAm program. When detected significant effect for doses of S were tested the models linear, quadratic and linear-plateau, adopting the most significant and agronomic sense. For this, we used the statistical package SAS, version 9.1.3 (SAS Institute, 2006) and the procedures recommended by Anderson & Nelson (1974). At a dosage

60 kg ha⁻¹ S was where we had the highest production of fresh and dry mass of roots and the dosage 30 kg ha⁻¹ S was obtained the best results for fresh and dry leaf, and export N beet leaves and roots. S content in the soil and tissue were higher than those recommended by CQFS RS/SC.

Key-words: *Beta vulgaris*. Mineral nutrition. Sulfur. Growth. Critical level.

3.3 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é produzida em cerca de 100 mil propriedades rurais no Brasil. Por ano, ocupa uma área equivalente a 10 mil hectares, com a produção de 300 mil toneladas (MATOS et al., 2011). Em Santa Catarina, o volume médio comercializado desta hortaliça via CEASA/SC é de 3.600.000 kg ano⁻¹, gerando um equivalente a R\$ 4,00 milhões (CEASA/SC, 2007). A inserção da cultura vem merecendo destaque na região do Alto Vale do Itajaí, SC, principalmente após a colheita da cebola, por apresentar um pacote tecnológico de menor custo e um ciclo bastante curto (DUARTE et al., 2012).

Na região frequentemente é feita a adição excessiva de fertilizantes, principalmente contendo NPK, bem como o uso de corretivos de acidez sem critérios técnicos adequados, porém o S é o macronutriente menos empregado diretamente nas adubações (KURTZ; ERNANI, 2010). Segundo CQFS-RS/SC, (2004), dada sua importância na olericultura, este elemento deve ser monitorado, uma vez que formulações concentradas de NPK, geralmente com baixo teor de enxofre, poderão não suprir adequadamente esse nutriente nas hortaliças, sendo recomendado o uso de formulações que contenham enxofre, bem como o monitoramento pela análise de solo.

A dinâmica do ânion sulfato no solo depende, entre outros fatores, da matéria orgânica do solo e do equilíbrio entre o SO₄⁻² da solução e o adsorvido aos minerais da fração argila (DYNIA; CAMARGO, 1995). O S é transportado até o sistema radicular, principalmente por fluxo de massa, e vai da raiz para a parte aérea via xilema, juntamente com a corrente respiratória na forma de SO₄⁻² e aminoácidos; o inverso, ou seja, da parte aérea para o sistema radicular, é transportado via floema, também na forma de SO₄⁻² e aminoácidos (SILVA et al., 2002).

O S é o quarto macronutriente mais aplicado na nutrição das plantas e está relacionado à produção de massa verde, pois é constituinte de proteínas, aminoácidos essenciais, membranas celulares e outros compostos, além de possuir função no transporte de elétrons (MALAVOLTA et al., 1997; TAIZ; ZIEGER, 2006); sendo indiscutível a sua essencialidade as plantas (Thomas et al., 1950), principalmente em espécies de alta demanda neste nutriente como a cebola, o alho e a beterraba (KLIKOCKA, 2010).

Sob condições de deficiência de S, a eficiência dos fertilizantes NPK aplicados podem ser seriamente afetada e os níveis de produção da cultura podem não ser sustentáveis (AHMAD et al., 1994). Além de outros fatores, os climáticos podem interferir numa maior ou menor disponibilidade de S na solução do solo, sendo que os sintomas de deficiência se manifestam quando o tempo está frio, excessivamente úmido ou seco (SIMS, 2007).

Dentre os fatores que limitam a disponibilidade do S nas plantas, podem ser citados os solos com baixos teores de argila, baixos teores de óxidos e baixos teores de matéria orgânica. Aliado a isso, a realização da calagem e da adubação com fosfatos solúveis na camada superficial facilita a migração do SO_4^{-2} às camadas subsuperficiais, que por limitações físicas e químicas podem não ser acessadas pelo sistema radicular (RHENHEIMER et al., 2005).

Vários autores tem relatado a deficiência de S em diversas partes do mundo, dentre eles SCHERER, (2001), AULAKH, (2003) e JAGGI et al., (2005), os quais descrevem que a utilização de fertilizantes sulfatados tem aumentado a produção e a qualidade das raízes produzidas. Dentre os fertilizantes que contém S, o enxofre elementar S (S °) está se tornando cada vez mais popular, pois contribui reduzindo a lixiviação e as perdas por escoamento, deixando efeitos residuais prolongados, favorecendo assim os cultivos subsequentes. Porém, estudos com este elemento para olericultura são escassos no país.

No Manual de adubação e calagem da CQFS – RS/SC (2004) e no Manual de Olericultura (FILGUEIRA, 2008), duas referências em termos adubação de plantas para a região Sul, não trazem nenhuma recomendação quanto à dose de S para a cultura da beterraba, justificando assim, o presente estudo, na busca da melhor resposta da cultura a diferentes doses de S aplicadas via solo, com o intuito de estabelecer uma recomendação para os Cambissolos, principal classe de solos da região do Alto Vale do Itajaí.

Diante da carência de pesquisas sobre aspectos da nutrição sulfatada para beterraba no Brasil, o presente trabalho objetiva avaliar a resposta desta cultura a aplicação de diferentes doses de S, procurando assim estabelecer uma recomendação para este nutriente na principal classe de solos da região do Alto Vale do Itajaí.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em área experimental do Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, em Rio do Sul (SC), no período de 10/09/2013 a 09/11/2013. A região, segundo a classificação climática de Köppen, possui clima Mesotérmico Úmido - Cfa (sem estação seca), com verões quentes, apresentando temperatura média de 19,2°C e precipitação média anual entre 1.300 e 1.400mm. Quanto à precipitação neste período, ocorreram 347,7 mm de chuvas, volume este acima da média da região (120 mm mensais).

Utilizou-se a cultivar de beterraba Early Wonder, que possui ciclo precoce, raízes globulares e coloração púrpura (interna e externamente), tradicionalmente cultivada na região do Alto Vale do Itajaí. As mudas foram produzidas em casa de vegetação, utilizando-se bandejas de poliestireno expandido com 128 células, preenchidas com substrato “Tecnomax” composto a base de casca de pinus compostada, Trichoderma e vermiculita. Este substrato é específico para hortaliças, com alta capacidade de retenção de umidade (150% peso/peso), condutividade elétrica 0,7 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pH 6,0, densidade 500 g L^{-1} e umidade de 50 %. Foram adicionadas de 2 a 3 sementes por células. O desbaste foi realizado 8 dias após a semeadura, deixando-se somente uma planta por célula. O sistema de irrigação por nebulização era acionado duas vezes ao dia, com 15 minutos de molhamento. As bandejas permaneceram sobre as bancadas da casa de vegetação por um período de 30 dias após a semeadura.

O solo da área experimental foi um Cambissolo Háplico (Embrapa, 2013), com os seguintes atributos: argila 270 g kg^{-1} ; matéria orgânica 33 g kg^{-1} ; pH em água de 5,2; índice SMP 5,7; Ca, Mg e Al trocáveis (extraídos por KCl 1 mol L^{-1}) 4,2, 2,2 e 0,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente; P disponível e K trocável (extraídos por Mehlich-1) 12,6 e 30,0 mg dm^{-3} ; S 6,79 mg dm^{-3} ; CTC $_{\text{pH (7,0)}}$ 12,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e saturação por bases de 54,5%. Em 20 de julho de 2013, se aplicou 5,2 ton ha^{-1} calcário (PRNT 92 %) na superfície do solo, seguido de incorporação até a camada de 20 cm, para elevar o pH do solo até 6,0.

No dia 08/09/2013 foi aplicado 380 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 180 kg ha^{-1} de K_2O e incorporado ao solo (aproximadamente 20 cm de profundidade).

As doses de S testadas foram (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1}) de enxofre elementar, com 99% de S. Utilizou-se o delineamento em blocos, ao acaso, com quatro repetições. Os canteiros (com 1,0 m de largura x 5,34 m de comprimento) foram feitos mecanicamente e subdivididos em parcelas de 0,64m de comprimento cada, espaçadas 0,30 m uma das outras. As doses foram aplicadas na superfície de cada tratamento e incorporadas com auxílio de enxada, e o solo uniformizado com um rastelo.

O transplante das mudas foi efetuado em 10/09/2013, utilizando espaçamento de 0,25m entre linhas e de 0,15m entre plantas, equivalente a uma população total de $250.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Em cada parcela experimental cultivou-se 16 plantas (4 linhas de 4 plantas), das quais, coletou-se para avaliação 4 plantas localizadas no centro de cada parcela, sendo as demais, consideradas como bordadura.

As avaliações foram realizadas aos 60 dias após o transplante (DAT), determinando-se com o auxílio de um paquímetro o diâmetro de raiz. Após, as folhas foram separadas da raiz e determinado a massa fresca de folhas e de raiz de cada planta. As folhas e as raízes de cada planta foram acondicionadas individualmente em sacos de papel e submetidos a secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até atingir massa constante, determinando-se com uma balança de precisão a massa seca de folhas e raízes. Na sequência, as folhas e raízes foram trituradas em moinho de facas tipo Willey, sendo posteriormente, uma porção submetida à digestão nitroperclórica, obtendo-se o extrato para determinação S por turbidimetria (TEDESCO et al., 1995).

Para a análise de enxofre no solo, as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,0 – 0,20 m em todas as parcelas. Após secas em estufa, moídas e passadas em peneira com malha de 2mm, foi determinado S-SO_4^{-2} disponível pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_5)_2$ (TABATABAI; BREMNEM, 1970). Realizou-se a digestão nitroperclórica das amostras, e na sequência, a determinação do SO_4^{-2} por turbidimetria, utilizando-se um espectrofotocolorímetro no comprimento de onda de 440 nm.

Após tabulação, todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste F a 5,0% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASm, versão 9.1.3 (SAS Institute, 2006) e os procedimentos recomendados por Anderson & Nelson (1974). Quando detectado efeito significativo para as doses de S, foram testados os

modelos linear, quadrático e linear-platô, adotando-se o de maior significância e sentido agrônômico.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis biométricas, massa seca de raiz (MSR), massa seca de folha (MSF), massa total seca (MTS), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de folha (MFF) e massa total fresca (MTF), bem como para exportação de enxofre em tecidos e teor de enxofre no solo, houve efeito significativo ($P < 0,01$) para a aplicação de enxofre (Tabela 6). Esta resposta da beterraba à aplicação deste elemento está associada ao papel funcional do S na produção de proteínas e clorofila, sendo também componente de alguns hormônios da planta, melhorando o crescimento das raízes e aumentando a produtividade (MENDONÇA; PEIXOTO, 1991).

A aplicação de enxofre ao solo via adubo fosfatado, nitrogenado ou formulações permite a elevação dos teores de sulfato do solo. Com a aplicação destes fertilizantes Rheinheimer et al. (2005), em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, constataram a elevação dos teores de SO_4^{-2} (média para a camada 0-60cm), de 3,6 para 5,1 e 5,9 mg dm^{-3} com a aplicação de 15, 30 e 60 kg ha^{-1} , respectivamente, com ganho em produtividade de matéria seca pela parte aérea da cultura do nabo forrageiro e incrementos nos teores de enxofre no tecido da cultura.

O íon sulfato (SO_4^{-2}) é a principal forma de S absorvida pelas plantas (SALISBURY; ROSS, 1992). Depois de ser absorvido, o SO_4^{-2} é reduzido e incorporado em aminoácidos que são redistribuídos para as partes da planta em crescimento (HERSCHBACH; RENNENBERG, 1994). O SO_4^{-2} é translocado através do xilema para as folhas, onde é incorporado a esqueletos carbônicos. O transporte de SO_4^{-2} pode ocorrer tanto no xilema quanto no floema, sendo prontamente trocável entre essas vias (LARSSON et al., 1991).

Para o fator bloco não houve resposta significativa para as variáveis avaliadas, indicando que o solo do local era homogêneo.

Tabela 6 - Valores de F, coeficiente de variação e nível de significância para as diversas fontes de variação relacionadas às variáveis biométricas, exportação de S em tecidos e teor de enxofre no solo; em função das diversas doses de enxofre aplicadas. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.

Fator de variação	F calculado	CV (%)
MFF	5,41 ^{**}	18,66
MFR	5,41 ^{**}	20,61
MSF	5,41 ^{**}	10,68
MSR	5,41 ^{**}	15,15
MTF	5,41 ^{**}	16,78
MTS	5,41 ^{**}	11,65
Exp. de S na folhas	8,77 ^{**}	16,30
Exp. de S na raízes	7,75 ^{**}	19,31
Exp. total de S	10,43 ^{**}	15,77
Teor de S no solo	5,39 ^{**}	24,10

F.V.= fonte de variação; CV= coeficiente de variação; MSR = massa seca de raízes; MSF =massa seca de folhas; MFR = massa fresca de raízes; MFF= massa fresca de folhas; MTF= massa total fresca; MTS= massa total seca. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para estimar a dose de S mais adequada ao desenvolvimento das plantas nas condições experimentais, utilizou-se o modelo de equação linear-platô, sendo altamente significativo ($P < 0,01$) para MFR, MFF, MSR, MST; e significativo ($P < 0,05$) para MSF, exportação de S em folhas, raízes e exportação total na planta (Figuras 7, 8 e 9). Já para a variável, teor de enxofre no solo e % de enxofre no tecido, utilizou-se respectivamente, o modelo linear e linear-platô, sendo ambos significativos (Figura 10). Para todos os modelos apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10, o valor de R^2 foi igual ou superior a 0,77, demonstrando a resposta da beterraba à aplicação de S, bem como a adequada condução do experimento. Quanto à escolha do modelo mais indicado para cada variável, conforme Silva et al. (2007), são considerados critérios de lógica biológica, quando se verifica que após certa dose do fertilizante não ocorre acréscimo na produtividade, sendo este um indicativo da escolha correta do modelo, uma vez que possibilita a identificação da dose economicamente ótima do elemento para a cultura.

O modelo linear-platô é um modelo segmentado, caracterizado por dois segmentos, sendo o primeiro determinado por uma resposta crescente até um determinado ponto (intersecção entre as retas), e que a partir deste, a planta não responde ao aumento da dose de fertilizante, sendo assim, o modelo assume um valor constante, denominado platô (Anderson & Nelson, 1974). O ponto de intersecção entre a equação linear e o platô representa o nível ótimo de nutriente, ou nível crítico.

Para MFR (Figura 7) as plantas atingiram o platô com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de S, indicando que esta dose é a que proporciona maior retorno econômico para o produtor, resultando na produção de $33,97 \text{ t ha}^{-1}$ de raízes (equivalente a produto beneficiado), para uma população de $250.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. A produtividade obtida nas condições experimentais está dentro dos valores médios preconizados para cultura, uma vez que a produtividade da beterraba beneficiada (raiz) é extremamente variável, situando-se entre 20 e 35 ton ha^{-1} (FILGUEIRA, 2008; RESENDE; CORDEIRO, 2007). Já para MFF e MTF a produção máxima estimada foi de $21,55 \text{ ton ha}^{-1}$ e $48,61 \text{ ton ha}^{-1}$ respectivamente, porém para estas variáveis atingiu-se o platô com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de S (Figura 7).

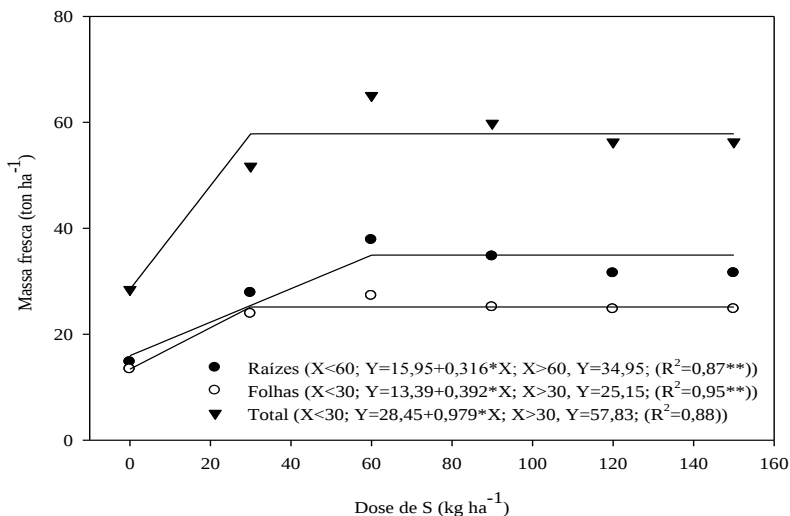
Na literatura, para MFR já existem relatos de valores superiores aos obtidos nesta pesquisa, podendo-se citar os publicados por TRANI et al., (2005) de 41 ton ha^{-1} ; OLIVEIRA et al., (2012), de $42,13 \text{ ton ha}^{-1}$ e por MARQUES et al., (2010) de 44 ton ha^{-1} . Já SEDIYAMA et al., (2011), ao avaliarem a cultivar Early Wonder, verificaram para uma população de $400.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ colhidas após 70 dias de cultivo, que a produtividade obtida se manteve entre 30 a 40 ton ha^{-1} , em todos os tratamentos, com a produção média de $34,22 \text{ ton ha}^{-1}$.

Uma das características das espécies olerícolas é a elevada exigência em nutrientes, o que faz com que produtores utilizem altas doses de fertilizantes concentrados, razão pela qual, as doses de S recomendadas para a cultura da beterraba geralmente sejam superiores às existentes nas recomendações típicas de S, que variam de 20 a 40 kg ha^{-1} , como sugerido por VITTI et al., (1988), podendo chegar a 50 kg ha^{-1} , dependendo da cultura, do manejo e do teor do elemento no solo.

Na literatura internacional existem poucas informações abordando a recomendação de S para a cultura da beterraba, sendo estas, em sua maioria para beterraba açucareira, com ampla variabilidade nas doses recomendadas, sendo na Alemanha 25 kg ha^{-1} ; Dinamarca, 15 kg ha^{-1} ; Irlanda, 36 kg ha^{-1} ; Finlândia, 13 kg ha^{-1} ; Chile, 80 kg ha^{-1} e EUA,

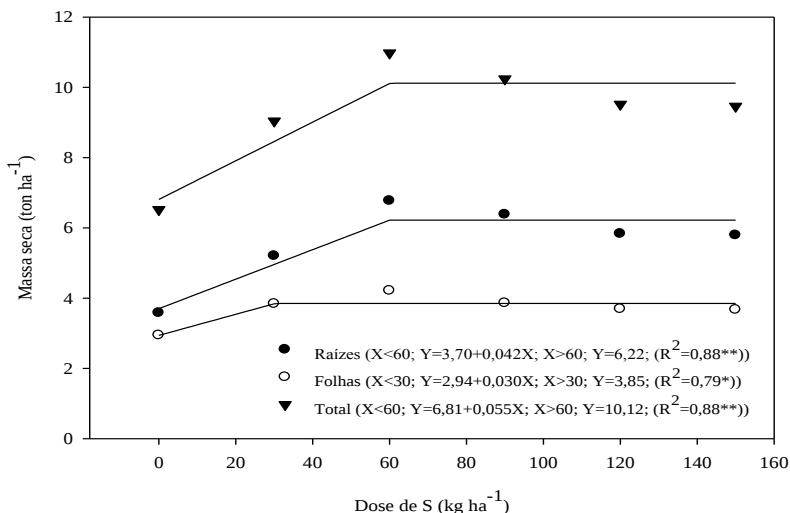
20 kg ha⁻¹ (DRAYCOTT, 1996). Para BARKER; PILBEAM (2007), as demandas de enxofre variam muito entre as espécies, assim como as doses aplicadas, as quais recomendam 25 kg ha⁻¹ de enxofre para a máxima produtividade em beterraba sacarina.

Figura 7 - Massa fresca de folhas, raízes e total da planta, em função das doses de S aplicadas no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.



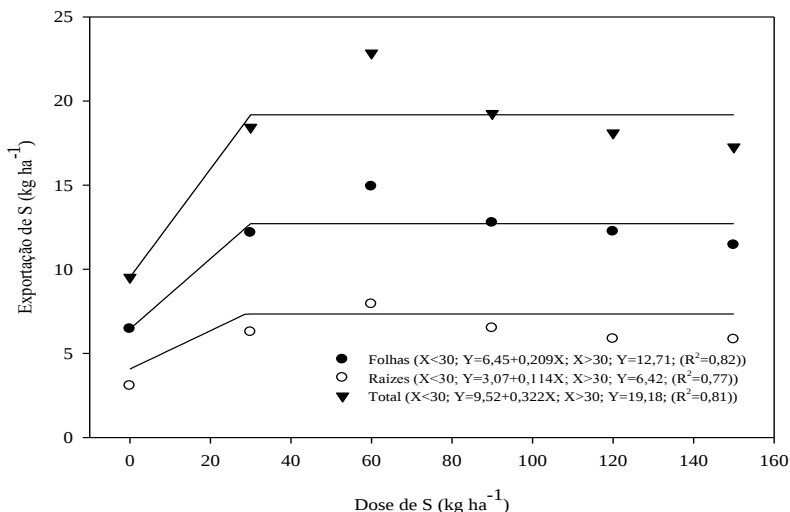
Quanto à produção de massa seca em relação às doses de S aplicada (Figura 8), para a variável MSF, observou-se resposta crescente até 30 kg ha⁻¹, quando se atinge a intersecção com a reta horizontal (nível ótimo de nutriente, ou nível crítico econômico). Já para as variáveis MTS e MSR, o platô foi atingido com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de S, obtendo-se produção de 10,17 ton ha⁻¹ e 6,22 ton ha⁻¹, respectivamente. Conforme os resultados obtidos neste estudo, observa-se que para os solos da região do Alto Vale do Itajaí (Cambissolo Háplico), com um teor de enxofre equivalente a 6,79 mg dm⁻³, como observado na análise de fertilidade do solo da área experimental, não recomendado aplicar doses superiores a 60 kg ha⁻¹ de S.

Figura 8 - Massa seca de folhas, raízes e total da planta, em função das doses de S aplicadas no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.



Para a exportação de enxofre, houve o mesmo comportamento obtido para as variáveis biométricas, com efeito linear-platô em função das doses de S aplicadas no solo (Figura 9), ocorrendo exportação máxima com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de S. Assim, considerando uma população de 250.000 plantas ha⁻¹ de beterraba, colhida aos 60 dias após o transplante, a exportação de enxofre será de 10,61 kg ha⁻¹ nas folhas, 5,74 kg ha⁻¹ nas raízes e de 16,96 kg ha⁻¹ total na planta. A exportação de S obtida neste estudo é superior aos valores publicados por MAGRO (2012) para a beterraba, que trabalhando com uma população de 320.000 plantas ha⁻¹ e colheita aos 60 dias de cultivo, obteve exportação de 7,09 kg ha⁻¹ de enxofre em folhas; 5,18 kg ha⁻¹ de enxofre em raízes e 12,78 kg ha⁻¹ de enxofre na planta com a aplicação de 53 ton ha⁻¹ de composto orgânico no solo. Silva (2014), trabalhando com uma população de 400.000 plantas ha⁻¹ e colheita aos 61 dias de cultivo, em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 2013), obteve uma exportação de 9,2 kg ha⁻¹ de enxofre em raízes e 10,26 kg ha⁻¹ de enxofre em folhas, com a aplicação de 6,0 ton ha⁻¹ de torta de mamona.

Figura 9 - Exportação de enxofre em folhas, raízes e total em função da dose de S aplicados no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.

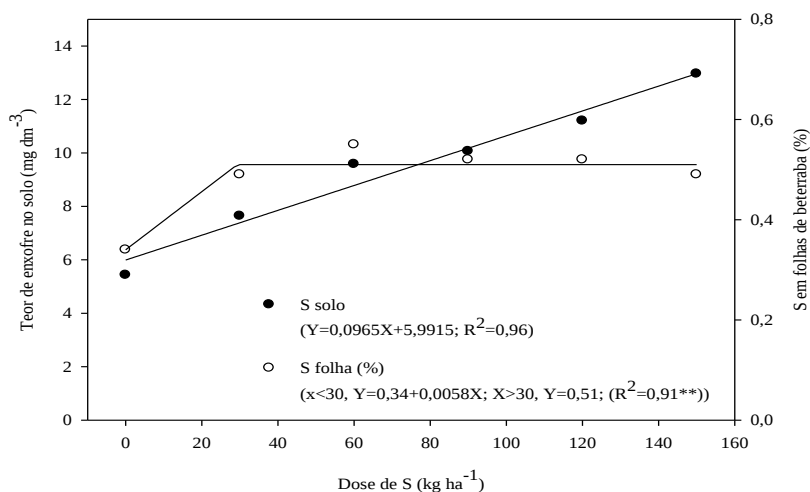


Quando se analisa o percentual de S na folha e o teor de enxofre no solo, em função da dose de enxofre aplicadas no solo (Figura 10), se observa dois comportamentos distintos, sendo que o teor de enxofre no solo tem um comportamento linear em função do aumento das doses de enxofre aplicado; e para o percentual de enxofre na folha, um comportamento linear-platô, com a planta tendo um acúmulo linear de enxofre nas folhas até a dose 30 kg ha^{-1} aplicados no solo, atingindo o platô após esta dosagem. Os teores de S encontrados no solo são considerados altos, mesmo para as parcelas testemunhas, as quais apresentaram teor de $5,43 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 10), Conforme CQFS - RS/SC (2004) são consideradas três faixas de disponibilidade de S: “baixo”, “médio” e “alto”, que correspondem respectivamente a teores de S extraível menor ou igual a 2 mg dm^{-3} , entre $2,1$ e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, e maior que 5 mg dm^{-3} . Contudo, para as Fabaceae, Brassicaceae e Liliaceae, é preconizado o teor de 10 mg dm^{-3} como limite entre as classes “médio” e “alto”.

Tomando como referência o valor preconizado pela CQFS - RS/SC (2004), teores de enxofre em folhas de beterraba devem estar entre $0,2$ e $0,4\%$ para serem considerados adequados. Com isso, pode-se

afirmar que os valores obtidos, exceto no tratamento testemunha, estão acima destes valores (Tabela 7). Por sua vez (AHMAD, 2005), destaca que o teor foliar de S nas culturas agrícolas varia de 0,1 a 1,5%, e esta variação tem a ver com a disponibilidade de S no solo ou na atmosfera (THOMAS et al., 1950). A quantidade de S nos tecidos vegetais também depende do tipo de cultura (JORDAN; ENSMINGER, 1958). Solos com elevada disponibilidade deste nutriente permitem que a planta absorva quantidades superiores às suas necessidades, caracterizando um consumo de luxo (ALVAREZ, 2004). Nestes casos, parte do S não metabolizado é armazenada na forma de SO_4^{-2} , geralmente no vacúolo celular.

Figura 10. Porcentagem de enxofre no tecido foliar e teor de enxofre no solo, em função das doses aplicadas no solo. Rio do Sul, SC, IFC – Campus Rio do Sul, 2014.



3.5 CONCLUSÕES

As plantas de beterraba cultivadas no solo com a adição de 60 kg ha⁻¹ de S apresentaram a maior produção de massa fresca e seca de raízes de beterraba.

Os teores de S adequados no solo foram aproximadamente de 10 mg dm⁻³, superior aos 5,0 mg dm⁻³ considerado alto pela CQFS RS/SC.

O teor de enxofre encontrado nas folhas de beterraba (0,49%) foi obtido com a dose 30 kg ha^{-1} de S.

4. CONCLUSÃO GERAL

Os resultados experimentais obtidos permitem concluir para o solo estudado que a cultura da beterraba é altamente dependente da adubação fosfatada, nitrogenada e sulfurada, sendo menos responsiva à adubação potássica e não responsiva à aplicação de boro, zinco e molibdênio. No solo estudado, os níveis críticos para P, N e S foram atingidos com 379 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 100 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de S. Embora não se tenha observado resposta à adubação potássica devido às reservas naturais do solo, a exportação do nutriente pelas plantas no primeiro cultivo foi elevada, ocorrendo resposta ao potássio no segundo cultivo. Isso indica que os programas de adubação devem levar em consideração, não somente a necessidade inicial de correção do nível dos nutrientes do solo, mas também prever a reposição dos nutrientes exportados pelos cultivos anteriores, evitando assim, o exaurimento do solo e assegurando a manutenção da produtividade das culturas. Pelo exposto, a recomendação de adubação para a cultura da beterraba no Cambissolo estudado da região do Alto Vale do Itajaí é 380 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; 180 kg ha^{-1} de K_2O e 60 kg ha^{-1} de S por ocasião do preparo do solo; e 100 kg ha^{-1} de N, sendo 40 kg ha^{-1} no transplante e duas doses de 30 kg ha^{-1} em cobertura, aos 20 e 40 dias.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A.; KHAN, I.; ANJUM, N.A.; ABROL, Y.P.; IQBAL, M. **Role of sulphate transporter systems in sulphur efficiency of mustard genotypes**. *Plant Science*, v.169, p. 842–846, 2005.

AHMAD, N.; SALEEM, M.T.; RASHID, M.; JALIL, A. **Sulfur Status and Crop Response in Pakistan Soils**. National Fertilizer Development Center. Planning and Dev. Div., Islamabad. n.7, p.1-5, 1994.

ALLEN, V.B.; PILBEAM, D.J.P. **Handbook of plant nutrition**. p. 241-278, 2007.

ALMEIDA, J.A.; KAMPF, N.; ALMEIDA, R. **Caracterização mineralógica originafos de rocha pelítica nos patamares do Alto Rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.2, p.181-190, 1997.

ALVAREZ, J.W.R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 84 p. (Dissertação de Mestrado). 2004.

ALVES, A.U.; PRADO, R.M.; GONDIM, A.R.O.; FONSECA, I.M.; CECÍLIO FILHO, A.B. **Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes**. *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 2, p. 292-295, 2008.

ANDERSON, R.L.; NELSON, L.A. **A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients**. *Biometrics*, v.31, n.2, p.303-318, 1974. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2529422>>. Acesso em: 23 jul. 2014. ISSN: 0006341X E-ISSN: 15410420.

ANDREU, J.; BETRÁN, J.; DELGADO, I.; ESPADA, J.L.; GIL, M.; GUTIÉRREZ, M.; IGUÁCEL, F.; ISLA, R.; MUÑOZ, F.; ORÚZ, F.; PÉREZ, M.; QUÍLEZ, D.; SIN, E.; YAGUE, M.R. 2006. **Fertilización nitrogenada: Guía de actualización**. Informaciones Técnicas. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura e Alimentación. Zaragoza. p. 119-127. 169 pag. 2006.

AQUINO, L.A.; PUIATTI, M.; PEREIRA, P.R.G.; PEREIRA, F.H.F.; LADEIRA, I.R.; CASTRO, M.R.S. **Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio**. Horticultura Brasileira. V. 24, p.199-203, 2006.

ARAUJO, C.; FONTES, P.C.R.; SEDIYAMA, C.S.; COELHO, M.B. **Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido**. Horticultura Brasileira. v.25, n.3, 2007.

AULAKH, M.S. **Crop responses to sulphur nutrition**. In: Sulphur in plants, Abrol Y.P., Ahmad A. (eds). Kluwer, Boston, p.341–358, 2003.

AVALHAES, C.C.; PRADO, R.M.; GONDIM, A.R.O.; ALVES, A.U.; CORREIA, M.A.R. **Rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação com fósforo**. Scientia Agrária, v. 10, p. 75-80, 2009.

BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of Plant Nutrition**. New York: CRC Press; London: Taylor & Francis (distribuidor), 613p. 2007.

BERGAMIN, L.G; CRUZ, M.C.P; FERREIRA, M.E.; BARBOSA, J.C. **Produção de repolho em função da aplicação de boro associada a adubo orgânico**. Horticultura Brasileira. v.23, n.2, p.311-315. 2005.

CAAMAL-PAT, Z.H.; CASAS-GARCIA, R.A.; URBANO-LÓPEZ-de-MENESES, B. **Optimización económica y ambiental de La fertilización em explotaciones de uma región europea**. Revista Chapingo serie horticultura, v.20, n.1, p.117-129, 2014.

CAMPO, J.; MAASS, M.J.; JARAMILLO, V.J.; YRÍZAR, A.M. **Calcium, potassium, and magnesium cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem**. Biogeochemistry, v. 49, p. 21-36. 2000.

CANTERI, M.G.; ALTHAUS, R.A.; VIRGENS FILHO, J.S. GIGLIOTI, E.A., GODOY, C.V. **SASM - Agri : Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan**. Revista Brasileira de Agrocomputação, v.1, n.2, p.18-24. 2001.

CATE, R.B. Jr.; NELSON, L.A. **Discontinuous models for rapid correlation, interpretation and utilization of soil analysis and fertilizer response data**. International soil fertility evaluation and improvement program. North Carolina, Technical Bulletin n. 7, 77p. 1973.

CEASA/SC. 2007. **Estatística dos produtos comercializados no CEASA/SC** – Boletim mensal/Junho de 2007. São Jose/SC. Disponível em:<http://cepa.epagri.sc.gov.br/Ceasa/BOLETIM%20CEASA%20JUNHO.pdf>

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 783p. 2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFRS/SC. 2004. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 394p. 2004.

CORRÊA, C.V.; CARDOSO, A.I.I.; SOUZA, L.G.; ANTUNES, W.L.P.; MAGOLBO, L.A. **Produção de beterraba em função do espaçamento**. Horticultura Brasileira, v. 32: p. 111-114, 2014.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; SOUZA, E.C.A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C.P. (Eds.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafós, p. 85-140, 1993.

DANKE, W.C.; OLSON, R.A. Soil test correlation, calibration and recommendation. In: WESTWERMANN, R.L. (Ed). **Soil Testing and Plant Analysis**. 3. ed. Madison: SSSA, p.45-73, 1990.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Diagnose visual. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Coord.) **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, p. 65-78, 1991.

DUARTE, T.S.; HILLESHEIM, P.C.; SCHEIDT, B.T. **Estudo comparativo de genótipos de beterraba cultivados na primavera / verão no Alto Vale do Itajaí, SC**. Horticultura Brasileira 30: S2957-S2963. 2012.

DRAYCOTT, A.P. **Aspects of Fertiliser Use in Modern, High-Yield Sugar Beet Culture**. IPI. International Potash Institute. Basel / Switzerland. IPI-Bulletin no. 15, 1996.

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O.A. **Absorção e movimento de sulfato em Latossolo de cerrado submetido a calagem e adubação fosfatada**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 19:249-253. 1995.

DYNIA, J.F.; BARBOSA FILHO, M.P. **Alterações de pH, Eh e disponibilidade de micronutrientes para arroz irrigado em um solo de várzea tratado com calcário e palha de arroz em casa de vegetação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17, p.67-74, 1993.

EMBRAPA. 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3º Ed. rev. Ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos. 2013. 353p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta. 2006. 403p.

EPAGRI. Estação Experimental da Epagri – Ituporanga/SC. **Banco de dados: Informação pessoal**. 2010.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A.; CASSOL, P.C. **Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 31, p.393-402, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAOSTAT). **Production: Livestock primary 2011**. 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>, acesso em: 26 maio 2012.

FERREIRA, M.D.; TIVELLI, S.W. **Cultura da beterraba: recomendações gerais**. Guaxupé: Cooxupé, 14p., 1989.

FILGUEIRA, F.A.R.; **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 edição. Viçosa: UFV, 421p. 2008.

GRANGEIRO, L.C.; **Produtividade da beterraba e rúcula em função da época de plantio em monocultivo e consórcio**. Horticultura Brasileira, v. 25, n. 4, p. 577-581, 2007.

GRANGEIRO, L.C.; NEGREIROS, M.Z.; SOUZA, B.S.; AZEVEDO, P.E.; OLIVEIRA, S.L.; MEDEIROS, M.A. **Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 31, n. 2, p. 267-273. 2007.

HAAG, H.P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral de hortaliças: LXIII**. Requerimento de nutrientes pela cultura da beterraba. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, v. 44, p. 401-407. 1987.

HEMPHILL Jr D.D; WEBER MS; JACKSON TL. 1982. **Table beet yield and boron deficiency as influenced by lime, nitrogen and boron**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.46, p.1190-1192. 1982.

HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, H. **Influence of glutathione (GSH) on net uptake of sulfate and its transport in tobacco plants**. Journal of Experimental Botany, Oxford, v. 45, p. 1069-1079, 1994.

ISMAEL J.J.; VALERI S.V.; CORRADINI L.; ALVARENGA S.F.; VALLE C.f. do; FERREIRA M.E.; BANZATTO D.A. **Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos**. Cientia Forestalis. n. 54, p. 29-40, dez. 1998.

JAGGI, R.C.; AULAKH, M.S.; SHARMA, R. **Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils**. Biol Fertil Soils, v. 41, p. 52-58. 2005.

JORDAN HV; ENSMINGER LE. **The role of sulphur in soil fertility.** Advance in Agronomy, Madison, v. 10, p. 407-434. 1958.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. **Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. V. 34, p. 783-791, 2010.

KHATOUNIAN CA. **A reconstrução ecológica da agricultura.** Botucatu: Agroecologica. 2001. 348 p.

KIRKBY, E.A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade.** Tradução: Suzana Oellers Ferreira. Encarte Técnico. n.118, 2007.

KLIKOCKA, H. **Znaczenie siarki w biosferze i nawożeniu roślin.** Przem. Chem. v. 89, p. 903–908, 2010.

KURTZ, C.; ERNANI, P.R. **Produtividade de cebola influenciada pela aplicação de micronutrientes.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:1, 133-142. 2010.

KURTZ C. **Rendimento de cebola influenciado pela adição de micronutrientes e de nitrogênio.** Lages/SC. 59 p. (Dissertação Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 2008.

LARSSON, C.M.; LARSSON, M.; PURVES, J.V.; CLARKSON, D.T. **Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulfur in wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth.** Physiologia Plantarum, Copenhagen, v. 82, p. 345-352, 1991.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fósforo. Piracicaba, 1995, 177p.
MACK, H.J. **Effects of row spacing, fertilizer sand harvest dates on table beets.** Journal of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v.104, p.717-720, 1989.

MAGRO, F.O. **Efeito do composto orgânico e adubação potássica em atributos do solo e da beterraba.** (Tese Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 109p., 2012.

MALAVOLTA, E. **Potássio no planta. Palestra proferida no Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira.** São Pedro, SP: Associação Brasileira Para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato – POTAFOS, 22 – 24 set. 2004.

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

MARINKOVIĆ, B.; CRNOBARAC, J.; JAĆIMOVIĆ, G.; RAJIĆ, M.; LATKOVIĆ, D.; AĆIN, V. **Sugar yield and technological quality of sugar beet at different levels of nitrogen fertilization.** Research Journal of Agricultural Science, v. 42. 2010.

MARQUES, L.F.; MEDEIROS, D.C.; COUTINHO, O.L.; MARQUES, L.F.; MEDEIROS, C.B.; VALE, L.S. **Produção e qualidade da beterraba em função da adubação com esterco bovino.** Revista Brasileira de Agroecologia, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 24-31. 2010.

MAXIMO, E.; BENDASSOLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O.; ROSSETTE, A.L.R.M.; OLIVEIRA, C.R.; PRESTES, C.V. **Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S .** Química Nova, v.28, n.2, 2005.

MATOS FAC; LOPES HRD; DIAS R de L; ALVES RT. **Agricultura familiar: Beterraba,** Brasília: Plano Mídia. 2011.

MENDONÇA, A.T.C.; PEIXOTO, N. **Efeitos do espaçamento e de níveis de adubação em cultivares de batata-doce.** Horticultura Brasileira, v.9, n.2, p.80-82. 1991.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** 5. Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 849p., 2001.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. Berne: International Potash Institute, 593 p., 1978.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MIELNICKZUK, J. **Padronización de análisis de suelos y conducción de experimentos de calibración visando recomendación de fertilizantes en Paraguay**. Informe de CAPECO y del Ministério de Agricultura y Ganaderia. Asunción-Paraguay, 2002.

MINAMI, K; CARDOSO, A.I.I; COSTA, F.; DUARTE, F.R. **Efeito do espaçamento sobre a produção em rabanete**. Bragantia 57: 169-173. 1998.

NEELWARNE, B.; HALAGUR, S.B. Red Beet: In overview. In Bhagyalakshmi Neelwarne (Ed). **Red Beet Biotechnology: Food and Pharmaceutical Applications**. London: Springer. P. 1-43, 2013.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV - Departamento de Solos, 1999. 399p.

OLIVEIRA, N.L.C.; PUIATTI, M.; BHERING, A.S.; CECON, P.R.; SILVA, G.C.C. **Uso de urina de vaca no cultivo da beterraba de mesa**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Viçosa, MG, v.2, n.2, p.7-13. 2012.

PURQUERIO, L.F.V.; FACTOR, T.L.; LIMA, J.R.S.; TIVELLI, S.W.; TRANI, P.E.; BRENDA, J.R.J.M.; ROCHA, M.A.V. **Produtividade e qualidade de beterraba cultivada em plantio direto em função do nitrogênio e molibdênio**. Horticultura Brasileira, v. 27, p. S366-S372, 2009.

RAIJ B VAN; CANTARELLA H; QUAGGIO IA; FURLANI AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 Ed. Campinas: IAC, (Boletim Técnico, 100). 285p., 1997.

RESENDE, G.M.; CORDEIRO, G.G. **Uso da água salina e condicionador de solo na produtividade de beterraba e cenoura no**

semi-árido do submédio São Francisco. Comunicado Técnico. n. 128, 2007.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E.C. **Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto.** Ciência Rural, vol.35, n.3, p.562-569, 2005.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology.** 4th ed. Belmond: Wadsworth. 682 p., 1992.

SAS Institute. **Base SAS 9.1.3 Procedures Guide SAS Ver. 9.1.3.** Cary, SAS Institute Inc., 398p., 2006.

SEADH, S.E.; FAROUK, S.; EL-ABADY, M.I. **Response of sugar beet to potassium sulfate under nitrogen fertilizers in newly reclaimed soils conditions.** African Crops Society conference, Minia, Egypt, v. 8, p. 147-153, 2007.

SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS, M.R.; VIDIGAL, S.M.; SALGADO, L.T. **Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 15 n. 9, 2011.

SEIFFERT, N.F. **Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em microbacias hidrográficas.** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 253, 1996.

SILVA, P.N.L. **Produção de beterraba em função de doses de bokashi e torta de mamona em cobertura.** (Dissertação de Mestrado em Agronomia/Horticultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas/ Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2014. 69 f.

SILVA, M.L.; BEZERRA NETO, F.; LINHARES, P.C.F.; SÁ, J. R.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A.P. **Produção de beterraba fertilizada com jitrana em diferentes doses e tempos de incorporação ao solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n.8, p. 801-809, 2011.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. **Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada.** *Horticultura Brasileira*. V. 25, p. 360-364, 2007.

SILVA, D.J.; VENEGAS, V.H.A.; RUIZ, H.A. **Transporte de enxofre para as raízes de soja em três solos de Minas Gerais.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 8, p. 1161-1167, 2002.

SIMS, A.L. **Sugarbeet production on sandy soils: The need for non-traditional nutrients.** Sugarbeet Res. Ext. Rept., Coop. Ext. Serv. North Dakota State University. v. 37, p. 99-100, 2007.

SCHERER, H.W. **Sulphur in crop production.** European Journal of Agronomy, v. 14, p. 81-111, 2001.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. **An alkaline oxidation method for determination of total sulphur in soils.** Soil Science Society of America Proceedings, v. 34, p. 62-65, 1970.

TAIZ L; ZEIGER E. **Fisiologia Vegetal.** Artimed, 3 ed. 722p. 2006.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TIVELLI, S.W.; FACTOR, T.L.; TERAMOTO, J.R.S.; FABRI, E.G.; MORAES, A.R.A.; TRANI, P.E.; MAY, A. **Beterraba: do plantio à comercialização.** Campinas: Instituto agrônomo, p. 45. (Boletim técnico 210). 2011.

THOMAS, M.D.; HENDRICKS, R.H.; HILL, G.R. **Sulfur metabolism in alfafa.** Soil Science, Baltimore, v. 70, p. 19-26. 1950.

TRANI, P.E.; CANTARELLA, H.; TIVELLI, S.W. **Produtividade de beterraba em função de doses de sulfato de amônio em cobertura.** *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 3, p. 726-730, 2005.

TRANI, P.E.; FORNASIER, J.B.; LISBÃO, R.S. Nutrição e adubação da beterraba. In: **Nutrição e adubação de hortaliças.** Campinas:

Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.429-446. 1993.

TURK, M. **Effects of fertilization on root yield and quality of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.)**. Bulgarian Journal of Agriculture Science, v. 16, p. 212-219, 2010.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; FERREIRA, M.E. Respostas de culturas anuais e perenes à aplicação de enxofre. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA/CNPSo/IAPAR/SBCS, p. 61-85. 1988.

ZEBARTH, B.J.; ARSENAULT, W.J.; SANDERSON, J.B. **Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars**. American Journal of Potato Research, v.83, p.289-296, 2006.

WILLENBRINK, J. **Über Beziehungen zwischen proteinumsatz und schwefelversorgung der orasten**. Pflanzenphysiol, v. 56, p. 427-438, 1967.