THAÍSA FERNANDA OLIVEIRA

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO REPOLHO INFLUENCIADAS PELA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A CULTURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba

T

O48p
2017

Oliveira, Thaísa Fernanda, 1989-
Produtividade e qualidade do repolho influenciadas pela adubação potássica e modelagem da recomendação de nutrientes para a cultura / Thaísa Fernanda Oliveira. – Rio Paranaíba, MG, 2017.
53 : il. ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Ângelo de Aquino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Brassica oleracea*. 2. Potássio. 3. Metabolismo e fisiologia. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal (Campus CRP). II. Título.

635.34

THAÍSA FERNANDA OLIVEIRA

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO REPOLHO INFLUENCIADAS PELA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A CULTURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 03 de abril de 2017.

Danilo de Araújo Soares

Willian Rodrigues Macedo

Leonardo Angelo de Aquino
(Orientador)

Aos meus pais, José Londe de Oliveira e Maria de Lourdes Beraldo Londe,
pelo amor, apoio e por sempre acreditarem em mim.
Vocês são o melhor presente na minha vida!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proteger e me abençoar em todos os momentos, em especial pela benção de concluir o mestrado.

Aos meus pais, José Londe de Oliveira e Maria de Lourdes Beraldo Londe, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Agradeço por acreditarem que um dia todo o esforço será recompensado.

Ao professor e orientador Leonardo Angelo de Aquino pela orientação, apoio e confiança. E principalmente por acreditar mais em mim do que eu mesma, isso foi fundamental para chegar até aqui. Levarei seu ensino e orientação por toda a vida.

Aos coorientadores Maria Eliza e Marcelo Reis, pela orientação e ajuda.

Aos membros da banca, Danilo Soares e Willian Rodrigues Macedo, pela participação na banca de defesa de dissertação e contribuições dadas que certamente auxiliaram no aprimoramento deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba, seu corpo técnico, docente, direção e administração por contribuir e proporcionar a realização deste trabalho. Em especial aos técnicos Bruno, Danilo e Paulo, pela ajuda e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo durante a realização deste curso.

Aos mestres, em especial aos professores Willian Rodrigues Macedo e Vinícius Faria, pela amizade, confiança, ajuda, aprendizado e incentivo. A palavra mestre nunca fará jus aos professores dedicados que terão sempre a minha admiração e os meus eternos agradecimentos.

Aos membros do grupo de pesquisa SINP (Felipe, Guilherme, Marcelo, Maria Elisa, Priscila, Roubles, entre outros), pela amizade e ajuda. Em especial à Iandra, Junia e Talita, pela amizade, incentivo e ajuda incondicionais.

A todos os amigos que fui presenteada durante o mestrado, em especial Ana Lourença, Dani, Isabela, Jéssica, Natália e Nayara, pelos bons momentos compartilhados.

A todos, que direta ou indiretamente fizeram parte desta conquista, o meu muito obrigada!

ÍNDICE

RESUMO v
ABSTRACT vii
INTRODUÇÃO GERAL 1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 2
CAPÍTULO I
PRODUTIVIDADE E ÍNDICES DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM REPOLHO 4
1. Resumo 4
2. Abstract 4
3. Introdução 5
4. Material e Métodos 6
5. Resultados e Discussão 9
6. Conclusões 16
7. Referências Bibliográficas 16
CAPÍTULO II
FISIOLOGIA E METABOLISMO DO REPOLHO CULTIVADO SOB DOSES E FONTES DE POTÁSSIO 20
1. Resumo 20
2. Abstract 20
3. Introdução 21
4. Material e Métodos 22
5. Resultados e Discussão 25
6. Conclusões 30
7. Referências Bibliográficas 30
CAPÍTULO III
MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO REPOLHO – FERTICALC REPOLHO 34
1. Resumo 34
2. Abstract 34
3. Introdução 35
4. Material e Métodos 36
5. Resultados e Discussão 46
6. Conclusões 49
7. Referências Bibliográficas 49
CONCLUSÕES GERAIS 53

RESUMO

OLIVEIRA, Thaísa Fernanda, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2017. **Produtividade e qualidade do repolho influenciadas pela adubação potássica e modelagem da recomendação de nutrientes para a cultura**. Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: Marcelo Rodrigues dos Reis e Maria Elisa de Sena Fernandes.

O repolho apresenta elevada demanda de nutrientes, dentre eles destaca-se o potássio (K) que é um dos macronutrientes mais extraídos pela cultura. Por apresentar elevada demanda de nutrientes, é uma cultura que requer a proposição de modelos de recomendação condizentes com o potencial produtivo atual. Diante disso, objetivou-se avaliar a produtividade e índices de eficiência de K na planta e no solo, a fisiologia e o metabolismo do repolho em função de doses e fontes desse nutriente, e propor um modelo de balanço nutricional para recomendação de nutrientes para a cultura. Foram conduzidos dois experimentos a campo em duas épocas do ano (verão e inverno) em áreas com diferentes disponibilidades de K no solo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) com a fonte Cloreto de Potássio (KCl), e um tratamento adicional com a fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4) na dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O. O repolho apresentou alta eficiência de uso e de recuperação de K do solo quando em condições de menor disponibilidade de K, com a possibilidade de alcançar altas produtividades com aplicação de baixas doses de K. Com o incremento das doses de K a cultura acumulou grandes quantidades do nutriente na parte aérea, porém sem incremento correspondente na produtividade. Esse acúmulo de K diminuiu o acúmulo de $N\text{-}NO_3^-$ nas duas épocas de cultivo. A exportação de K foi a maior parte do acumulado na parte aérea para as duas épocas de cultivo, o que evidencia ser o repolho uma planta esgotante do solo. O uso restritivo ou excessivo de K incrementaram as atividades de enzimas antioxidantes, principalmente no período de verão, e também aumentaram o acúmulo de sólidos solúveis totais para as duas épocas de cultivo. Foram mínimas as diferenças entre as fontes K_2SO_4 e KCl sobre a produtividade e índices de eficiência da adubação potássica no repolho. A fonte K_2SO_4 acarretou menor acúmulo de Na^+ e de $N\text{-}NO_3^-$ para os dois períodos de cultivo, o que reforça o uso dessa fonte na obtenção de um produto com maior qualidade nutritiva. Para a modelagem da recomendação de fertilizantes, o sistema considerou o subsistema requerimento, que inclui a demanda da cultura e a eficiência de recuperação do nutriente aplicado, e o subsistema fornecimento, que corresponde ao fornecimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos culturais. Para determinar os atributos necessários à

estimativa da demanda nutricional foram obtidos valores médios a partir de dados da literatura e de três experimentos, um com nitrogênio e dos dois experimentos com K citados anteriormente. A modelagem mostrou-se uma ferramenta útil para recomendação de adubação para a cultura do repolho.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Thaísa Fernanda, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2017. **Productivity and quality of cabbage influenced by potassic fertilization and modeling of nutrient recommendation for culture.** Adviser: Leonardo Angelo de Aquino. Co-advisers: Marcelo Rodrigues dos Reis and Maria Elisa de Sena Fernandes.

Cabbage crop presents high demand of nutrients, potassium (K) stands out and it is one of the macronutrients most extracted by the crop. Cabbage requires proposition of recommendation models that are consistent with current productive potential because the crop presents high nutrient demand. This study aimed to evaluate the productivity and efficiency indexes of K in the plant and soil, the physiology and metabolism of cabbage in response to doses and sources of K, and to propose a nutritional balance model for nutrient recommendation for the crop. Two experiments were conducted in the field at two crop seasons (summer and winter) in areas with different soil K availability. The experiment was designed as randomized blocks with four replications. The treatments consisted of five doses of K_2O (0, 100, 200, 400 and 800 kg ha^{-1}) applied as Potassium Chloride (KCl), and an additional treatment with Potassium Sulphate (K_2SO_4) at 200 kg ha^{-1} of K_2O. Cabbage showed high use efficiency and recovery efficiency of K from soil under low K availability. High yields may be achieved applying low K doses. The crop accumulated large K quantities in the shoot, but without increases on productivity with increasing K doses. This accumulation of K decreased nitrate accumulation in both crop seasons. Potassium export was most of the accumulated in the shoot in both crop seasons, which shows that cabbage is a high demanding crop. The restrictive or excessive use of K increased the activities of antioxidant enzymes, mainly in the summer period, and also increased the accumulation of total soluble solids for both crop seasons. The differences between K_2SO_4 and KCl sources on productivity and efficiency indices of K fertilization in cabbage were minimal. Potassium sulphate caused less accumulation of sodium and nitrate for both crop seasons, which reinforces the use of this source in order to obtain a product with higher nutritional quality. The system considered the subsystem requirement, which includes crop demand and nutrient recovery efficiency applied, and the subsystem supply, which corresponds to nutrient supply by soil and cultural waste for modeling the fertilizers recommendation. To determine the attributes needed to estimate nutritional demand, mean values were obtained from literature and from three experiments, one with nitrogen and the two K experiments cited above. The modeling showed to be a useful tool of fertilizers recommending for cabbage crop.

INTRODUÇÃO GERAL

As brássicas têm alta demanda de nutrientes em função do elevado crescimento em curto espaço de tempo, e um fornecimento adequado de nutrientes é essencial para obtenção de altas produtividades e manutenção da fertilidade do solo (Dezordi et al., 2016). Na família Brassicaceae o repolho é a principal espécie comercial e uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015). Isso se deve ao seu elevado valor nutricional (Correa et al., 2013) e à adaptação dos híbridos às diversas condições climáticas (Filgueira, 2012).

Dentre os macronutrientes, o potássio (K) é um dos mais extraídos pelo repolho (Cecílio Filho et al., 2016). O K favorece a formação e translocação de carboidratos e o uso eficiente da água pela planta; melhora a qualidade do produto e, consequentemente, o valor de mercado (Wang et al., 2013; Cecílio Filho et al., 2016). Porém, o atual manejo de adubação potássica no repolho não costuma fornecer esse nutriente em equilíbrio com a demanda da cultura (Correa et al., 2013). Esse desequilíbrio nutricional pode provocar mudanças na atividade do sistema enzimático e a produção de compostos relacionados a situações de estresse, como produção de espécies reativas de oxigênio (Abbasi et al., 2014; Bose et al., 2014; Marques et al., 2014).

Manter as plantas sob um estado nutricional de K de acordo com a demanda da cultura é essencial para minimizar os danos causados por situações de estresse e obter um produto que apresente uma qualidade desejável pelo consumidor final (Wang et al., 2013; Marques et al., 2014). Além disso, a crescente dependência das culturas por fertilizantes, o maior custo dos mesmos e as reservas finitas de K são fatores que exigem melhoria constante no manejo da fertilização potássica dos cultivos de hortaliças.

Altas produtividades carecem do ajuste criterioso das fertilizações, uma vez que a demanda nutricional apresenta correlação positiva com a produtividade da cultura. As doses corretas dos fertilizantes para isso carecem de modelos que considerem fatores importantes que influem na demanda nutricional, como a produtividade e a taxa de recuperação de nutrientes pela planta. Conhecer a demanda de nutrientes pela planta permite o alcance de altas produtividades e otimiza o uso dos fertilizantes (Cecílio Filho & Peixoto, 2013). Neste contexto, a utilização de modelos de balanço nutricional ganha destaque por ser uma forma estratégica eficiente de recomendar fertilizantes e corretivos (Dezordi et al., 2015; Deus et al., 2015).

Diante disso, os objetivos foram avaliar produtividade e índices de eficiência de K na planta e no solo, a fisiologia e metabolismo do repolho em função de doses e fontes desse nutriente, e propor um modelo de balanço nutricional para recomendação de nutrientes para a cultura do repolho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, G.H.; AKHTAR, J.; ANWAR-UL-HAQ, M.; ALI, S.; CHEN, Z.; MALIK, W. Exogenous potassium differentially mitigates salt stress in tolerant and sensitive maize hybrids. **Pakistan Journal of Botany**, v.46, p.135-146, 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS**.** Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 68 p., 2015.

BOSE, J.; RODRIGO-MORENO, A.; SHABALA, S. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.1241-1257, 2014.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; NOWAKI, R.H.D. Accumulation of macronutrients in cv. 'Astrus' cabbage as influenced by nitrogen dose and plant population. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.43, p.305-315. 2016.

CECÍLIO FILHO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v.26, p.64-70, 2013.

CORREA, C.V.; CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.D.T.R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2129-2138, 2013.

DEUS, J.A.L.; SOARES, I.; NEVES, J.C.L.; MEDEIROS, J.F.; MIRANDA, F.R. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.498-511, 2015.

DEZORDI, L.R.; AQUINO, L.A.; AQUINO, R.F.B.A.; CLEMENTE, J.M. ; ASSUNÇÃO, N.S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)**, v.40, p.140813, 2016.

FILGUEIRA, F.A.R. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Novo manual de olericultura. 3. ed. Viçosa-MG: UFV, 2012. 421 p.

MARQUES, D.J.; BROETTO, F.; FERREIRA, M.M.; LOBATO, A.K.S.; ÁVILA, F.W.; PEREIRA, F.J. Effect of potassium sources on the antioxidant activity of eggplant. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1836-1842, 2014.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. Review: The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.7370-7390, 2013.

CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE E ÍNDICES DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM REPOLHO

1. Resumo

O repolho apresenta taxa de crescimento elevada, o que demanda estudos com adubação potássica devido à alta extração e exportação de potássio (K) por essa cultura. Diante disso, objetivou avaliar a produtividade e índices de eficiência de K na planta e no solo em função de doses e fontes desse nutriente aplicado na cultura do repolho. Foram conduzidos dois experimentos a campo em duas épocas do ano (verão e inverno) em áreas com diferentes disponibilidades de K no solo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) com a fonte Cloreto de Potássio (KCl), e um tratamento adicional com a fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4) na dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O. O repolho apresentou alta eficiência de uso e de recuperação de K do solo quando em condições de menor disponibilidade de K, com a possibilidade de alcançar altas produtividades com aplicação de baixas doses de K. Com o incremento das doses de K a cultura acumulou grandes quantidades do nutriente na parte aérea, porém sem incremento correspondente na produtividade. A exportação de K foi a maior parte do acumulado na parte aérea, o que evidencia ser o repolho uma planta esgotante do solo. Foram mínimas as diferenças entre as fontes K_2SO_4 e KCl sobre a produtividade e índices de eficiência da adubação potássica no repolho.

Palavras chave: *Brassica oleracea*, potássio, eficiência de recuperação, eficiência agronômica.

2. Abstract

PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY RATES OF POTASSIUM FERTILIZATION IN CABBAGE

Cabbage presents high growth rate, which demands studies with potassium fertilization due to the high extraction and export of potassium (K). The objective of this study was to evaluate the productivity and efficiency indexes of K in the plant and soil in response to doses and sources of this nutrient applied to cabbage crop. Two experiments were conducted in the field at two crop seasons (summer and winter) in areas with different soil K

availability. The experiment was designed as randomized blocks with four replications. The treatments consisted of five doses of K_2O (0, 100, 200, 400 and 800 kg ha^{-1}) applied as Potassium Chloride (KCl), and an additional treatment with Potassium Sulphate (K_2SO_4) at 200 kg ha^{-1} of K_2O. Cabbage showed high use efficiency and recovery efficiency of K from soil under low K availability. High yields may be achieved by applying low K doses. The crop accumulated high quantities of K in the shoot, but without increases on productivity with increasing K doses. Potassium export was most of the accumulated in the shoot in both crop seasons, which shows that cabbage is a high demanding crop. The differences between K_2SO_4 and KCl sources on productivity and efficiency indices of potassium fertilization in cabbage were minimal.
Key words: *Brassica oleracea*, potassium, recovery efficiency, agronomic efficiency.

3. Introdução

O repolho é a principal espécie comercial da família Brassicaceae e uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015). A importância dessa olerícola no país se deve ao elevado valor nutricional e à adaptação dos híbridos às diversas condições climáticas brasileiras (Correa et al., 2013; Filgueira, 2012). O repolho apresenta alta demanda de nutrientes que deve ser levada em consideração para restituição da exportação de nutrientes e manutenção da fertilidade do solo (Cecílio Filho et al., 2013; Correa et al., 2013).

Conhecer a demanda de nutrientes pelo repolho é fundamental para otimizar o uso de fertilizantes (Cecílio Filho & Peixoto, 2013). Porém, o atual manejo da adubação não costuma fornecer nutrientes em equilíbrio com a demanda da cultura o que pode resultar em baixa eficiência das adubações (Cecílio Filho et al., 2015) e aumento significativo nos custos de produção.

Dentre os macronutrientes, o potássio (K) é um dos mais extraídos pelo repolho (Cecílio Filho et al., 2016). O K favorece a formação e translocação de carboidratos e o uso eficiente da água pela planta; melhora a qualidade do produto e, consequentemente, o valor de mercado (Wang et al., 2013; Cecílio Filho et al., 2016).

As plantas apresentam a capacidade de absorver quantidades de K superiores as suas necessidades para incremento em produtividade, o que é denominado de “consumo de luxo” (Correa et al., 2013; Cecílio Filho et al., 2016). Apesar dessa capacidade, uma adubação

excessiva com K pode levar ao aumento na concentração salina do solo, redução na absorção de outros cátions, principalmente cálcio e magnésio, promovendo redução na produtividade da cultura e perdas por lixiviação (Trani & Raij, 1997).

Quando presente na solução do solo, o K pode movimentar-se verticalmente, principalmente pela água de drenagem. Em função deste movimento, este elemento pode ser perdido por lixiviação, ou seja, transportado para profundidades além daquelas consideradas ocupadas pelas raízes (Souza et al., 2012). Esta movimentação depende, principalmente, do tipo de solo, textura, capacidade de troca catiônica (CTC), regime hídrico e da dose e solubilidade do fertilizante (Duarte et al., 2013; Sharma & Sharma, 2013; Fortin et al., 2015).

A crescente dependência das culturas por fertilizantes, o maior custo dos mesmos e as reservas finitas de K são fatores que exigem melhoria constante no manejo da fertilização potássica dos cultivos de hortaliças. Diante disso, objetivou avaliar a produtividade e índices de eficiência de K na planta e no solo em função de doses e fontes desse nutriente aplicado na cultura do repolho.

4. Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos a campo na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba (Latitude - 19° 11′ 39″ S, Longitude - 46° 14′ 37″ W). Os locais de cultivo estão a 1.073 m de altitude e clima predominante Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger, que é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março.

Os experimentos foram conduzidos em duas épocas do ano (verão e inverno) em áreas com diferentes disponibilidades de K no solo. As culturas anteriores às implantações dos experimentos, milho na área do experimento de verão e milheto na área do experimento de inverno, foram retiradas totalmente da área a fim de que a matéria seca de folhas e colmos não pudessem disponibilizar K nos cultivos sucessivos. Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013), cujos atributos químicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, nos períodos de cultivo no verão e no inverno. Rio Paranaíba-MG, 2015/2016.

Período	Camada	pH[1]	P-rem	P[2]	K^{+}[2]	S[3]	Ca^{2+}[4]	Mg^{2+}[4]	Al^{3+}[4]	H+Al[5]	M.O.	V	m
	cm	H_2O	(mg L^{-1})	---- (mg dm^{-3}) ----			------- ($cmol_c$ dm^{-3}) -------				dag dm^{-3}	-- (%) --	
verão	0 - 20	5,5	22,1	16,9	106,0	30,0	2,8	0,7	0,14	5,1	2,0	42,5	3,6
	20 - 40	5,3	17,8	8,5	76,0	35,0	2,8	0,6	0,27	4,9	1,8	42,3	7,0
inverno	0 - 20	5,7	22,4	12,8	65,0	24,0	4,4	1,0	0,00	3,6	3,1	60,7	0,0
	20 - 40	5,7	14,3	4,2	34,0	23,0	3,6	0,9	0,00	3,5	2,5	56,7	0,0

[1] Relação 1:2,5; [2] extrator Mehlich 1; [3]extrator fosfato monocálcico em ácido acético; [4]extrator KCl 1 mol L^{-1}; [5]extrator acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}/pH 7,0.

Os experimentos foram instalados em 11/12/15 e 13/05/16 e colhidos em 29/02/16 e 15/08/16, no período de verão e inverno, respectivamente. A cultivar de repolho utilizada foi a Astrus Plus, híbrido F1, que possui características como boa compacidade (firmeza da cabeça) e cabeças com tamanho médio a grande, formato levemente achatado e massa que varia de 1,4 a 2,2 kg. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 200 células, sob ambiente protegido, com o uso de substrato agrícola à base de fibra de coco e vermiculita.

Para ambos os experimentos os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) e a fonte foi o Cloreto de Potássio (KCl). Um tratamento adicional consistiu da fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4) na dose 200 kg ha^{-1} de K_2O. Estas doses englobam e ultrapassam as doses recomendadas de K_2O para a cultura por alguns autores: 100 a 150 kg ha^{-1} (Filgueira, 2012); 180 a 240 kg ha^{-1} e complementar com adubação em cobertura de 60 a 120 kg ha^{-1} (Trani & Raij, 1997); e 240 kg ha^{-1} (CFSEMG, 1989).

A dose de 200 kg ha^{-1} com a fonte K_2SO_4 foi testada com o objetivo de obter uma comparação entre as duas fontes de K. Com exceção do controle (dose 0 de K_2O), os demais tratamentos receberam 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante das mudas. Logo, o tratamento com a dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O foi realizado todo no transplante. O tratamento com dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O foi parcelado com 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante e 100 kg ha^{-1} de K_2O com 10 dias após o transplante (DAT).

O tratamento com dose de 400 kg ha^{-1} de K_2O foi parcelado com 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante das mudas, 100 kg ha^{-1} de K_2O com 10 DAT, 100 kg ha^{-1} de K_2O com 20 DAT e 100 kg ha^{-1} de K_2O com 30 DAT. O tratamento de dose 800 kg ha^{-1} de K_2O recebeu 100 kg

ha^{-1} de K_2O no transplante, 100 kg ha^{-1} de K_2O aos 10 DAT, 250 kg ha^{-1} de K_2O aos 20 DAT e 350 kg ha^{-1} de K_2O aos 30 DAT.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas tiveram quatro fileiras de 6 m de comprimento e consideradas úteis as duas fileiras centrais, excluindo-se 60 cm das extremidades. Foi adotado o espaçamento de 38 cm entre fileiras e 38 cm entre plantas para ambos os experimentos.

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens. Com exceção do K, a correção da acidez do solo e as adubações com os demais nutrientes foram realizadas com base na análise química do solo e recomendações para a cultura. Os tratos culturais, controle de pragas e irrigação por aspersão convencional foram realizados de acordo com as necessidades da cultura. As mudas foram transplantadas com 35 dias após a semeadura.

A colheita foi realizada quando a compacidade das cabeças alcançou a aceitação comercial. Em cada parcela foram colhidas dez plantas uniformes da área útil e separadas em cabeças (parte comercial) e folhas externas (restos vegetais), que originaram os dados de produtividade (Mg ha^{-1}) e massa fresca média de cabeças e folhas externas.

Após pesagem as cabeças e folhas externas foram lavadas, trituradas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingir massa constante para determinação da matéria seca (MS). O teor de K (g kg^{-1}) foi avaliado seguindo métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

Os acúmulos de K (kg ha^{-1}) em cada parte da planta (cabeça e folhas externas) foram calculados pelo produto entre MS e o teor de K no respectivo órgão da planta. O total acumulado nas cabeças e folhas externas representa o acúmulo do nutriente na parte aérea (kg ha^{-1}), e o total acumulado apenas nas cabeças representa a exportação do nutriente (kg ha^{-1}) pela cultura.

O K disponível no solo (mg dm^{-3}) após a colheita foi determinado nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm com o intuito de analisar a contribuição do solo, nas duas profundidades, no K absorvido pelas plantas. Em cada parcela foram coletadas 10 amostras simples de solo e o teor de K foi determinado utilizando o extrator Mehlich-1 (Tedesco et al., 1995).

A eficiência agronômica (EA) foi calculada pela razão entre o ganho de produtividade e a dose de K_2O aplicada, calculada pela seguinte equação (Fageria, 1998):

$$EA = P_{CAd} – P_{SAd} / Q_{Ap}$$

Em que:

EA = Eficiência Agronômica (kg kg^{-1});

P_{CAd} = Produtividade na parcela com adubação (kg ha^{-1});

P_{SAd} = Produtividade na parcela não adubada (kg ha^{-1});

Q_{Ap} = Quantidade de nutriente aplicada no solo (kg ha^{-1}).

A eficiência de recuperação (ER) mede a porcentagem de K recuperado pela planta a partir do K aplicado via fertilizante, e foi calculada com a seguinte equação (Fageria, 1998):

$$ER = (Q_{Ad} - Q_{NAd})/Q_{Ap} \times 100$$

Em que:

ER = Eficiência de recuperação pela planta do K aplicado via fertilizante (%);

Q_{Ad} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela adubada (kg ha^{-1});

Q_{NAd} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela não adubada (kg ha^{-1});

Q_{Ap} = Quantidade do nutriente aplicada no solo (kg ha^{-1}).

Definiram-se as melhores doses como aquelas que permitiram o alcance de 95% da máxima produtividade estimada pelos modelos ajustados. Considerou 5% como perdas de campo ocasionadas por falhas no transplante das mudas, plantas suprimidas, rastro do rodado de máquinas e implementos, dentre outras. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F para doses, $p<0,05$), foram realizadas análises de regressão e ajustadas equações, de acordo com os coeficientes de determinação. Com relação às fontes, estas foram comparadas pelo teste t ($p<0,05$).

5. Resultados e Discussão

As doses de K tiveram efeito significativo sobre a produtividade de repolho, com ajuste não linear para as regressões (Figura 1). Apesar dos solos cultivados apresentarem disponibilidade de K classificada como média (Tabela 01), entre 1,6 e 3,0 $mmol_c$ dm^{-3} (Trani & Raij, 1997), as plantas responderam à adubação potássica. A dose para obtenção de 95% da máxima produtividade estimada no verão foi de 182 kg ha^{-1} de K_2O e no inverno de 168 kg ha^{-1} de K_2O, com produtividades de 135,59 e 125,64 Mg ha^{-1}, respectivamente. Essas produtividades ultrapassam as encontradas por Moreira et al. (2011) de 56,5 Mg ha^{-1}, por Correa et al. (2013) de 44,5 e 30,0 Mg ha^{-1} e por Cecílio Filho et al. (2011) que obtiveram produtividade de 72,7 Mg ha^{-1}. Essa diferença nas produtividades pode ser explicada pelo uso de diferentes cultivares e população de plantas.

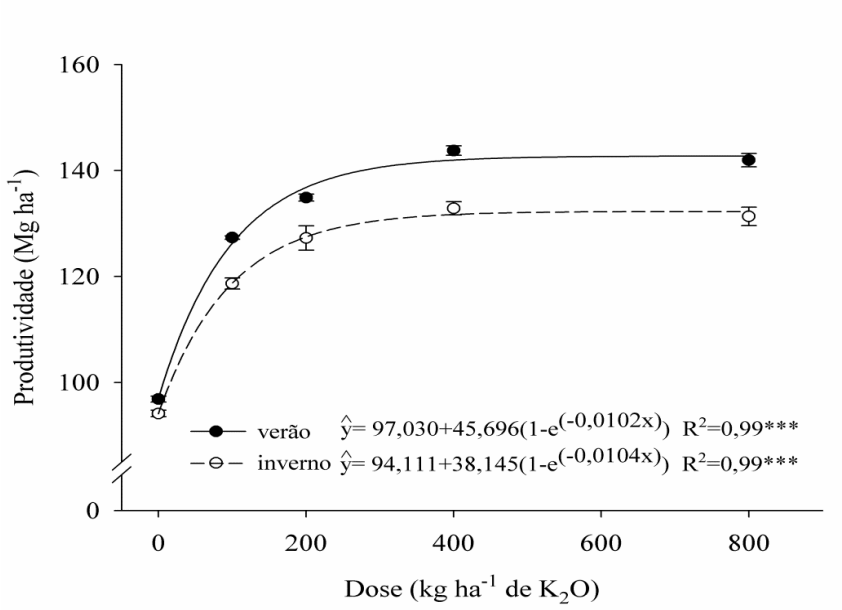

Figura 01. Produtividade de repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a doses de potássio nos períodos de verão e inverno. *** significativo a 0,1% pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

Mesmo sendo uma planta originalmente adaptada a climas temperados (Filgueira, 2012), as novas cultivares tem demonstrado boa adaptação a climas tropicais, o que é reforçado pelo período de verão ter apresentado maiores produtividades que o período de inverno (Figura 1). O período de verão fornece dias mais longos com maior disponibilidade de radiação solar e água às plantas, que são fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais, principalmente por impulsionar o processo de abertura e fechamento estomático e, com isso, uma maior produção, translocação e acúmulo de fotoassimilados (Xue et al., 2016; Guoying et al., 2017).

Os teores foliares de K nas doses para obter 95% da máxima produtividade estimada foram de 35,29 e de 29,80 g kg^{-1} de MS nas cabeças, e de 24,32 e 20,92 g kg^{-1} de MS nas folhas externas, para as plantas dos cultivos de verão e inverno, respectivamente (Figura 2A). Os mesmos estão dentro da faixa de teores considerada adequada (25 a 50 g kg^{-1} de MS) por Trani & Raij (1997). Quando o K se encontra em alta disponibilidade no solo é verificada absorção deste nutriente além da demanda da cultura, atribuindo ao repolho um “consumo de luxo” de K (Correa et al., 2013; Cecílio filho et al., 2016).

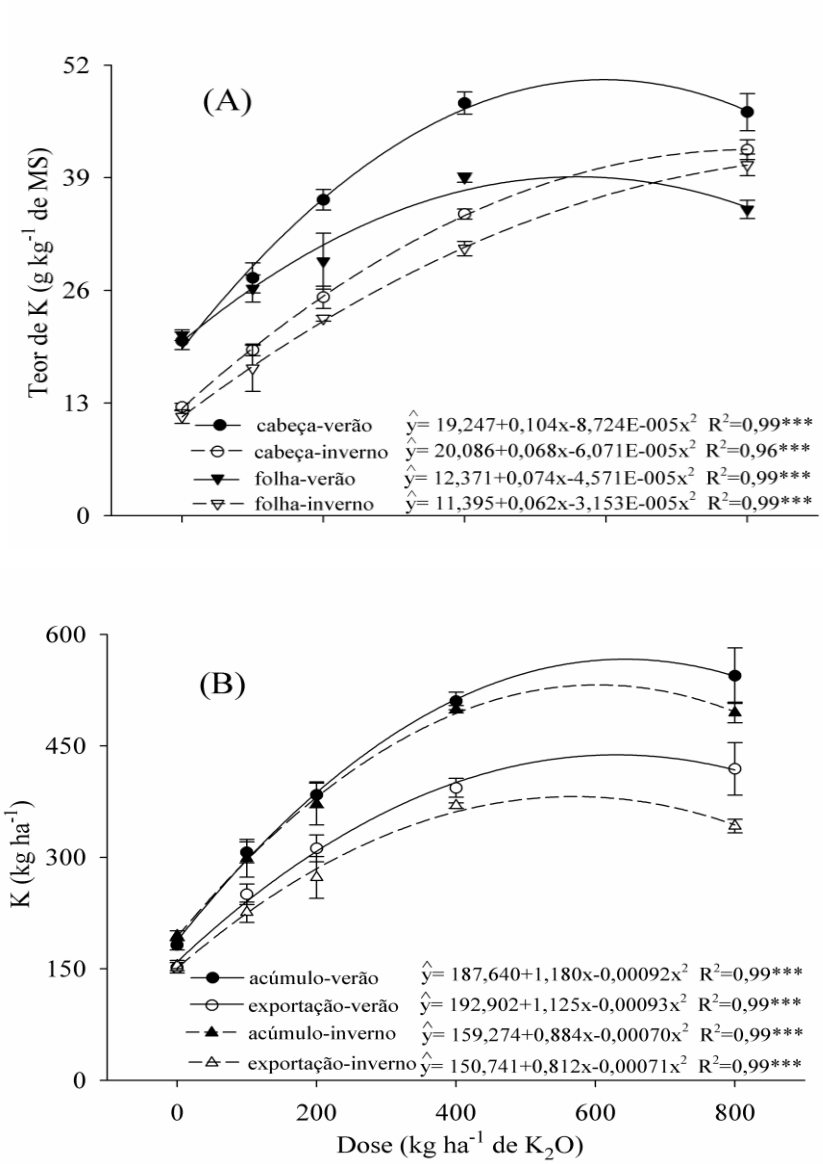

Figura 02- Teor de K no repolho, cultivar Astrus Plus, nas cabeças e folhas externas (A) e acúmulo de K na parte aérea (cabeças e folhas externas) e exportação de K (B), submetido a doses de potássio nos períodos de verão e inverno. *** significativo a 0,1 % pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

O acúmulo na parte aérea e a exportação de K não apresentaram grande divergência com relação aos períodos de cultivo de verão e inverno na dose para alcance de 95% da máxima produtividade estimada (Figura 2B). No verão o acúmulo na parte aérea foi de 374,93 kg ha^{-1}, enquanto que no inverno foi de 355,66 kg ha^{-1}. Com o incremento de doses a cultura acumulou grandes quantidades do nutriente na parte aérea, porém sem incremento correspondente na produtividade (Figura 1).

Correa et al. (2013) não obtiveram incrementos na produtividade com o aumento de doses de K, e relatam uma maior concentração de K no repolho quanto maior foi a dose de KCl aplicada. Maior acumulação de K pode ser considerada "estratégia de segurança" para habilitar a planta para melhor sobreviver em condição de estresse ambiental súbito (Kafkafi, 1990), como por exemplo, déficit hídrico no solo. Assim, nessa condição a planta pode manter alto conteúdo de K^+ no citoplasma, principalmente para assegurar a atividade enzimática e o potencial osmótico (Marques et al., 2014; Pottosin & Dobrovinskaya, 2014).

A exportação de K foi a maior parte do acumulado na parte aérea (Figura 2B) para as duas épocas de cultivo, sendo de 80% no verão e de 75% no inverno, o que evidencia ser o repolho uma planta esgotante do solo em K e a importância da reposição de K durante os cultivos para que não ocorra empobrecimento do solo com as colheitas.

O acúmulo de K na parte aérea do repolho nos dois períodos de cultivo (Figura 2 B) foi próximo da disponibilidade total de K no solo considerando as diferenças nos teores disponíveis nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm antes do cultivo (Tabela 1) e após o cultivo (Figura 3).

Como neste trabalho foram avaliadas folhas externas e cabeças, não é possível quantificar o K que seria acumulado em toda a planta considerando também caule e raiz. Mas em trabalho de Moreira et al. (2011), para a dose de maior produtividade (277,8 kg ha^{-1} de K_2O), foi verificado que raiz e caule contribuem com 14,7 e 7,1 %, respectivamente, na partição de MS da planta. Portanto, nesses 22% de MS há a possibilidade de que o acúmulo de K pela planta seja igual ou até ultrapasse o total disponível no solo na camada de 0-40 cm de solo.

A disponibilidade de K às plantas depende dos teores das formas de K nos solos (K não trocável, K trocável e K solúvel), os quais variam com o grau de desenvolvimento pedogenético dos solos (Chaves et al., 2015). Pesquisas em solos brasileiros têm demonstrado que as quantidades de K extraídas pelas plantas foram maiores que as estimadas a partir da disponibilidade de K no solo pelos extratores de rotina, o que sugere boa nutrição em K às plantas a partir de formas não trocáveis de K no curto, médio e longo prazo (Chaves et al., 2015; Manning et al 2017).

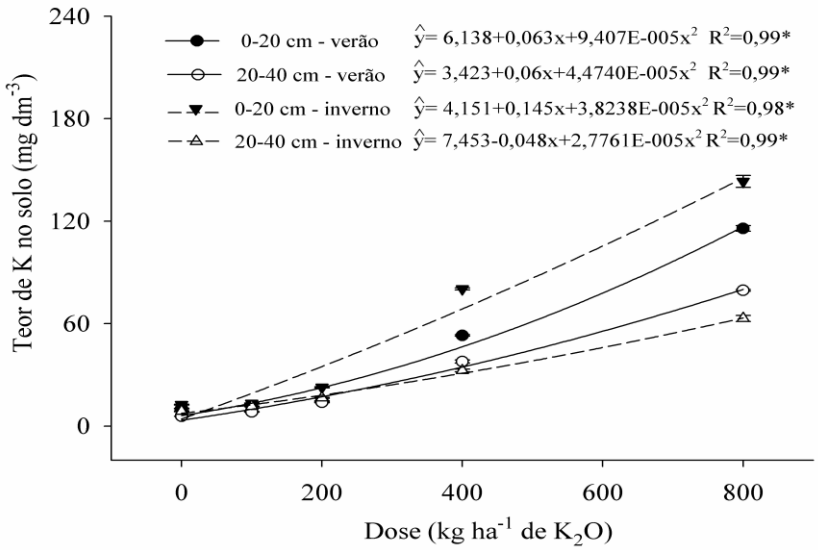

Figura 03. Teor de K no solo após cultivo de repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a doses de potássio nos períodos de verão e inverno. * significativo a 5 %, respectivamente, pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

Além das plantas conseguirem acessar formas de K que os extratores mais usuais não quantificam (Wang et al., 2011; Chaves et al., 2015), há uma possível contribuição de K do solo das camadas mais profundas (Souza et al., 2012), neste caso camadas além dos 40 cm analisados. Devido ao K apresentar maior suscetibilidade à lixiviação (Liao et al., 2013; Sharma & Sharma, 2013; Fortin et al., 2015), é importante que, para solos mais profundos como os Latossolos, e em regiões de agricultura intensiva com aplicação de altas doses de fertilizantes, as camadas mais profundas sejam consideradas como reservas de nutrientes às plantas.

A ER reflete a porcentagem do nutriente aplicado que a planta absorveu (Figura 4A) e apresentou decréscimo linear com o aumento das doses de K_2O para os dois períodos de cultivo, ou seja, a eficiência da planta em absorver o nutriente reduz quando a disponibilidade do mesmo é maior que a demanda da cultura. Para obtenção de 95% da máxima produtividade estimada a ER foi de 128% e de 109% nos períodos de verão e inverno, respectivamente (Figura 4A). Os altos valores de ER demonstram que as plantas de repolho são muito eficientes na recuperação de K do solo quando em condições com menor disponibilidade de K e que houve contribuição de K não trocável ou de K trocável abaixo de 40 cm da superfície do solo, para o absorvido pelo repolho. Assim como outras plantas

(Chaves et al., 2015; Manning et al., 2017), o repolho é capaz de acessar formas de K que não são quantificadas por extratores mais usuais em análise química de solos.

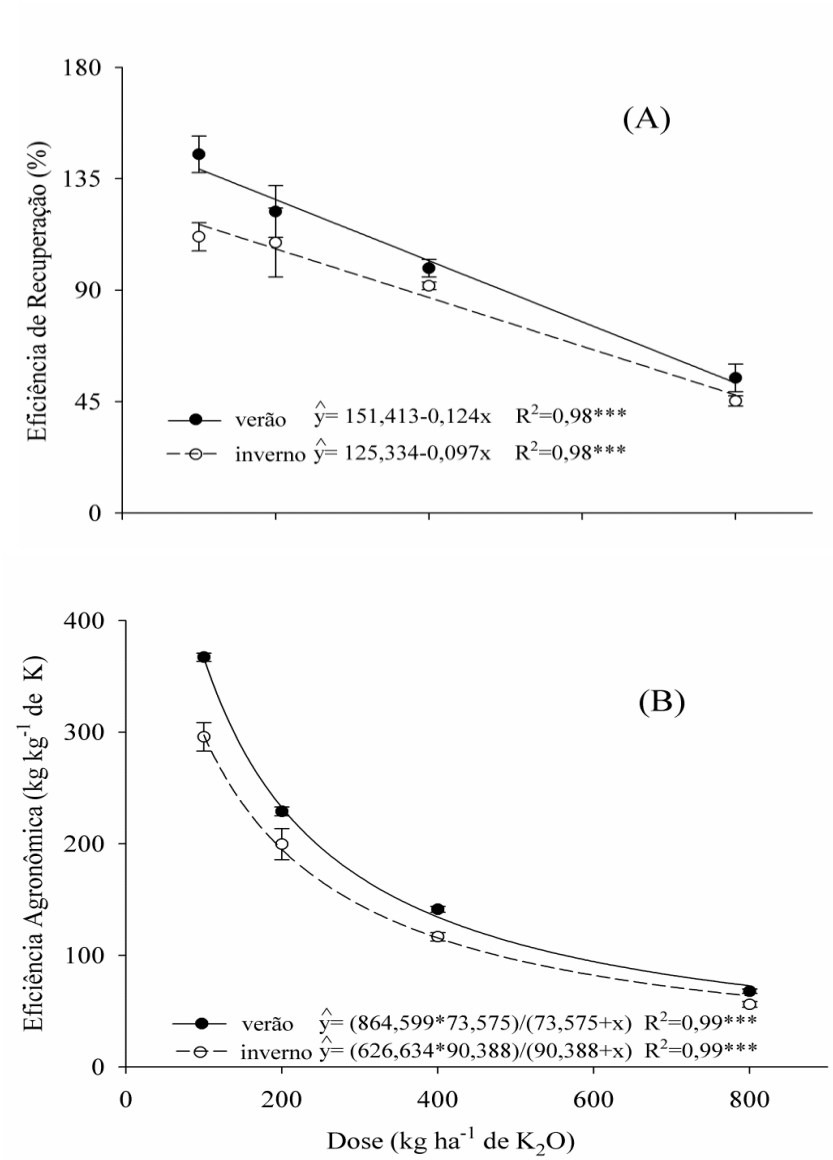

Figura 04. Eficiência de recuperação (A) e Eficiência Agronômica (B) do repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a doses de potássio nos períodos de verão e inverno. *** significativo a 0,1 % pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

A EA teve ajuste de modelos não lineares, com decréscimo em função das doses de K para os dois períodos de cultivo (Figura 4B). Para obtenção de 95% da máxima produtividade estimada, a EA foi de 248,90 kg kg^{-1} no período de verão e de 219,20 kg kg^{-1}

no período de inverno. Ao definir a produtividade por kg de nutriente aplicado, a EA demonstra que o repolho é uma planta com alta eficiência de uso do K, com a possibilidade de alcançar altas produtividades de repolho com aplicação de baixas doses de K.

Com relação a fontes de K utilizadas, estas não influenciaram a maioria das características avaliadas (Tabela 2). No verão a fonte K_2SO_4 proporcionou maior teor foliar de K nos restos vegetais e teor de K disponível no solo após o cultivo na camada de 20-40 cm. No experimento de inverno houve diferença apenas para o teor de K disponível no solo de 20-40 cm, sendo para a fonte K_2SO_4 os maiores valores.

Tabela 2. Produtividade, teores e índices de eficiência da adubação potássica no repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a fontes de potássio, KCl e K_2SO_4, na dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O, nos períodos de verão e inverno. Rio Paranaíba-MG, 2016.

	Verão		Inverno	
	KCl	K_2SO_4	KCl	K_2SO_4
Produtividade (Mg ha^{-1})	134,3 a	134,9 a	127,5 a	128,6 a
Teor de K nas folhas externas (g kg^{-1} de MS)	25,2 b	30,9 a	22,7 a	24,5 a
Teor de K nas cabeças (g kg^{-1} de MS)	36,5 a	34,1, a	29,4 a	29,4 a
Extração (kg ha^{-1})	384,1 a	389,0 a	371,0 a	371,7 a
Exportação (kg ha^{-1})	312,1 a	295,0 a	272,9 a	273,1 a
Eficiência de Recuperação (%)	121,7 a	125,1 a	106,3 a	106,4 a
Eficiência Agronômica (kg kg^{-1})	229,0 a	226,0 a	200,0 a	210,9 a
Teor de K de 0-20 cm (mg dm^{-3})*	14,7 a	14,8 a	22,3 a	22,7 a
Teor de K de 20-40 cm (mg dm^{-3})*	13,8 b	15,0 a	16,5 b	19,5 a

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.
* K disponível no solo após o cultivo de repolho.

Em trabalho desenvolvido por Correa et al. (2013) com as fontes KCl e K_2SO_4 em cultivo de repolho, não foi encontrada diferença entre as fontes para a massa fresca e seca de cabeça e das folhas externas à cabeça; número de folhas (internas e externas); diâmetro e altura da cabeça.

Também não foi observado maior influência da fonte K_2SO_4 sobre a fonte KCl em trabalho para determinar o efeito dessas fontes sobre o crescimento e a produtividade de couve, aipo e alface cultivados em hidroponia (Inthichack et al., 2012). Foi verificado nesse trabalho que fornecer o K com a fonte KCl resultou num rendimento relativamente mais elevado para o aipo, mas não houve diferença para couve e alface, independentemente da dose de K. Além disso, o fornecimento de K com a fonte K_2SO_4 resultou em maior incidência

de queimadura nas pontas em comparação com KCl, especialmente nas maiores concentrações de K.

Com relação ao K disponível no solo após o cultivo, foi verificado, para ambos os solos, que a fonte K_2SO_4 apresentou maior disponibilidade de K na camada de 20-40 cm (Tabela 2). Isso demonstra uma maior lixiviação de K com a fonte KCl para camadas além dos 40 cm de solo. Sharma et al. (2013), ao avaliar a lixiviação de K comparando os ânions acompanhantes Cl^-, SO_4^{-2}, NO_3^- e $H_2PO_4^-$, determinou que a lixiviação do KCl é maior que a do K_2SO_4, seguindo a ordem de $SO_4^{-2} \leq H_2PO_4^- < NO_3^- = Cl^-$.

6. Conclusões

O repolho apresenta alta eficiência de uso e de recuperação de K do solo quando em condições de menor disponibilidade de K, com a possibilidade de alcançar altas produtividades com aplicação de baixas doses de K.

Com o incremento das doses de K a cultura acumula grandes quantidades do nutriente na parte aérea, porém sem incremento correspondente na produtividade.

A exportação de K é a maior parte do acumulado na parte aérea para as duas épocas de cultivo, o que evidencia ser o repolho uma planta esgotante do solo.

São mínimas as diferenças entre as fontes K_2SO_4 e KCl sobre a produtividade e índices de eficiência da adubação potássica no repolho.

7. Referências Bibliográficas

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS**.** Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 68 p., 2015.

CECÍLIO FILHO, A.B.; BONELA, G.D.; CRUZ, M.C.P.; MENDOZA-CORTEZ, J.W.; TOSCANO, C.R.P. Potassium fertilization of lettuce in potassium-rich Eutrudox soil. **African Journal Agriculture Research**, v.10, p.194-199, 2015.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; CASTRO, J.C.C.; CORTEZ, J.W.M. Cabbage growth and production in relation to plant density and nitrogen. **Agrociencia**, v.45, p.573-82, 2011.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; NOWAKI, R.H.D. Accumulation of macronutrients in cv. ‘Astrus’ cabbage as influenced by nitrogen dose and plant population. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.43, p.305-315, 2016.

CECÍLIO FILHO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v.26, p.64-70, 2013.

CECÍLIO FILHO, A.B.; SILVA, G.S.; CORTEZ, J.W.M. Phosphorus fertilization of 'Fuyutoyo' cabbages in phosphorus-rich Eutrustox soil. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, p.288-92, 2013.

CHAVES, E.; PEDRON, F.A.; MELO, V.F.; DALMOLIN, R.S.D. Reserva mineral de K por diferentes métodos em argissolos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1088-1099, 2015.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa. 1999, 359 p.

CORREA, C.V.; CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.D.T.R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2129-2138, 2013.

DUARTE, I.N.; PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p.195-200, 2013.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FILGUEIRA, F.A.R. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Novo manual de olericultura. 3. ed. Viçosa-MG: UFV, 2012. 421 p.

FORTIN, J.G.; MORAIS, A.; ANCTIL, F.; PARENT, L.E. SVMLEACH – NK POTATO: A simple software tool to simulate nitrate and potassium co-leaching under potato crop. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.110, p.259-266, 2015.

GUOYING, L.; DU, Q.; MING, L.J.. Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. **Scientia Horticulturae**, v.214, p.41-50, 2017.

INTHICHACK, P.; NISHIMURA, Y.; FUKUMOTO, Y. Effect of potassium sources and rates on plant growth, mineral absorption, and the incidence of tip burn in cabbage, celery, and lettuce. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v.53, p.135-142. 2012.

KAFKAFI, U. The functions of plant K in overcoming environmental stress situations. In: Development of K-fertilizer recommendations: proceedings 22nd Colloquium of the International Potash Institute; 1990. p. 81–93.

LIAO Y. L.; ZHENG S. X.; NIE J.; XIE J.; LU Y. H.; QIN X. B. Long-term effect of fertilizer and rice straw on mineral composition and potassium adsorption in a reddish paddy soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v.12, p.694-710, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MANNING, D.A.C.; BAPTISTA J.; LIMON, M.S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of the Total Environment**, v.574, p.476–481, 2017.

MARQUES, D.J.; BROETTO, F.; FERREIRA, M.M.; LOBATO, A.K.S.; ÁVILA, F.W.; PEREIRA, F.J. Effect of potassium sources on the antioxidant activity of eggplant. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1836-1842, 2014.

MOREIRA, M.A.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS, M.R. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.117-21, 2011.

POTTOSIN, I.; DOBROVINSKAYA, O. Non-selective cation channels in plasma and vacuolar membranes and their contribution to K^+ transport. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.732–42, 2014.

SHARMA, V.; SHARMA, K.N. Influence of accompanying anions on potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. **Pedosphere**, v.23, p.464-471, 2013.

SOUZA, T.R.; VILLAS BÔAS, R.L.; QUAGGIO, J.A.; SALOMÃO, L.C.; FORATTO, L.C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.846-854, 2012.

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; 1995. 174p.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de

São Paulo, 2 ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)

WANG, H.Y.; SHEN, Q.H.; ZHOU, J.M.; WANG, J.; DU, C.W.; CHEN, X.Q. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. **Plant Soil**, v.343, p.209–220, 2011.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. Review: The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.7370-7390, 2013.

XUE, W.; OTIENO, D.; KO, J.; WERNER, C.; TENHUNEN, J. Conditional variations in temperature response of photosynthesis, mesophyll and stomatal control of water use in rice and winter wheat**. Field Crops Research**, v.199, p.77–88, 2016.

CAPÍTULO II

FISIOLOGIA E METABOLISMO DO REPOLHO CULTIVADO SOB DOSES E FONTES DE POTÁSSIO

1. Resumo

Manter as plantas sob estado nutricional equilibrado de potássio (K) é essencial para minimizar os danos causados por situações de estresse e para obter um produto que apresente qualidade desejável pelo consumidor final. Diante disso, objetivou avaliar a influência de doses e fontes de K sobre a fisiologia e o metabolismo do repolho. Foram conduzidos dois experimentos a campo, um no verão e outro no inverno, em áreas com diferentes disponibilidades de K no solo. Para ambos os experimentos os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) com a fonte Cloreto de Potássio (KCl) e um tratamento adicional consistiu na dose 200 kg ha^{-1} de K_2O com a fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. O acúmulo de K diminuiu o acúmulo de nitrato tanto para o período de inverno quanto para o de verão. A deficiência e excesso de K aumentaram a atividade enzimática, principalmente no período de verão, e também aumentaram o acúmulo de sólidos solúveis totais para as duas épocas de cultivo. A fonte K_2SO_4 acarretou menor acúmulo de sódio e de nitrato para os dois períodos de cultivo, o que evidencia o uso dessa fonte na obtenção de um produto com maior qualidade nutritiva.

Palavras chave: *Brassica oleracea*, ácido ascórbico, enzimas antioxidantes, nitrato, sódio.

2. Abstract

PHYSIOLOGY AND METABOLISM OF CABBAGE CULTIVATED WITH DOSES AND SOURCES OF POTASSIUM

To keep the plants under balanced potassium (K) nutritional status is essential to minimize stress damage and to obtain a product that presents desirable quality by final consumer. The objective of this study was to evaluate the influence of doses and sources of K on physiology and metabolism of cabbage. Two experiments were performed in the field, summer and winter crop seasons, in fields with different soil K availability. For both experiments the treatments consisted of five doses of K_2O (0, 100, 200, 400 and 800 kg ha^{-1}) applied as Potassium Chloride (KCl) and an additional treatment consisted in an

application of 200 kg ha^{-1} of K_2O applied as Potassium Sulphate (K_2SO_4). The experiment was designed as randomized blocks with four replications. Accumulation of K decreased nitrate accumulation for both crop seasons. Deficiency and excess of K increased the enzymatic activity, mainly in the summer, and also increased the accumulation of total soluble solids for both crop seasons. The source of K_2SO_4 caused less accumulation of sodium and nitrate for both seasons, which shows the use of this source in order to obtain a product with better nutritional quality.
Key words: *Brassica oleracea*, ascorbic acid, antioxidant enzymes, nitrate, sodium.

3. Introdução

O potássio (K) tem importante função no crescimento e metabolismo das plantas e seu fornecimento adequado está entre os fatores que contribui para a resistência das plantas diante de situações de estresse (Hu et al., 2016; Zain & Ismail., 2016; Bhuiyan et al., 2017). Dentre suas funções, o K se destaca por participar do controle de abertura e fechamento estomático, essencial para a fotossíntese (Zain & Ismail, 2016). Além disso, a alta demanda deste nutriente pelas plantas ocorre pela necessidade de manter um alto conteúdo do íon K^+ no citoplasma, principalmente para assegurar a atividade enzimática e o potencial osmótico (Marques et al., 2014).

Dentre as plantas que se destacam pelo alto acúmulo desse nutriente está o repolho (Correa et al., 2013; Cecílio Filho et al., 2016), uma hortaliça folhosa com elevada taxa de crescimento em curto espaço de tempo (Filgueira, 2012). Porém, o atual manejo de adubação potássica no repolho não costuma fornecer esse nutriente em equilíbrio com a demanda da cultura (Correa et al., 2013).

Uma adubação desequilibrada com K pode levar ao aumento na concentração salina do solo e redução na absorção de outros cátions, promovendo redução na produtividade da cultura e perdas por lixiviação (Zain & Ismail, 2016). Dependendo da quantidade de sais presente no solo, ocorre um decréscimo no potencial hídrico em nível abaixo do necessário para que ocorra a absorção de água pelas células, induzindo a planta a uma situação de estresse (Benito et al., 2014)

Esse desequilíbrio nutricional pode provocar mudanças na atividade do sistema enzimático e produção de compostos relacionados a situações de estresse, como a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Marques et al., 2014). Portanto, manter o

fornecimento de K de acordo com a demanda da cultura é essencial para minimizar os danos causados por situações de estresse e obter um produto que apresente uma qualidade nutritiva desejável pelo consumidor final. Diante disso, este trabalho objetivou avaliar a influência de doses e fontes de K sobre a fisiologia e metabolismo do repolho.

4. Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos a campo, um no período de verão e outro no período de inverno, em áreas com diferentes disponibilidades de K no solo. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba (Latitude - 19° 11′ 39″ S, Longitude - 46° 14′ 37″ W). Os locais de cultivo estão a 1.073 m de altitude e clima predominante Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger, que é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março.

Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa (Embrapa, 2013), cujos atributos químicos, na camada de 0 a 20 cm, para o local do período de verão e do período de inverno são, respectivamente: pH em H_2O = 5,5 e 5,7 (relação 1:2,5); P-rem = 22,1 e 22,4 mg L^{-1}; P = 16,9 e 12,8 mg dm^{-3} e K= 106,0 e 65,0 mg dm^{-3} (P-K: extrator Mehlich 1); Ca^{2+} = 2,8 e 4,4 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+} = 0,7 e 1,0 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{3+} = 0,14 e 0,0 $cmol_c$ dm^{-3}; (Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L^{-1}); H+Al = 5,1 e 3,6 $cmol_c$ dm^{-3} (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}, pH 7,0); V = 60,7 %; m = 0,0 %; e M.O = 3,1 dag dm^{-3}.; Zn, Cu, Fe e Mn =6,7, 1,5, 29,0 e 4,9 mg dm^{-3}, respectivamente (Zn-Cu-Fe-Mn extrator Mehlich 1).

O experimento no período de verão foi instalado em 11/12/15 e colhido em 29/02/16, e o experimento no período de inverno foi instalado em 13/05/16 e colhido em 15/08/16. A cultivar de repolho utilizada foi a Astrus Plus, híbrido F1, que possui características como boa compacidade (firmeza da cabeça) e cabeças com tamanho médio a grande, formato levemente achatado e massa que varia de 1,4 a 2,2 kg. A produção das mudas foi realizada em bandejas de isopor de 200 células, com o uso de substrato agrícola a base de fibra de coco e vermiculita, sob ambiente protegido.

Em ambos os experimentos os tratamentos consistiram no uso de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) com a fonte Cloreto de Potássio (KCl). Um tratamento adicional consistiu na dose 200 kg ha^{-1} de K_2O com a fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4). Estas

doses englobam e ultrapassam as doses recomendadas de K_2O para a cultura por alguns autores: 100 a 150 kg ha^{-1} (Filgueira, 2012); 180 a 240 kg ha^{-1} e complementar com adubação em cobertura de 60 a 120 kg ha^{-1} (Trani & Raij, 1997); e 240 kg ha^{-1} (CFSEMG, 1989). A dose de 200 kg ha^{-1} com a fonte K_2SO_4 foi testada com o objetivo de obter uma comparação entre as duas fontes de K.

Com exceção do controle (dose 0 de K_2O), os demais tratamentos receberam 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante das mudas. Logo, o tratamento com a dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O foi realizado todo no transplante. O tratamento com dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O foi parcelado com 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante e 100 kg ha^{-1} de K_2O com 10 dias após o transplante (DAT). O tratamento com dose de 400 kg ha^{-1} de K_2O foi parcelado com 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante, 100 kg ha^{-1} de K_2O com 10 DAT, 100 kg ha^{-1} de K_2O com 20 DAT e 100 kg ha^{-1} de K_2O com 30 DAT. O tratamento de dose 800 kg ha^{-1} de K_2O recebeu 100 kg ha^{-1} de K_2O no transplante, 100 kg ha^{-1} de K_2O aos 10 DAT, 250 kg ha^{-1} de K_2O aos 20 DAT e 350 kg ha^{-1} de K_2O aos 30 DAT.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas tiveram quatro fileiras de 6 m de comprimento e consideradas úteis as duas fileiras centrais, excluindo-se 60 cm das extremidades. Foi adotado o espaçamento de 38 cm entre fileiras e 38 cm entre plantas para ambos os experimentos.

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens. Com exceção do K, a correção da acidez do solo e as adubações com os demais nutrientes foram realizadas com base na análise química do solo e recomendações para a cultura. As mudas foram transplantadas com 35 dias após a semeadura. Os tratos culturais, controle de pragas e irrigação por aspersão convencional foram realizados de acordo com as necessidades da cultura.

A colheita foi realizada quando a compacidade das cabeças alcançou a aceitação comercial. Em cada parcela foram colhidas cinco plantas, lavadas e em cada uma foi realizado um corte meridional central de aproximadamente 1,5 cm de largura, resultando em cinco fatias. As fatias foram picotadas, homogeneizadas e separadas em subamostras para a determinação de sólidos solúveis totais, teor de ácido ascórbico, teor de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), teor de sódio (Na^+) e de K, proteínas totais solúveis e as enzimas antioxidantes: catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD).

As amostras de cabeças (para determinação do teor de N-NO_3^-, Na^+ e K) foram pesadas frescas e submetidas à estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingir massa constante para determinação da massa seca (MS) e do teor de MS. Posteriormente trituradas em moinho tipo Wiley. O teor de Na^+ e K foi avaliado seguindo métodos descritos em Malavolta et al. (1997). O N-NO_3^- foi determinado de acordo com Cataldo et al. (1975). O teor de N-NO_3^- e de Na^+ foram expressos em massa fresca (MF), considerando o teor de N-NO_3^- e de Na^+ na MS e teor de MS da amostra analisada.

O teor de sólidos solúveis totais foi obtido por refratometria, utilizou-se um refratômetro digital portátil (Modelo SPIN-104-D), com faixa de leitura de 0 a 45 °Brix. As leituras foram feitas através do líquido extraído da amostra de repolho. A extração foi realizada com a utilização de uma pequena compressão nas amostras, a partir dessa compressão utilizou gotas do líquido liberado para a leitura na superfície de análise do refratômetro. Os resultados foram expressos em °Brix. O teor de ácido ascórbico foi determinado conforme métodos descritos em Strohecker & Henning (1967) e expresso em mg 100 g^{-1} de MF.

A quantificação de proteínas totais solúveis foi realizada pelo método de Bradford (1976), e foi utilizada para calcular as atividades enzimáticas. A atividade da SOD foi determinada pela adição de 100 µL de extrato enzimático, a 1880 µL de uma solução contendo 2000 µL de tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, 800 µL de metionina 70 mM, 40 µL de EDTA 10 µM, 300 µL de NBT 1 mM e 620 µL de H_2O Milli-Q. A reação ocorreu em uma câmara, sob iluminação de lâmpadas fluorescente de 15W, com exposição de 10 minutos. A atividade dessa enzima foi mensurada pela diferença no aumento da absorbância das amostras em comprimento de onda de 560 nm. Uma unidade da enzima foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir, em 50%, a fotorredução do NBT (Beauchamp & Fridovich, 1971; Giannopolitis & Reis, 1977).

Para determinação da CAT, uma alíquota de 12,5 µL do extrato enzimático foi adicionado a 500 µL de tampão fosfato de potássio 200 mM, pH 7,0 e 400 µL de H_2O Milli-Q à 27 °C e ainda, 50 µL de 250 mM e 37,5 µL de H_2O. Onde a atividade da enzima foi determinada pela mensuração da redução na absorbância das amostras a 240 nm, em decorrência do consumo do H_2O_2 (Havir & McHale, 1987; Anderson et al., 1995).

A atividade da APX foi determinada com uma alíquota de 12,5 µL do extrato enzimático foi acrescentada a 500 µL de tampão fosfato de potássio 200 mM pH 7, 50 µL de

ácido ascórbico 10 mM e 350 μL de H_2O Milli-Q à 27 °C e ainda, 50 μL de H_2O_2 (2mM) e 37,5 μL de H_2O. O decréscimo na absorbância a 290 nm foi medido durante um minuto, de 10 em 10 segundos, sendo a atividade da enzima determinada com base na quantidade de ascorbato consumida ao longo da reação. A atividade enzimática foi calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar de 2,8 mM^{-1} cm^{-1} (Nakano & Asada,1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância. Quando significativos (teste F para doses, $p<0,05$), foram realizadas análises de regressão e ajustadas equações, de acordo com os coeficientes de determinação. Com relação às fontes, estas foram comparadas pelo teste t ($p<0,05$).

5. Resultados e Discussão

O teor de K no repolho apresentou comportamento quadrático, com valor máximo de 50,28 g kg^{-1} de MS na dose de 596 kg ha^{-1} de K_2O no cultivo de verão e de 39,13 g kg^{-1} de MS na dose 560 kg ha^{-1} de K_2O no de inverno (Figura 1A). Os teores estão dentro da faixa de teores considerada adequada (25 a 50 g kg^{-1} de MS) por Trani & Raij (1997).

Alguns autores destacam que em situação de alta disponibilidade de K no solo ocorre uma elevada acumulação do mesmo pelo repolho sem um correspondente acréscimo em produtividade (Correa et al., 2013, Cecílio Filho et al., 2016). Mas essa elevada acumulação de K também pode ser considerada como uma "estratégia de segurança" para habilitar a planta para melhor sobreviver a um estresse ambiental súbito (Kafkafi, 1990), como por exemplo, período de baixa disponibilidade hídrica no solo.

Além disso, o papel do K também se reflete no metabolismo do N-NO_3^-, onde o íon K^+ é muitas vezes o íon-dominante para transporte de N-NO_3^- a longa distância no xilema e para o armazenamento nos vacúolos (Marschner, 2012). Tal afirmativa é reforçada pelos resultados obtidos neste trabalho (Figura 1B), em que o aumento das doses de K_2O proporcionou diminuição no teor de N-NO_3^- para os dois períodos de cultivo. Com isso, um ajuste nas doses de K para o repolho é importante não só pela influência na produtividade, mas também na prevenção de efeitos prejudiciais à qualidade nutritiva do produto, como o acúmulo de N- NO_3^-.

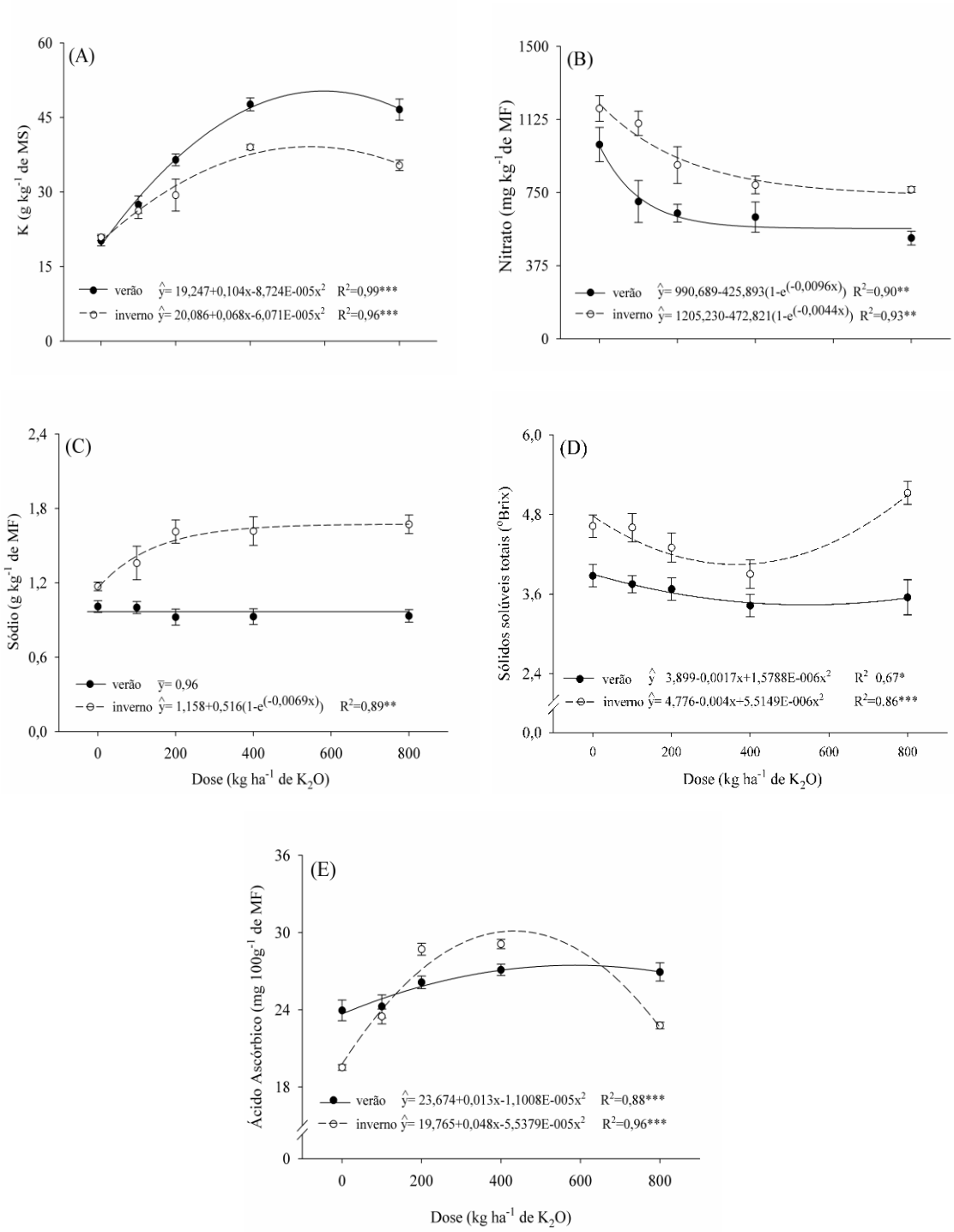

Figura 01. Teor de K (A), nitrato (B), sódio (C), sólidos solúveis totais (D) e ácido ascórbico (E) no repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a doses de potássio nos períodos de verão e inverno. MF: matéria fresca, MS: matéria seca. ***, ** e * significativos a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente, pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

Os valores de N- NO_3^- encontrados no período de verão e de inverno estão próximos dos aceitos por países europeus, que variam de 500 a 1500 mg kg^{-1} de MF (Scharph, 1991). Porém o período de inverno apresentou acúmulo de N- NO_3^- superior ao período de verão (Figura 1B). Isso pode ser explicado pela influência desse período sobre os principais fatores que controlam a atividade da nitrato redutase (primeira enzima na via de assimilação do N-NO_3^-) (Campbell, 1999). Fatores como dias mais curtos, com menor disponibilidade de luz e menor temperatura no período de inverno podem reprimir a atividade dessa enzima e, assim, causar um maior acúmulo de N- NO_3^-. (Jones, 1998; Campbell, 1999; Morozkina; 2007).

Para o teor de Na^+ houve ajuste não linear para as regressões no período de inverno, enquanto que para o período de verão não houve diferença entre os tratamentos com uma média de 0,96 g kg^{-1} de MF (Figura 1C). A presença de Na^+ no meio ambiente e sua absorção pelas plantas pode reduzir a quantidade de K necessária para atender às exigências metabólicas básicas da planta (Benito et al., 2014). E é relatado que concentração externa alta de um desses dois elementos faz com que ambos compitam para os mesmos locais de absorção, que são principalmente canais de cátions não específicos (Pottosin & Dobrovinskaya, 2014), porém isso não foi observado no presente trabalho.

Com relação aos sólidos solúveis totais (Figura 1D), ocorreu um maior acúmulo de sólidos nas situações de menor absorção de K pela planta (Figura 1A). Isso possivelmente ocorreu para regularizar o potencial osmótico em células vegetais, resposta já verificada em folhas deficientes em K (Zörb et al., 2014).

Sobre o teor de ácido ascórbico (Figura 1E) houve influência das doses de K_2O, com maiores valores nas doses de 590 kg ha^{-1} e 433 kg ha^{-1} no verão e inverno, respectivamente. Estes resultados foram diferentes do trabalho desenvolvido por Hu et al. (2016), em que o maior conteúdo de ácido ascórbico foi observado em situação de deficiência de K.

No entanto, nossos resultados podem ser explicados pela atividade da enzima APX, (Figura 2C), que catalisa a conversão de H_2O_2 em H_2O utilizando ascorbato como um doador de elétrons específico (Asada, 1999). Assim verificamos que as plantas de repolho conseguem otimizar seus componentes de defesa contra o estresse, de modo a regular seus mecanismos entre os enzimáticos e não-enzimáticos (Figuras 1E e 2C)

Com relação a SOD, sua atividade no período de inverno não foi influenciada pelas doses de K_2O, apresentando uma média entre os tratamentos de 3,28 U min^{-1} mg^{-1} de proteína, enquanto que no período de verão houve ajuste quadrático, com maior atividade nas menores

e nas maiores doses de K_2O fornecidas (Figura 2A). Para CAT e APX (Figura 2B e 2C), houve influência das doses de K_2O tanto no período de verão quanto de inverno, apresentando também um comportamento semelhante a SOD no verão, com maiores atividades nas menores e maiores doses de K_2O.

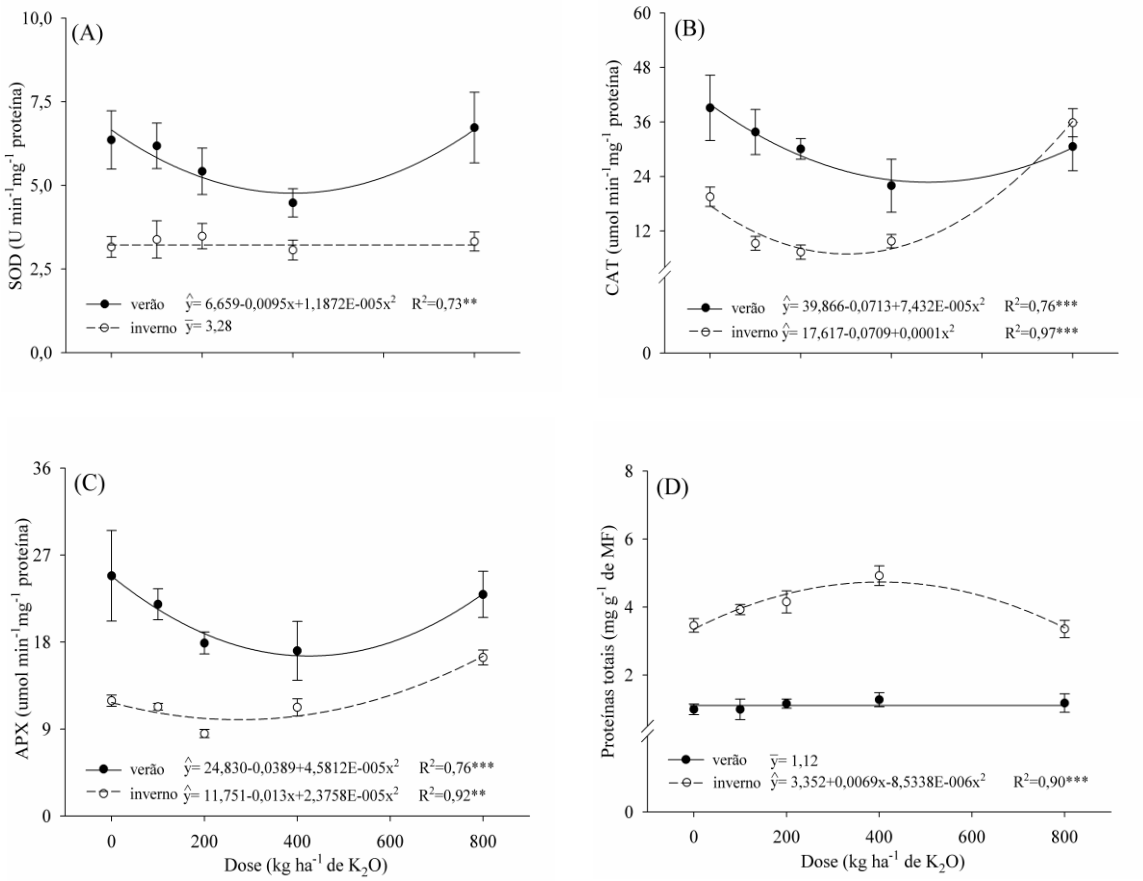

Figura 2. Atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) (A), catalase (CAT) (B) e ascorbato peroxidase (APX) (C) e proteínas totais solúveis (D) no repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a doses de potássio, nos períodos de verão e inverno. MF: matéria fresca. *** e ** significativos a 0,1 e 1 %, respectivamente, pelo teste F. Rio Paranaíba-MG, 2016.

A maior demanda de K em plantas sob estresse pode estar relacionada com o papel do íon K^+ para fixação de CO_2 e transporte de fotoassimilados, inibindo a transferência de elétrons fotossintéticos ao O_2, reduzindo assim a produção de EROs (Cakmak , 2005). Em

trabalho de Hu et al. (2016) a concentração de H_2O_2 em algodão foi significativamente maior nos tratamentos com dose de 0 kg ha $^{-1}$ de K_2O do que nos tratamentos com fornecimento de K, e sem o fornecimento de K houve maior atividade de CAT e APX, justificado pelos autores que a alta atividade ocorreu para eliminar o dano oxidativo de H_2O_2.

Com relação a proteínas totais solúveis, não houve influência das doses no teor de proteínas no período de verão, com média de 1,12 mg g^{-1} de MF. No período de inverno, o teor de proteína teve comportamento quadrático (Figura 2D), com maior valor na dose de 404 kg ha^{-1} de K_2O. Este comportamento foi semelhante ao encontrado por Marques et al. (2014), em que o teor de proteína avaliado em folhas de berinjela diminuiu de forma quadrática com doses crescentes de K_2O.

Com relação a fontes de K utilizadas, não houve influência para a maioria das variáveis analisadas (Tabela 1). No verão e no inverno a fonte K_2SO_4 apresentou menor teor de Na^+. O índice de solução salina de K_2SO_4 por unidade de K_2O é equivalente à metade da taxa de KCl (Kamburova & Kirílov, 2008). Dados obtidos por Marques et al. (2014) confirmam que, embora a utilização de KCl na agricultura é grande por ser menos onerosa do que outras fontes de K, o efeito do KCl na salinização do meio ambiente é maior e reforça a indicação de K_2SO_4 como fonte para um menor índice salino.

Foi verificado neste trabalho que o teor de $N\text{-}NO_3^-$ foi maior para a fonte KCl do que para a fonte K_2SO_4 para os dois períodos de cultivo (Tabela 01). Segundo Bhuiyan et al. (2017), a presença do ânion Cl^- tem efeitos prejudiciais como alteração nas trocas gasosas e prejudica a fluorescência da clorofila, levando a toxicidade e consequente estresse. Assim, é possível que o Cl^- cause um desequilíbrio nutricional provocando mudanças na atividade do sistema enzimático e o acúmulo de compostos como $N\text{-}NO_3^-$.

A fonte K_2SO_4 proporcionou maior teor de proteína no inverno e maior atividade da CAT no verão e no inverno (Tabela 01). Marques et al. (2014), ao estudar as fontes KCl e K_2SO_4, não verificou influência das fontes de K sobre o teor de proteínas avaliado em folhas de berinjela e, qualquer que seja a fonte, doses acima de 500 kg ha $^{-1}$ K_2O reduziu a atividade enzimática. Em trabalho de Zain & Smail (2016) o fornecimento de K, seja na fonte KCl ou K_2SO_4, minimizou os efeitos no crescimento e fisiologia de arroz sob estresse hídrico.

Tabela 1. Teor de K, ácido ascórbico, sódio, nitrato, sólidos solúveis, proteínas totais solúveis e determinação da atividade enzimática (superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)) no repolho, cultivar Astrus Plus, submetido a fontes de potássio, KCl e K_2SO_4, na dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O, nos períodos de verão e inverno. Rio Paranaíba-MG, 2016.

	Verão		Inverno	
	KCl	K_2SO_4	KCl	K_2SO_4
K (g kg^{-1} de MS)	34,1 a	36,5 a	29,4 a	29,4 a
Ácido ascórbico (mg $100g^{-1}$ de MF)	26,1 a	27,4 a	29,0 a	25,5 a
Sódio (g kg^{-1} de MF)	0,92 a	0,77 b	1,61 a	1,36 b
Nitrato (mg kg^{-1} de MF)	643,41 a	445,5 b	891,33 a	742,11 b
Sólidos solúveis (°Brix)	3,6 a	3,7 a	4,6 a	4,6 a
Proteínas totais (mg g^{-1} de MF)	1,2 a	1,3 a	2,5 b	4,3 a
APX (umol min^{-1} mg^{-1} proteína)	17,9 a	18,6 a	8,5 a	10,7 a
CAT (umol min^{-1} mg^{-1} proteína)	30,0 b	52,5 a	7,3 b	24,3 a
SOD (U min^{-1} mg^{-1} proteína)	5,4 a	4,8 a	3,5 a	3,7 a

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. MS: matéria seca. MF: matéria fresca.

6. Conclusões

O acúmulo de K pelo repolho diminui o acúmulo de N-NO_3^- tanto para o período de inverno quanto para o período de verão.

O uso restritivo ou excessivo de K incrementa as atividades de enzimas antioxidantes, principalmente no período de verão, e também aumentam o acúmulo de sólidos solúveis totais para as duas épocas de cultivo.

A fonte K_2SO_4 acarreta menor acúmulo de Na^+ e de N-NO_3^- para os dois períodos de cultivo, o que reforça o uso dessa fonte na obtenção de um produto com maior qualidade nutritiva.

7. Referências Bibliográficas

ANDERSON, M.D.; PRASAD, T.K.; STEWART, T.R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyl of maize seedlings. **Plant Physiology**, v.109 p.1247-1257, 1995.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, p.276-287, 1971.

BENITO, B.; HARO, R.; AMTMANN, A.; CUINC, T.A.; DREYER, I. The twins K^+ and Na^+ in plants. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.723–731, 2014.

BHUIYAN, M.S.I.; RAMAN, A.; HODGKINS, D.; MITCHELL, D.; NICOL, H.I. Influence of high levels of Na^+ and Cl^- on ion concentration, growth,and photosynthetic performance of three salt-tolerant plants. **Flora**, v.228, p.1–9, 2017.

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

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stressesin plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 277-303, 1999.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid clorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; NOWAKI, R.H.D. Accumulation of macronutrients in cv. 'Astrus' cabbage as influenced by nitrogen dose and plant population. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.43, p.305-315, 2016.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa. 1999, 359 p.

CORREA, C.V.; CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.D.T.R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2129-2138, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FILGUEIRA, F. A. R. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Novo manual de olericultura. 3ª ed. Viçosa-MG: UFV, 2012. 421 p.

GIANNOPOLITIS, I.; REIS, S.K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higer plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1977.

HAVIR, E.A.; McHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v.84, p.450-455, 1987.

HU, W.; LV, X.; YANG, J.; CHEN, B.; ZHAO, W.; MENG, Y.; WANG, Y ZHOU, Z.; OOSTERHUIS, D.M. Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crops Research**, v.191, p.139-149, 2016.

JONES, T.; TUCKER, D.E.; ORT, D.R. Chilling delays circadian pattern of sucrose phosphate synthase and nitrate reductase activity in tomato. **Plant Physiol**, v. 118, p. 149-158, 1998.

KAFKAFI, U. The functions of plant K in overcoming environmental stress situations. In: Development of K-fertilizer recommendations: proceedings 22nd Colloquium of the International Potash Institute; 1990. p. 81–93.

KAMBUROVA, K.; KIRILOV, P.L. Calculating the salt index of K and NPK liquid fertilizers from potassium phosphates. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.43, p.227-230, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MARQUES, D.J.; BROETTO, F.; FERREIRA, M.M.; LOBATO, A.K.S.; ÁVILA, F.W.; PEREIRA, F.J. Effect of potassium sources on the antioxidant activity of eggplant. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1836-1842, 2014.

MARSCHNER P. Marschners's mineral nutrition of higher plants. London: Elsevier; 2012.

MOROZKINA, E.V.; ZVYAGILSKAYA, R.A. Nitrate reductases: structure, functions, and effect of stress factors. **Biochemistry**, v. 72, p. 1151-1160, 2007.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v.22, p.867-880, 1981.

POTTOSIN, I.; DOBROVINSKAYA, O. Non-selective cation channels in plasma and vacuolar membranes and their contribution to K^+ transport. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.732–42, 2014.

SCHARPH, H.C. Nutrient influences on the nitrate content of vegetable. The Fertilizer Society, n.313. 1991. 24 p.

STROHECKER, R; HENNING, H.M. Analises de vitaminas: Métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, 2 ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)

ZAIN, N.A.M.; ISMAIL, M.R. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. **Agricultural Water Management**, v.164, p. 83-90, 2016.

ZÖRB, C.; T SENBAYRAM, M.; PEITERC, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.656–669, 2014

CAPÍTULO III

MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO REPOLHO – FERTICALC REPOLHO

1. Resumo

O repolho apresenta elevada demanda de nutrientes, o que requer a proposição de modelos de recomendação condizentes com o potencial produtivo atual. Com isso, objetivou-se propor um modelo de balanço nutricional (FERTICALC Repolho) para recomendação de nutrientes para a cultura. Para estimar a recomendação de fertilizantes, o sistema considerou o subsistema requerimento (REQ), que inclui a demanda da cultura e a eficiência de recuperação (ER) do nutriente aplicado, e o subsistema suprimento (SUP), que corresponde ao fornecimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos culturais. Para determinar os atributos necessários à estimativa da demanda nutricional foram obtidos valores da literatura e de três experimentos, um com nitrogênio (N) e dois com potássio (K). A recomendação de fertilizantes para N, fósforo (P) e K consistiu da diferença entre o REQ e o SUP. No caso do P, o FERTICALC Repolho adotou que a recomendação não seja inferior a uma faixa de 80 – 160 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para que não ocorra empobrecimento do solo ao longo dos cultivos o sistema recomendou aplicar, após a colheita, o total exportado da área pela cultura quando SUP maior que REQ e a diferença entre o aplicado e o exportado quando SUP menor que REQ. Para os demais nutrientes o sistema apresentou somente a exportação e a extração da cultura devido à escassez de dados referente a ER. A modelagem mostrou-se uma ferramenta útil para recomendação de adubação para a cultura do repolho.

Palavras chave: *Brassica oleracea*, balanço nutricional, adubação.

2. Abstract

MODELING THE RECOMMENDATION OF NUTRIENTS FOR THE CULTURE OF CABBAGE - FERTICALC CABBAGE

Cabbage presents high demand of nutrients, which requires the proposal of recommendation models that are compatible with the current productive potential. Therefore, the objective was to propose a nutritional balance model (FERTICALC- Cabbage) to recommend nutrients for the crop. To estimate the fertilizer recommendation, the system considered the requirement subsystem (REQ), which includes crop demand and recovery efficiency (RE) of the nutrient applied, and the supply subsystem (SUP), which corresponds to nutrient soil and crop residues. Values of the necessary attributes, to estimate the nutritional demand, were obtained from literature and from three experiments, one with nitrogen (N) and two with potassium (K). Fertilizer recommendation of N, phosphorus (P) and K consisted of the difference between REQ and SUP. In case of P, FERTICALC Cabbage has adopted that recommendation is not inferior to a range of 80 - 160 kg ha^{-1} of P_2O_5. In order to avoid soil impoverishment along cultivations, the system recommended to apply, after harvest, the total exported from the area by crop when SUP is greater than REQ and the difference between the applied and exported when SUP is lower than REQ. For the other nutrients, the system presented only the export and extraction of the crop due to the scarcity of data referring to RE. The modeling showed to be a useful tool for recommending fertilization for cabbage crop.
Key words: *Brassica oleracea*, nutritional balance, fertilization.

3. Introdução

No Brasil, recomendações oficiais de fertilizantes contidas em publicações como o "Boletim 100" (Raij et al., 1997) e a "5ª Aproximação" (CFSEMG, 1999) apresentam limitações como o potencial produtivo almejado baixo, não consideram a variação da demanda com a produtividade de forma contínua e não consideram diferenças que podem existir entre cultivares e entre épocas de cultivo para uma mesma cultivar. Com isso há certo empirismo das adubações realizadas pelos agricultores, que na maior parte dos cultivos, aplicam doses fixas de nutrientes. As doses deveriam considerar no mínimo, a produtividade esperada, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade tampão desses no solo, além da eficiência da planta em absorvê-los (Santos et al., 2008; Silva et al., 2009; Singh et al., 2012).

Altas produtividades carecem do ajuste criterioso das fertilizações, uma vez que a demanda nutricional apresenta correlação positiva com a produtividade da cultura. As fertilizações devem atender a demanda para alta produtividade e a manutenção ou incremento

da fertilidade do solo. As doses corretas dos fertilizantes para isso carecem de modelos que considerem fatores importantes que influem na demanda nutricional, como a produtividade e a taxa de recuperação de nutrientes pela planta. Conhecer a demanda de nutrientes pela planta permite o alcance de altas produtividades e otimiza o uso dos fertilizantes (Cecílio Filho & Peixoto, 2013). Neste contexto, a utilização de modelos de balanço nutricional ganha destaque por ser uma forma estratégica eficiente de recomendar fertilizantes e corretivos (Dezordi et al., 2015; Deus et al., 2015).

Atualmente existem no Brasil sistemas de balanço nutricional para diversas culturas, como o abacaxi (Silva et al., 2009), a soja (Santos et al., 2008; Kurihara et al., 2013), a cenoura (Dezordi et al., 2015), o melão (Deus et al., 2015), dentre outras. Este sistema compreende modelos matemáticos que permitem estimar o requerimento de nutrientes pela cultura de acordo com a produtividade esperada, assim como, o suprimento de nutrientes pelo solo em função dos resultados da análise química do solo (nutrientes disponíveis) e dos resíduos culturais presentes nesse. Desta forma, a recomendação de adubação nestes modelos compreende a diferença entre a demanda da cultura e o suprimento dos nutrientes disponíveis no solo mais o advindo da mineralização dos resíduos culturais.

Dentre as hortaliças, as brássicas têm alta demanda de nutrientes em função da elevada produtividade de matéria seca em curto espaço de tempo. O repolho é a principal espécie comercial da família Brassicaceae e uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015). O sistema de balanço nutricional é ferramenta que pode melhorar a estimativa da necessidade de nutrientes e embasar adubações coerentes com a produtividade almejada para o repolho e a fertilidade do solo. Com isso, objetivou-se com este trabalho, propor um modelo de balanço nutricional (FERTICALC Repolho) para recomendação de nutrientes para a cultura do repolho.

4. Material e Métodos

4.1 Desenvolvimento do Sistema

Os modelos matemáticos contidos no sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura do repolho (FERTICALC Repolho) foram divididos em dois subsistemas, sendo eles: requerimento nutricional (REQ) e suprimento de nutrientes pelo solo (SUP).

Para estimar o REQ considerou-se a demanda da cultura e a eficiência de recuperação (ER) do nutriente aplicado. Para calcular a demanda da cultura, por sua vez, foi considerado

o teor de matéria seca (*t*MS), o coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes e o índice de colheita (IC). O CUB é um índice de eficiência que indica a capacidade da planta em converter o nutriente absorvido em matéria seca (Fageria, 1998). O IC representa a fração de massa de matéria seca (MS) ou nutriente presente no órgão comercial da cultura (cabeça no caso do repolho) em relação a toda MS da planta. A ER indica a percentagem do nutriente aplicado ao solo que a planta recupera (Fageria, 1998).

O SUP considerou o fornecimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos de cultivos anteriores. A modelagem do suprimento de nutrientes pelo solo foi obtida com base em trabalhos disponíveis na literatura. Dentre esses destacam-se os realizados para determinar a eficiência de recuperação dos extratores utilizados nas análises de solo e trabalhos realizados para estudar o acúmulo e a dinâmica de mineralização e liberação de nutrientes pelos resíduos culturais (Gama-Rodrigues et al., 2007; Setiyono et al., 2010; Marcelo et al., 2012).

4.2 Subsistema Requerimento – REQ

4.2.1 Determinação de Atributos para Modelagem da Demanda Nutricional

Para determinar os atributos necessários à estimativa da demanda nutricional da cultura do repolho foram conduzidos três experimentos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba (Latitude - 19° 11′ 39″ S, Longitude - 46° 14′ 37″ W) e obtidos valores a partir de dados da literatura (Silva 2016; Correa et al., 2013; Aquino et al., 2009).

4.2.1.1 Experimento 1 - Partição do acúmulo de N, P e K na planta de repolho

A partição de matéria seca e acúmulo de N, P e K na planta de repolho foram determinados a partir de experimento em caixas de polietileno com capacidade de 250 dm^3 de solo. As caixas foram mantidas tampadas, e em cada tampa fez-se 4 furos sendo cultivada uma planta por furo. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 4 x 4 + 1, sendo os fatores estudados quatro fontes de N (uréia, nitrato de amônio, sulfato de amônio e nitrato de cálcio), quatro doses de N (50, 100, 150 e 300 mg dm^{-3}) e um tratamento adicional sem o uso deste nutriente. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições.

As mudas foram transplantadas para as caixas com 35 dias após o plantio. A colheita foi realizada quando a compacidade das cabeças alcançou a aceitação comercial. Em cada unidade experimental foram colhidas as quatro plantas, as quais foram separadas em cabeça,

folhas externas, caule e raiz. De cada uma dessas partes da planta foram determinados massa de matéria fresca (MF), MS e teores de N, P e K (seguindo métodos descritos em Malavolta et al., 1997). Os acúmulos de N, P e K em cada parte da planta foram calculados pelo produto entre MS e o teor do nutriente no respectivo órgão da planta.

Na análise estatística considerou-se a média das fontes para cada dose de N. Os valores considerados para cálculo das partições de MS, N, P e K para o FERTICALC Repolho foram com base na dose de 169 mg dm^{-3} de N, que foi a dose que proporcionou 95% da máxima produtividade de matéria fresca de cabeças (Tabela 01).

Tabela 01. Equações de regressão ajustadas para matéria fresca (MF) de cabeça e acúmulo de N, P e K na cabeça, folhas externas, caule e raiz do repolho. Rio Paranaíba-MG, 2016.

Variáveis	Equações ajustadas	R^2	Acúmulo do nutriente (g $planta^{-1}$)	Partição do nutriente (%)
MF cabeça	$\hat{y} = 0{,}153+1{,}567(1-e^{(-0{,}0169x)})$	0,98	-	-
N cabeça	$\hat{y}=0{,}202+0{,}036x-0{,}0000619x^2$	0,99	4,436	60,1
N folhas externas	$\hat{y}=0{,}299+0{,}016x-0{,}0000261x^2$	0,99	2,308	31,2
N caule	$\hat{y}=0{,}079+0{,}0013x$	0,98	0,299	4,0
N raiz	$\hat{y}=0{,}169+0{,}005x-0{,}00000217x^2$	0,95	0,344	4,7
P cabeça	$\hat{y}=0{,}075+0{,}006x-0{,}0000119x^2$	0,99	0,682	62,3
P folhas externas	$\hat{y}=0{,}073+0{,}002x-0{,}00000385x^2$	0,98	0,284	26,0
P caule	$\hat{y}=0{,}0365+0{,}00011x$	0,69	0,055	5,0
P raiz	$\bar{y}=0{,}073^{ns}$	-	0,073	6,7
K cabeça	$\hat{y}=0{,}608+0{,}040x-0{,}0000894x^2$	0,99	4,744	64,6
K folhas externas	$\hat{y}=0{,}823+0{,}011x-0{,}0000270x^2$	0,85	1,861	25,3
K caule	$\hat{y}=0{,}292+0{,}00129x$	0,81	0,510	6,9
K raiz	$\bar{y}=0{,}234^{ns}$	-	0,234	3,2

^{ns} médias consideradas iguais pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os trabalhos disponíveis na literatura utilizados na modelagem do FERTICALC Repolho apenas consideram os nutrientes acumulados na parte aérea da planta (cabeça e folhas externas), com isso, a partir deste experimento, foram determinadas constantes para o ajuste do subsistema REQ para N, P e K na modelagem do FERTICALC Repolho, considerando a alocação desses nutrientes no caule e no sistema radicular. As constantes foram calculadas pela razão entre o total acumulado em toda a planta (cabeça, folhas externas, caule e raiz) e o acúmulo do nutriente na parte aérea (cabeça e folhas externas). O valor das constantes foram para N (1,095282), P (1,132624) e K (1,112715). Isso equivale a informação de 9,53, 13,26 e 11,27 % do N, P e K extraídos pela planta alocados no caule e no sistema radicular.

4.2.1.2 Experimentos 2 e 3: Doses e fontes de K no repolho

Foram conduzidos dois experimentos a campo, em diferentes períodos do ano (verão e inverno), com o objetivo de determinar a ER de K pelo repolho. Os solos continham 106 e 65 mg dm^{-3} de K disponível na camada de 0-20 cm no cultivo de verão e no inverno, respectivamente. O transplante das mudas no experimento no período de verão foi realizado em 11/12/15 e a colheita em 29/02/16, e o transplante das mudas no experimento no período de inverno foi em 13/05/16 e a colheita em 15/08/16. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. A cultivar de repolho utilizada foi a Astrus Plus.

Os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 400 e 800 kg ha^{-1}) com a fonte Cloreto de Potássio (KCl), e um tratamento adicional com a fonte Sulfato de Potássio (K_2SO_4) na dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O. Na colheita foi determinada a produtividade de cabeças e de folhas externas. Após pesagem, as cabeças e as folhas externas foram lavadas, trituradas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingir massa constante para determinação da MS. O teor de K (g kg^{-1}) foi avaliado seguindo métodos descritos em Malavolta et al. (1997). Os acúmulos de K (kg ha^{-1}) em cada parte da planta (cabeça e folhas externas) foram calculados pelo produto entre MS e o teor de K no respectivo órgão da planta. Os resultados pertinentes ao FERTICALC Repolho são apresentados na Tabela 02.

4.2.1.3 Coeficiente de utilização biológica (CUB) e índice de colheita (IC) de nutrientes

Para a primeira versão do FERTICALC Repolho foi utilizada a média de valores obtidos na literatura e nos experimentos com K (item 4.2.1.2) para *t*MS, CUB e IC (Tabela 02). Ressaltando que há uma faixa de valores, o que permite ao usuário uma escolha a depender de sua condição de cultivo.

Tabela 02. Teor de matéria seca (*t*MS), coeficiente de utilização biológica (CUB) e índice de colheita (IC) de macro e micronutrientes em cultivares de repolho.

CULTIVAR	*t*MS	CUB[1]										IC[1]									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	(%)	(kg kg^{-1})						(g kg^{-1})				(%)									
ASTRUS PLUS[2]	6,6	-	-	28,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-
ASTRUS PLUS[3]	7,4	-	-	33,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-
ASTRUS PLUS[4]	6,1	-	212,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	-	-	-	-	-	-	-	-
ASTRUS PLUS[5]	6,1	-	144,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-
ASTRUS PLUS[6]	6,1	30,0	-	-	105,8	362,9	162,1	262,8	3,6	49,5	-	76	82	67	24	52	51	42	66	57	84
ASTRUS PLUS[7]	5,9	40,5	184,2	-	188,0	530,8	231,4	134,7	20,1	55,7	44,5	76	80	72	30	54	57	17	55	49	74
GREEN VALLEY[8]	6,1	34,7	155,4	18,3	-	-	171,8	251,1	3,9	59,9	57,8	69	74	68	-	63	46	32	47	37	54
FENIX[9]	6,3	37,5	177,1	24,6	184,3	392,7	196,3	141,1	9,4	46,3	42,4	70	76	70	24	45	54		52	30	67
KENZAN[10]	7,3	33,0	303,9	27,3	102,4	447,7	162,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KENZAN[11]	6,5	40,8	285,7	31,3	178,6	400,0	113,9	-	17,3	48,3	50,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	**6,5**	**36,1**	**209,1**	**26,1**	**151,8**	**426,8**	**173,0**	**197,4**	**10,9**	**51,9**	**48,8**	**73**	**82**	**72**	**26**	**54**	**52**	**30**	**55**	**43**	**70**
DP	0,5	4,3	62,6	5,5	43,7	65,6	39,2	68,9	7,6	5,7	6,9	4	7	5	3	7	5	13	8	12	13
Vmax	7,4	40,8	303,9	33,6	188,0	530,8	231,4	262,8	20,1	59,9	57,8	76	90	80	30	63	57	42	66	57	84
Vmin	5,9	30,0	144,9	18,2	102,4	362,9	113,9	134,7	3,6	46,3	42,4	69	74	67	24	45	46	17	47	30	54
Nº Dados	10	6	7	8	5	5	6	4	5	5	4	4	6	6	3	4	4	3	4	4	4
LS	6,6	40,6	242,1	31,8	232,9	481,5	208,3	271,3	18,9	56,5	55,0	77	88	76	33	61	58	63	62	56	84
LI	5,9	31,6	126,3	22,5	124,3	318,5	126,0	120,9	0,0	42,4	39,9	69	74	66	15	45	47	1	45	30	57

- Sem obtenção de dados nos presentes trabalhos ou dados excluídos por grande discrepância entre valores. [1] valores médios obtidos a partir de trabalhos de: [2 e 3] experimentos com K (item 4.2.1.1); [4, 5, 6, 7, 8 e 9] Silva (2016); [10] Aquino et al. (2009); [11] Correa et al. (2013). DP: desvio padrão. Vmáx: valor máximo. Vmin: valor mínimo. Nº Dados: número de dados observados. LS: limite superior, considerando um intervalo de segurança de 0,05. LI: limite inferior, considerando um intervalo de segurança de 0,05.

Com relação às fontes de K, não foi verificado diferença entre as fontes KCl e K_2SO_4 sobre o acúmulo de K no repolho tanto nos experimentos conduzidos a campo (item 4.2.1.2) quanto por Correa et al. (2013). Assim, no FERTICALC Repolho desconsiderou fontes no fornecimento de K ao repolho. Porém, no trabalho de Correa et al., (2013) as fontes influenciaram o acúmulo de S e, de acordo com esses dados, deve ser considerada uma faixa de CUB de 86,8 a 106,9 para o S quando a fonte utilizada for K_2SO_4. Outras opções adequadas para fornecer S para o repolho seriam o superfosfato simples (12 % de S), o sulfato de amônio (24 % de S) e o gesso agrícola (14 % de S).

4.2.3 Determinação da eficiência de recuperação de N, P e K pela cultura do repolho

A eficiência de recuperação (ER) mede a porcentagem do nutriente recuperado pela planta a partir do nutriente aplicado via fertilizante, e foi calculada com a seguinte equação (Fageria, 1998):

$$ER = (Q_{Ad} - Q_{NAd})/Q_{Ap} \times 100$$

Em que:

ER = Eficiência de recuperação pela planta do nutriente aplicado via fertilizante (%);

Q_{Ad} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela adubada (kg ha^{-1});

Q_{NAd} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela não adubada (kg ha^{-1});

Q_{Ap} = Quantidade do nutriente aplicada no solo (kg ha^{-1}).

A ER do nutriente aplicado foi calculada somente para os macronutrientes N, P e K devido à escassez de trabalhos para os demais nutrientes. Nos experimentos com doses e fontes de K no repolho (item 4.2.1.2) foram obtidas as ER de 128 e 109 % no verão e inverno, respectivamente. Esses altos valores de ER demonstram que as plantas de repolho são muito eficientes na recuperação de K do solo quando em condições com menor disponibilidade de K e que pode ter havido contribuição de K não trocável como demonstrado por Chaves et al. (2015) ou de K trocável abaixo de 40 cm da superfície do solo para o absorvido pelo repolho (Manning et al., 2017). Considerando as recomendações de Deus et al. (2015) e Santos et al. (2008), que ressaltam que para determinar a necessidade de nutrientes da planta é necessário considerar a ER desde que a planta não recupere 100% do nutriente aplicado através de fertilizantes devido a fatores como perdas e reações com o solo, para essa versão do FERTICALC Repolho será considerada uma ER de 90%.

Para N a ER do repolho foi calculada a partir dos dados do trabalho de Moreira et al. (2011) e de Aquino et al. (2009) com a obtenção de ER de 62 % e de 100 %, respectivamente. Essa diferença de ER pode ser atribuída a uma maior população de plantas utilizada por Aquino et al. (2009), que ressaltam que o aumento do número de plantas por área (menor espaçamento) resultou em maior produção de matéria seca. Considerando uma faixa de 62 a 100 % de ER de N, deve-se considerar uma ER de N maior em situações de cultivos com solos férteis, com maior população de plantas e sem perdas das fontes de N por volatilização. Para essa simulação do FERTICAL Repolho considerou uma ER de 80 %.

Para o P a ER foi obtida da pesquisa de Silva (2016), que estudou a ER com aplicação de P a lanço ou localizada. Esse autor determinou a faixa de ER para P de 30 – 45 % na aplicação a lanço e de 45 – 60 % na aplicação localizada. Esses valores de ER permitem aos usuários do FERTICALC Repolho a escolha de um determinado valor a depender da modalidade de aplicação do adubo fosfatado e do poder tampão do solo para P. A ER do P também varia com o tipo de solo, com maiores ER em solos arenosos devido à menor fixação aos colóides minerais em comparação aos argilosos (Santos et al., 2008; Muner et al., 2011; Teixeira et al., 2015). Para essa versão do FERTICALC Repolho considerou uma ER de 30 % para aplicação de P a lanço e de 45 % para aplicação localizada.

4.2.4 Modelagem do subsistema REQ

Para estimar o requerimento nutricional o subsistema REQ levou em consideração a demanda da cultura (calculada em função da produtividade) e a ER do nutriente aplicado. A exportação (EXP), a extração (EXT) e o requerimento (REQ) foram estimados de acordo com as seguintes equações adaptadas de Dezordi et al. (2015):

$$EXP = (10 \cdot prod \cdot tMS) / CUB$$

$$EXT = (100 \cdot EXP) / IC$$

$$REQ = 100 \cdot EXT \cdot K / (ER/100)$$

Em que:

EXP: exportação do nutriente (kg ha^{-1});

prod: produtividade almejada de cabeças de repolho (Mg ha^{-1});

*t*MS: teor de matéria seca nas cabeças (%);

CUB: coeficiente de utilização biológica do nutriente na cabeça do repolho (kg kg^{-1});

EXT: extração do nutriente (kg ha^{-1});

IC: índice de colheita do nutriente (%);

REQ: requerimento do nutriente (kg ha^{-1});

ER: eficiência de recuperação do nutriente aplicado (%).

K: constante de ajuste da partição do acúmulo de nutrientes. Para N = 1,095282, para P = 1,132624 e para K = 1,112715. Ambas obtidas a partir experimento de partição do acúmulo de N, P e K na planta de repolho (item 4.2.1.1).

4.3 Subsistema Suprimento - SUP

O subsistema SUP do FERTICALC Repolho foi desenvolvido somente para os macronutrientes N, P e K. Para estimar o suprimento o SUP levou em consideração os nutrientes disponíveis no solo e nos resíduos culturais.

4.3.1 Suprimento pelo solo

Para estimar o suprimento de nutrientes pelo solo considerou os resultados da análise química do solo, a eficiência de recuperação dos nutrientes pelos extratores utilizados nas análises químicas do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular (PER) da cultura do repolho, conforme a seguinte equação:

$$SUP\ X_{solo} = (X_{análise} \cdot PER) / (ER_{ext} \cdot 10)$$

Em que:

SUP X_{solo}: suprimento do nutriente X pelo solo (kg ha^{-1});

$X_{análise}$: teor do nutriente X na análise química (mg dm^{-3});

PER: profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

ER_{ext}: eficiência de recuperação do nutriente pelo extrator (mg dm^{-3}/mg dm^{-3} - Tabela 03).

Tabela 03. Eficiência de recuperação do nutriente do solo pelo extrator (mg dm^{-3}/mg dm^{-3}) em função, ou não, do Fósforo remanescente (P-rem).

Nutriente	Extrator	Equação	R^2
P	Mehlich-1	$TR_P = 0{,}0672821 + 0{,}012165^{**}P\text{-}rem$	0,681
P	Resina	$TR_P = 0{,}419^{***}P\text{-}rem^{0{,}128099}$	0,694
K	Mehlich-1	$TR_K = 0{,}8020$	-
K	Resina	$TR_K = 0{,}7559$	-

***Significativo pelo teste *t* a 0,1 %; **Significativo pelo teste *t* a 1 %; *Significativo pelo teste *t* a 5 %. Adaptado de Morais (1999), Souza (1999) e Melo (2000) apud Dezordi et al. (2015). P-rem: Fósforo remanescente (mg L^{-1}).

Diferente de outros sistemas de recomendação de fertilizantes que consideram a PER somente de 20 cm, para este modelo foi considerada uma PER de 40 cm. Essa maior

profundidade foi adotada pelos resultados obtidos nos experimentos com K (item 4.2.1.2) que demonstraram significativa contribuição da camada de 20-40 cm de solo.

Para estimar o suprimento de N pelo solo empregou-se a equação de cinética de mineralização da matéria orgânica dos solos brasileiros descrita por Carvalho et al. (2006) e desenvolvida segundo o modelo proposto por Stanford & Smith (1972):

$$SUP\ N_{solo} = (0{,}5\ .\ PER\ .\ d_{solo}\ .\ tMO_{solo}\ .\ 1{,}48)e^{0{,}006t}$$

Em que:

$SUP\ N_{solo}$: suprimento de N pelo solo (kg ha^{-1});

PER: profundidade efetiva das raízes (cm);

d_{solo}: densidade do solo (kg dm^{-3});

tMO_{solo}: teor de matéria orgânica no solo (dag kg^{-1});

t: ciclo da cultura (dias).

No caso do repolho que é uma cultura com alta extração de N do solo (Aquino et al., 2009; Cecílio Filho et al., 2016) e com ciclo de cultivo curto, a disponibilidade de N pelo solo pode ter uma liberação de N maior que o estimado pela equação utilizada. Ademais, é comum a aplicação de maiores doses de calcário, de P, uso da irrigação e revolvimento intenso do solo. Esses fatores podem acelerar a decomposição da matéria orgânica com maior liberação de N Devido a isso, ressalta-se a importância de novos estudos sobre o fornecimento de N por solos mais corrigidos como os solos de cultivos de hortaliças.

4.3.2 Suprimento pelos resíduos culturais

O suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais foi estimado pelo modelo proposto por Wieder & Lang (1982), que descreve a variação do conteúdo de nutrientes no material em decomposição em função do ciclo da cultura.

$$FR\ X_D = C_X\ .\ e^{(-k0.t)}$$

$$SUP\ X_R = C_X - FR\ X_D$$

Em que:

$FR\ X_D$: fração remanescente do nutriente no material em decomposição depois de transcorrido o tempo t (kg ha^{-1});

C_X: conteúdo do nutriente nos resíduos culturais (kg ha^{-1});

k_0: constante de decomposição do nutriente (Tabela 04);

t: ciclo da cultura (dias);

$SUP\ X_R$: suprimento do nutriente X pelos resíduos culturais (kg ha^{-1}).

O conteúdo de nutriente nos resíduos culturais no momento de implantação da cultura (C_X) foi estimado pelo produto entre a quantidade de matéria seca de resíduos vegetais existente na área e o teor dos nutrientes nesses resíduos.

Tabela 04. Constante de decomposição (k_0) de matéria seca (MS) e de macronutrientes das principais culturas antecessoras ao cultivo.

Cultura	k_0			
	MS	N	P	K
Braquiária	0,006	0,005	0,003	0,050
Crotalaria spectabilis[1]	0,004	0,020	0,015	0,030
Nabo Forrageiro[1]	0,008	0,015	0,015	0,030
Milheto[1]	0,006	0,010	0,020	0,050
Milho e sorgo[2]	0,005	0,010	0,010	0,030
Soja[2]	0,015	0,027	0,027	0,063
Fabaceae	0,010	0,025	0,020	0,045
Poaceae	0,006	0,010	0,010	0,040
Geral	0,008	0,015	0,015	0,040

[1]Constantes obtidas com o manejo realizado durante o florescimento da cultura. [2]Constantes obtidas com os resíduos vegetais após a colheita dos grãos. Adaptado de Padovan et al. (2006), Gama-Rodrigues et al. (2007) e Marcelo et al. (2012) apud Dezordi et al. (2015).

4.5 Recomendação de fertilizantes

A recomendação de fertilizantes para N, P e K foi gerada segundo a filosofia do balanço nutricional. Assim, a recomendação consistiu da diferença entre o requerimento nutricional da cultura (REQ) e o suprimento de nutrientes do solo (SUP).

No caso do P, o FERTICALC Repolho adotou que mesmo quando o suprimento pelo solo seja maior que o requerimento pela cultura, o P inicial não seja inferior a uma faixa de 80 – 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 devido ao maior nível crítico de P apresentado pelo repolho nas fases iniciais após o transplante (Silva, 2016). A escolha da dose para este P de arranque deve ser baseada nos tipos de solo e nos modos de aplicação de P, atribuindo as menores doses para os cultivos em solos mais arenosos e/ou aplicação localizada de P.

Para que não ocorra empobrecimento do solo ao longo dos cultivos fica a escolha do produtor uma adubação após a colheita para restituir a fertilidade original. Para tal o FERTICALC Repolho recomenda aplicar o total exportado da área pela cultura quando SUP maior que REQ, e a diferença entre o aplicado e o exportado quando SUP menor que REQ.

Para os demais nutrientes, o FERTICALC Repolho apresenta somente a exportação e a extração da cultura, sem recomendar a dose a ser aplicada. Assim, as quantidades de Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn aplicadas deverão ser estimadas pelos técnicos responsáveis em função da exportação e da extração da cultura. Adotou-se este critério

por não conhecer a real ER destes elementos pelo repolho e, assim, não ser possível determinar o requerimento destes nutrientes pela cultura.

4.6 Aplicação do sistema

Para comparar as recomendações de N, P e K, simulações foram geradas para as produtividades de 50, 80, 110 e 140 t ha^{-1} de cabeças. As simulações foram realizadas considerando um solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, cujos atributos químicos, na camada de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, estão descritos na Tabela 05.

Tabela 05. Atributos químicos do solo empregado nas simulações de recomendação de fertilizantes pelo FERTICALC Repolho.

Camada	pH(1)	P-rem	P(2)	K^{+}(2)	S(3)	Ca^{2+}(4)	Mg^{2+}(4)	Al^{3+}(4)	H+Al(5)	M.O.	V	m
cm	H_2O	(mg L^{-1})	---- (mg dm^{-3}) ----			------- ($cmol_c$ dm^{-3}) -------				dag dm^{-3}	-- (%) --	
0 - 20	5,7	22,4	6,8	65,0	24,0	4,4	1,0	0,00	3,6	3,1	60,7	0,0
20 - 40	5,7	14,3	2,2	34,0	23,0	3,6	0,9	0,00	3,5	2,5	56,7	0,0

(1)Relação 1:2,5; (2)extrator Mehlich 1; (3)extrator fosfato monocálcico em ácido acético; (4)extrator KCl 1 mol L^{-1}; (5)extrator acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}/pH 7,0.

Considerou-se ainda na área de cultivo a existência de 8 Mg ha^{-1} de resíduos culturais de milho (matéria seca vegetativa – folhas e colmos) com 8,11; 0,52; 21,82; g kg^{-1} de N, P e K, na MS, respectivamente (Setiyono et al., 2010). Para fins de cálculo, considerou-se que o repolho apresentou 75 dias de ciclo após o transplante das mudas para o local de cultivo, e adotou-se 40 cm como PER da cultura.

5. Resultados e Discussão

As simulações realizadas pelo FERTICAL Repolho demonstraram que a produtividade almejada influencia a exportação e a extração dos nutrientes (tabela 06). O K foi o macronutriente mais exportado e extraído, seguido na ordem decrescente por N, Ca, S e P. Para os micronutrientes o Fe foi o mais absorvido, seguido na ordem decrescente por Zn, Mn e Cu.

Para os macronutrientes Ca, Mg e S e para os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn, o FERTICALC Repolho apresentou somente a exportação (quantidade acumulada nas cabeças) e a extração (quantidade acumulada nas cabeças e nas folhas externas) da cultura nas simulações realizadas (Tabela 06). Devido ao desconhecimento da ER da cultura por estes nutrientes não foi possível estimar o subsistema REQ e, assim, gerar a

recomendação de fertilização. Isso reforça a necessidade da realização de estudos com os demais nutrientes para a modelagem completa do FERTICALC Repolho.

Tabela 06. Exportação e extração de macro e micronutrientes geradas pelo FERTICALC Repolho em função da produtividade almejada.

Nutriente	Produtividade almejada (Mg ha^{-1})							
	50	80	110	140	50	80	110	140
	Exportação				Extração			
	kg ha^{-1}				kg ha^{-1}			
N	89	143	197	250	123	197	270	344
P	15	25	34	43	19	30	41	53
K	124	198	272	346	172	275	378	481
Ca	21	34	47	60	82	131	180	229
Mg	8	12	17	21	14	23	31	40
S	19	30	41	52	36	57	79	100
	g ha^{-1}				g ha^{-1}			
Cu	16	26	36	46	54	86	119	151
Fe	297	474	652	830	539	863	1186	1510
Mn	62	99	137	174	144	230	316	402
Zn	66	106	146	185	95	152	209	266

Como a exportação é dependente do CUB quanto maior o valor do CUB mais eficiente é a planta na utilização de determinado nutriente (Deus et al., 2015) e menor será a exportação deste. Plantas que apresentam maior eficiência na utilização de nutrientes são capazes de manter os processos de divisão e expansão celular, mesmo com baixos teores nos tecidos (Kavanova et al., 2006). Os valores de CUB são influenciados pela disponibilidade de nutrientes no solo e em solos mais férteis as plantas reduzem a eficiência de uso dos nutrientes (Aquino et al., 2015; Deus et al., 2015). Em cultivos de olerícolas, as diferenças de CUB podem influenciar a demanda dos nutrientes e deve ser considerado para melhor estimar a demanda dos nutrientes a serem aplicados (Fernandes & Soratto, 2013; Aquino et al., 2015).

Pelos resultados do experimento realizado para determinar o acúmulo de nutrientes em toda a planta de repolho (item 4.2.1.1) foi possível a determinação das constantes para ajuste no requerimento de N, P e K. Sem o uso das constantes o valor de requerimento de N, P (localizado e a lanço) e K para uma produtividade de 40 Mg ha^{-1} foram de 430, 117, 176 e 535 kg ha^{-1}, respectivamente, enquanto que com o uso das constantes estes valores foram de 471, 133, 200 e 595 kg ha^{-1}, respectivamente. As constantes demonstram a necessidade de modelar um sistema de recomendação que considere além do conteúdo de nutrientes na parte aérea da planta, os nutrientes alocados no sistema radicular.

O FERTICALC Repolho simulou o requerimento pela cultura a partir dos valores médios, mas, como há uma faixa de valores (Tabela 02), o sistema possui flexibilidade que permite ao usuário uma escolha baseada em suas condições de cultivo. Além disso, o sistema permite constantes atualizações a partir de novos estudos que gerem resultados condizentes com a realidade dos cultivos no campo.

Nas simulações geradas pelo FERTICALC Repolho não se considerou o suprimento de Ca e Mg via calagem e o suprimento de Ca e S via gessagem por ser desnecessária a aplicação destes corretivos, com base nos resultados da análise química utilizada na simulação (Tabela 05). A modelagem da recomendação necessita do requerimento pela cultura e este só foi calculado para N, P e K, uma vez que apenas para estes nutrientes foi possível determinar a ER.

A recomendação de fertilizantes deve ser gerada de modo a evitar o empobrecimento do solo ao longo dos cultivos. Em condições de elevada fertilidade, o suprimento de nutrientes pelo solo é alto, podendo ser superior ao requerimento da cultura, como observado para as recomendações para P_2O_5 localizado e K_2O na produtividade de 50 Mg ha^{-1} e para K_2O na produtividade de 80 Mg ha^{-1} (tabela 07).

Tabela 07. Recomendações de N, P_2O_5 (com aplicação de P localizado e a lanço) e K_2O, geradas pelo FERTICALC Repolho e pela literatura para diferentes produtividades almejadas.

Nutriente		Produtividade almejada (Mg ha^{-1})				CFSEMG (1999)*
		50	80	110	140	50 (Mg ha^{-1})
N		0[1]	72	173	274	150
P_2O_5	localizado	80[2]	80[2]	109	174	-
P_2O_5	a lanço	160[3]	160[3]	229	327	400
K_2O		0[1]	0[1]	55	209	180

* Valores retirados da literatura considerando a análise de solo (Tabela 05) com disponibilidade baixa de P e média de K. [1] Sem recomendação de adubação. [2] Recomendação de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 como P de arranque. [3] Recomendação de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 como P de arranque.

Para o P, em solos de alta fertilidade deve-se aplicar no mínimo 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 na aplicação localizada e até 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 nas aplicações à lanço de P. Considerando a análise de solo utilizada nessa simulação do FERTICALC Repolho, para as menores produtividades a disponibilidade de P foi considerada alta e neste caso pode-se optar pela aplicação do P para arranque de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 para uma aplicação localizada e de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 para aplicação a lanço. Para as maiores produtividades

o solo apresenta suprimento de P aquém do requerimento da cultura, sendo a dose aplicada a diferença entre requerimento e o suprimento.

Para o N, na produtividade de 50 Mg ha^{-1}, e para o K, nas produtividades de 50 e 80 Mg ha^{-1}, em que o suprimento pelo solo foi maior que o requerimento da planta, não foi recomendada a aplicação dos mesmos. Por isso, recomenda-se que, para preservar a fertilidade do solo sejam realizadas adubações após o cultivo. Essas adubações devem ser baseadas nos valores de exportação pela cultura.

As doses de nutrientes recomendadas pela literatura são diferentes das geradas pelo FERTICALC Repolho (Tabela 07). Para fertilizações na cultura do repolho, a recomendação segundo a CFSEMG (1999) considera apenas a faixa de disponibilidade dos nutrientes no solo, sem julgar a produtividade esperada ou o efeito da cultura anterior. No caso do N, a dose recomendada pela CFSEMG (1999), de 150 kg ha^{-1}, não considera o teor de matéria orgânica do solo ou a contribuição dos resíduos culturais. Em relação às recomendações de P_2O_5 e K_2O, as doses recomendadas de 400 e 180 kg ha^{-1}, respectivamente, foram superiores às geradas pelo FERTICALC Repolho para a produtividade de 50 Mg ha^{-1}.

6. Conclusões

O FERTICALC Repolho é uma ferramenta útil para recomendação de adubação para a cultura do repolho, com a vantagem de as recomendações variarem com a produtividade esperada e o teor de nutrientes disponíveis no solo e nos restos vegetais de cultivos anteriores.

As tabelas oficiais de recomendação se mostraram desatualizadas e evidenciam a necessidade de estudos que forneçam informações atuais e condizentes.

O sistema tem grandes perspectivas para a otimização do uso de fertilizantes na cultura do repolho. No entanto, exige informações mais específicas para seu aprimoramento, como estudos sobre a eficiência de recuperação para Ca, Mg, S e micronutrientes.

7. Referências Bibliográficas

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 68p., 2015.

AQUINO, L. A.; PUATTI, M.; LELIS, M. M.; PEREIRA, P.R.G.; PEREIRA,F.H.F. Produção de biomassa, teor e exportação de macronutrientes em plantas de repolho

em função de doses de nitrogênio e de espaçamentos**. Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1295-1300, 2009.

AQUINO, R.F.B.A.; ASSUNÇÃO, N.S.; AQUINO, L.A.; AQUINO, P.M.; OLIVEIRA, G.A.; CARVALHO, A.M.X. Nutrient demand by the carrot crop is influenced by the cultivar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.541-52, 2015.

CARVALHO, F.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; BAHIA FILHO, A.F.C. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de NPK para a cultura do milho. **Revista Ceres**, v,53, p.211-223, 2006.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; NOWAKI, R.H.D. Accumulation of macronutrients in cv. 'Astrus' cabbage as influenced by nitrogen dose and plant population. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.43, p.305-315, 2016.

CECÍLIO FILHO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v.26, p.64-70, 2013.

CHAVES, E.; PEDRON, F.A.; MELO, V.F.; DALMOLIN, R.S.D. Reserva mineral de K por diferentes métodos em argissolos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1088-1099, 2015.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa. 1999, 359 p.

CORREA, C.V.; CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.D.T.R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2129-2138, 2013.

DEUS, J.A.L.; SOARES, I.; NEVES, J.C.L.; MEDEIROS, J.F.; MIRANDA, F.R. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.498-511, 2015.

DEZORDI, L.R.; AQUINO, L.A.; NOVAIS, R.F.; AQUINO, P.M.; SANTOS, L.P.D. Nutrient recommendation model for carrot crop – Ferticalc Carrot. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1714:22, 2015.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional da produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1421-1428, 2007.

KAVANOVA, A.H.A. Phosphorus deficiency decreases cell division and a elongation in grass leaves. **Plant Physiol**, 141, p.766-75, 2006.

KURIHARA, C.H.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, v.60, p.690-698, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MANNING, D.A.C.; BAPTISTA J.; LIMON, M.S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of the Total Environment**, v.574, p.476-481, 2017.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II – Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1568-1582, 2012.

MOREIRA, M.A.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS, M. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.117-121, 2011.

MUNER, L.H.; RUIZ, H.A.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.S. Disponibilidade de zinco para milho em reposta à localização de fósforo no solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.29-36, 2011.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p.60-61. (Boletim Técnico100)

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1661-1674, 2008.

SETIYONO, T.D.; WALTERS, D.T.; CASSMAN, K.G.; WITT, C.; DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, v.118, p.158-168, 2010.

SILVA, A.P.; ALVAREZ V., V.H.; SOUZA, A.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; DANTAS, J.P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – FERTICALC-Abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1269-1280, 2009.

SILVA, L.O.D. Influência de doses e modos de aplicação de fósforo e determinação da curva de acúmulo de nutrientes na cultura do repolho. Rio Paranaíba, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2016, 53 p. (Dissertação de Mestrado).

SINGH, D.P.; BELOY, J.; MCINERNEY, J.K.; DAY, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota* L.). **Food Chemistry**, v.132, p.1161-1170, 2012.

STANFORD, G.S.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.36, p.465-72, 1972.

TEIXEIRA, P.C.; MESQUITA, I.L.; MACEDO, S.T.; TEIXEIRA, W.G.; LIMA, W.A.A. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.19, p.99-105, 2015.

WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v.63, p.1636-1642, 1982.

CONCLUSÕES GERAIS

O repolho apresenta alta eficiência de uso e de recuperação de K do solo quando em condições de menor disponibilidade de K, com a possibilidade de alcançar altas produtividades com aplicação de baixas doses de K.

Com o incremento das doses de K a cultura acumula grandes quantidades do nutriente na parte aérea, porém sem incremento correspondente na produtividade. Esse acúmulo de K diminui o acúmulo de N-NO_3^-.

A exportação de K é a maior parte do acumulado na parte aérea para as duas épocas de cultivo, o que evidencia ser o repolho uma planta esgotante do solo.

O uso restritivo ou excessivo de K incrementa as atividades de enzimas antioxidantes, principalmente no período de verão, e também aumentam o acúmulo de sólidos solúveis totais para as duas épocas de cultivo.

São mínimas as diferenças entre as fontes K_2SO_4 e KCl sobre a produtividade e índices de eficiência da adubação potássica no repolho. A fonte K_2SO_4 acarreta menor acúmulo de Na^+ e de N-NO_3^- para os dois períodos de cultivo, o que reforça o uso dessa fonte na obtenção de um produto com maior qualidade nutritiva.

O FERTICALC Repolho mostrou-se uma ferramenta útil para recomendação de adubação para a cultura do repolho, com a vantagem de as recomendações variarem com a produtividade esperada e o teor de nutrientes disponíveis no solo e nos restos vegetais de cultivos anteriores.