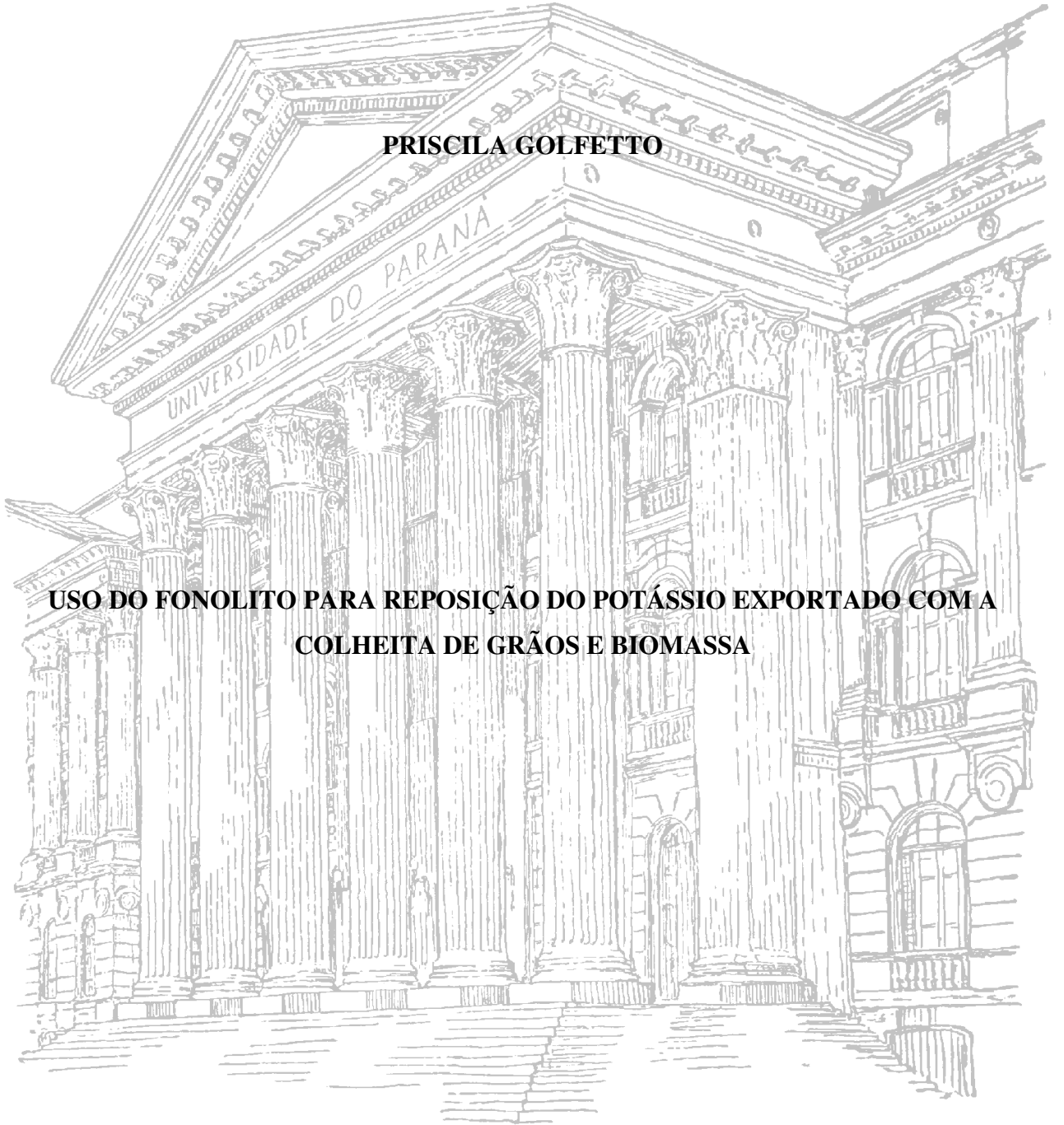


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

PRISCILA GOLFETTO

**USO DO FONOLITO PARA REPOSIÇÃO DO POTÁSSIO EXPORTADO COM A
COLHEITA DE GRÃOS E BIOMASSA**



CURITIBA

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

PRISCILA GOLFETTO

**USO DO FONOLITO PARA REPOSIÇÃO DO POTÁSSIO EXPORTADO COM A
COLHEITA DE GRÃOS E BIOMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Prof. Dr. Luís Cesar Cassol

CURITIBA

2016

G625 Golfetto, Priscila

Uso do fonolito para reposição do potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa. Priscila Golfetto. / Curitiba: 2016.

55 f. il.

Orientador: Volnei Pauletti

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

1. Potássio na agricultura. 2. Solos – Teor de potássio.
3. Fertilizantes potássicos. I. Pauletti, Volnei. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

CDU 631.859



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **PRISCILA GOLFETTO**, intitulada: “**Uso do fonolito para reposição do potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa**”, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela “**APROVAÇÃO**” da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 25 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente

Prof. Dr. Vander de Freitas Melo, 1º. Examinador

Prof. Dr. Daniel Renato Lammel, 2º. Examinador

À minha família, por todo o amor e incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder o dom da vida!

A minha família, por todo o amor, carinho e paciência dedicados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Volnei Pauletti, por ser um amigo, pela paciência no decorrer do projeto, e aos seus grandes ensinamentos.

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar este trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, especialmente ao Profº Vander de Freitas Melo pela grande contribuição.

A todos os técnicos dos laboratórios e funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, especialmente a Denise, Maria, Roberto e a Fabiane por toda ajuda e colaboração no decorrer do trabalho.

A todos os meus amigos e colegas das turmas 2014, 2015, especialmente ao: Marcus, Emanuelle, Felipe e Thiago, por todas as ajudas de campo e laboratório. Pelas conversas e feliz convivência.

A UTFPR câmpus Pato Branco, e ao professor Cassol, pela concessão da área experimental e ajuda no campo, cedendo estagiários.

A CAPES pela concessão da bolsa.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. CAPÍTULO I. FONTES PARA REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO EM ÁREA DE EXPORTAÇÃO DE GRÃOS E BIOMASSA DE TRIGO E SOJA	6
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1.1. INTRODUÇÃO	8
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	9
1.2.1. ÁREA EXPERIMENTAL	9
1.2.2. AVALIAÇÕES	12
1.2.2.1. Produtividade de grãos e biomassa	12
1.2.2.2. Teor e conteúdo de potássio nos grãos e biomassa	12
1.2.2.3. Avaliação da porcentagem de cobertura do solo	13
1.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	13
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
1.3.1. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E BIOMASSA	14
1.3.2. TEOR E CONTEÚDO DE POTÁSSIO NOS GRÃOS E BIOMASSA.....	16
1.3.3. COBERTURA DO SOLO PELA BIOMASSA	20
1.4. CONCLUSÕES	21
1.5. LITERATURA CITADA	21
2. CAPÍTULO II. DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO ATRAVÉS DE ADUBAÇÃO DE REPOSIÇÃO COM FONTE SOLÚVEL E ALTERNATIVA.....	27
RESUMO	27
ABSTRACT	28
2.1. INTRODUÇÃO	29
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.2.1. ÁREA EXPERIMENTAL	30
2.2.2. AVALIAÇÕES	31
2.2.2.1. Avaliação das formas de potássio no solo	31

2.2.2.1.1. Potássio Trocável	31
2.2.2.1.2. Potássio não trocável	32
2.2.2.1.3. Potássio Total	32
2.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
2.3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
2.3.1. FRACIONAMENTO DO K DO SOLO.....	32
2.4. CONCLUSÕES	37
2.5.LITERATURA CITADA	37
CONCLUSÃO GERAL	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS GERAIS	43

USO DO FONOLITO PARA REPOSIÇÃO DO POTÁSSIO EXPORTADO COM A COLHEITA DE GRÃOS E BIOMASSA¹

Autor: Priscila Golfetto

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Prof. Dr. Luis Cesar Cassol

RESUMO GERAL

Devido ao aumento de produtividade das culturas, estas se tornam mais exigentes quanto a nutrição e suplementação através de adubos e corretivos. Em áreas de ocorrência de exportação de grãos e biomassa agrícola, ocorre um decréscimo nos teores de potássio do solo, devido ao esgotamento das reservas do nutriente do solo e a menor ciclagem do K através da decomposição da biomassa. Para se evitar este esgotamento, é necessário repor o K exportado. Em área tradicionalmente adubada com o K, e níveis do nutriente acima do teor crítico para a cultura, pode-se fazer uso de adubações alternativas, como a rochagem. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a eficiência de reposição de K em área de cultivo de trigo e soja, através do uso do fonolito. Assim, este trabalho está composto por dois capítulos, que descrevem (I) a eficiência de fontes para reposição de potássio em área de exportação de grãos e biomassa; e (II) a dinâmica do potássio no solo através de adubação de reposição com fonte solúvel e alternativa. Para isso, um experimento foi instalado no ano de 2014, no município de Pato Branco – PR, onde foram avaliadas três formas de reposição de potássio (sem potássio, cloreto de potássio (KCl) e fonolito), combinadas com quatro porcentagens de retirada de biomassa residual da cultura anterior (0%; 33%; 66% e 100%). Amostras de biomassa residual e grãos do trigo (safra 2014) e soja (safra 2014/2015) foram coletadas, moídas e analisadas para se obter o teor e conteúdo de K em cada parte da planta, adicionalmente foram calculadas a extração e exportação de K pelas culturas, assim como a produtividade de grãos e biomassa. Após a colheita das culturas foi avaliada a taxa de cobertura do solo proporcionada por cada tratamento. No ano de 2015 após a colheita da soja, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, para

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (54 p.) Fevereiro, 2016.

avaliar os teores de K trocável, K não trocável e K total do solo. A adubação com fonolito não proporcionou diferenças no rendimento de grãos e biomassa de trigo e soja se comparados ao KCl, obtendo uma exportação média de K na ordem de 13,44 kg ha⁻¹ para o trigo e 15 kg ha⁻¹ para a soja. Devido ao alto teor inicial de K trocável no solo antes da implantação do experimento, não foi observado diferenças quanto às diferentes adubações nas frações trocável e não trocável do solo, porém a adubação com fonolito aumentou a reserva total de K do solo em comparação as outras formas, variando de 1342,9 a 1551,4 mg kg⁻¹. Com retiradas de até 33% da biomassa, mantém-se uma cobertura de 70% do solo, porém, com menor produtividade do trigo, e uma exportação de K três vezes maior, observando-se um decréscimo linear nos teores de K não trocável do solo, ocorrendo uma passagem em torno de 30% do K desta fração para a fração trocável. Observou-se, que a rocha fonolito não é prontamente disponibilizada as culturas, sendo necessário a utilização das reservas de K, sendo a fração não trocável a principal fonte do nutriente utilizada pelas culturas.

Palavras-chave: Fonolito. K trocável. Biomassa. Exportação.

PHONOLITE USE FOR POTASSIUM REPLACEMENT EXPORTED WITH GRAIN CROP AND BIOMASS ²

Author: Priscila Golfetto

Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co- Advisor: Prof. Dr. Luis Cesar Cassol

GENERAL ABSTRACT

Due to increased crop yields, they become more demanding about nutrition and supplementation through fertilizers and correctives. In areas of occurrence of export of grain and agricultural biomass, there is a decrease in soil potassium levels, due to depletion of soil nutrient reserves and lower cycling K through decomposition of biomass. To avoid this exhaustion, it's necessary to replace K exported. In the area traditionally fertilized with K and nutrient levels above the critical content of a culture may make use of alternative fertilizers such as stonemeal. The aim of this study was to evaluate the K replacement efficiency in wheat growing area and soybeans, through the use of phonolite. This work is composed of two chapters, which describe (i) the efficiency of sources for potassium replacement in the field of Export of grain and biomass; and (II) the dynamics of potassium in the soil by fertilization with soluble replacement and alternative source. For this, an experiment was conducted in 2014 in the city of Pato Branco - PR, where they were evaluated three forms of potassium replacement (without potassium, potassium chloride (KCl) and phonolite), combined with four withdrawal percentages residual biomass from the previous crop (0%, 33%, 66% and 100%). Samples of residual biomass and wheat grain (2014 harvest) and soybean (2014/2015 harvest) were collected, powdered and analyzed to obtain the content and K content in each part of the plant, were calculated further extraction and export K by crops, as well as grain yield and biomass. After harvesting crops evaluated the soil cover rate provided by each treatment. In 2015 after soybean harvest, soil samples were collected at depths of 0-5; 5-10; 10-20 and 20-40 cm, to assess the levels of exchangeable K, K non-exchangeable and K total soil. The fertilization with phonolite provided no differences in

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (54p.) February, 2016.

yield and biomass of wheat and soybeans compared to KCl, obtaining an average export of K in the range of 13.44 kg ha⁻¹ for wheat and 15 kg ha⁻¹ for soybeans . Due to the high initial content of exchangeable K in the soil before the implementation of the experiment, there was no differences in the different fertilizations in the exchangeable fraction and non-exchangeable soil, but the fertilization with phonolite increased total reserves of soil K compared to other forms, ranging from 1342.9 to 1551.4 mg kg⁻¹. With withdrawals of up to 33% biomass, remains a 70% ground cover, but with lower productivity of wheat and export K three times, observing a linear decrease of K non-exchangeable the ground, causing a passage around 30% of this fraction K for the exchangeable fraction. It was observed that the phonolite rock is not readily available to crops, requiring the use of reserves K, exchangeable fraction being not the main source of the nutrient utilized by the crops.

Key-words: Phonolite. K exchangeable. Biomass. Export.

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é uma das principais fontes econômicas do Brasil, devido principalmente ao extenso território e condições climáticas favoráveis. No entanto, o país apresenta em geral, solos ácidos e deficientes em nutrientes, resultado do rápido intemperismo de rochas e lixiviação de nutrientes, proporcionada pelo clima tropical. Assim, para torná-los produtivos, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes e corretivos. Segundo Martins et al. (2008) o Brasil é classificado como o segundo maior importador de adubos potássicos, importando em torno de 90% do potássio (K) consumido, principalmente na forma de cloreto de potássio (KCl) (Resende et al., 2006). Devido à grande demanda é necessário buscar fontes alternativas de suprimento de K, a fim de diminuir a dependência externa, e buscar fontes mais econômicas e sustentáveis.

A técnica de rochagem consiste na aplicação direta de pó de rochas na agricultura, que de forma gradual liberam nutrientes para o solo. Estas rochas estão distribuídas por todo o território nacional, pois o Brasil possui grandes reservas de minerais silicáticos de potássio (Theodoro, 2000), porém estes possuem baixa solubilidade (Harley & Gilkes, 2000). Muitas vezes é necessário passar por algum processo que torne mais eficiente a liberação do K (Martins et al., 2008; 2010). Osterroht (2003) cita que solos tropicais, experimentos de longa duração e granulometria fina do material utilizado, são os fatores ideais para se avaliar a eficiência de pó de rochas.

A composição mineralógica do material, e das formas de K no solo, é importante para o melhor entendimento da fixação e liberação do K do pó de rocha para o solo e as plantas (Curi et al., 2005). As rochas fornecedoras de K, contem minerais como micas e feldspatos, porém elas apresentam uma limitada utilização, devido à reduzida eficiência que possuem, em função do baixo teor de K solúvel (Ballesterero et al., 1996; Piza et al., 2011).

O fonolito é uma rocha de origem vulcânica e sua mineralogia é composta por feldspato potássico, feldspato plagioclásios e feldspatóides. O teor total de potássio, cerca de 8% de K_2O , permite a utilização desta rocha como fonte alternativa de liberação lenta de potássio (Teixeira et al., 2015). Pádua (2012) observou que após 400 dias da aplicação de fonolito, o teor de K no solo, se manteve alto, devido a sua liberação gradual.

Para as plantas o K é absorvido na forma de K^+ (Marschner, 2012), com o teor variando de 1 a 5% da massa da planta. O K é um nutriente essencial, pois exerce funções de resistência a doenças, atua em processos metabólicos, regulador osmótico, formação e peso nos grãos, é responsável pela cor e açúcar em frutos, e resistência a toxidez por amônio

(Furlani, 2004; Zörb et al., 2014). Com a retirada de biomassa das áreas agrícolas ocorre a remoção de nutrientes que precisam ser repostos com a adição de fertilizantes, principalmente o potássio (Nguyen et al., 2013), pois o suprimento de K através do material de origem, não é suficiente para alcançar altas produções. O K é liberado rapidamente através da decomposição da biomassa, podendo-se considerar em 100% a reciclagem do K, omitindo-se perdas por lixiviação (Borkert et al., 2003; Torres & Pereira, 2008).

No solo o potássio é encontrado como solúvel, trocável, não trocável e estrutural. O K solúvel está presente na solução do solo, já a forma trocável está retida eletrostaticamente pelos colóides do solo, porém as duas frações são disponíveis às plantas. O K não trocável se comporta como uma reserva, a fim de suprir o K trocável, estando o K retido entre as camadas de argilas filossilicatadas 2:1 com alta densidade de carga superficial. Já na forma estrutural o K está preso dentro da estrutura do mineral, resultando em uma reserva a longo prazo (Martins, 2002). Uma grande parte do K total do solo provém de micas e feldspatos (Melo et al., 2003; Melo et al., 2005).

Segundo Werle et al. (2008) a disponibilidade de K pelo solo irá depender dos minerais primários e secundários do solo, a aplicação de fertilizantes, CTC do solo e a ciclagem do K pelas plantas. Assim o uso da rochagem poderia ser empregado como fontes de liberação gradual de nutrientes, principalmente de K, o que é uma característica desejável quando se considera um efeito mais duradouro e o menor risco de perdas, comparativamente aos adubos de alta solubilidade (Cola e Simão, 2012).

Em vista do exposto o trabalho foi conduzido com o objetivo de se determinar a eficiência de utilização do fonolito como adubação potássica de reposição em área de alta fertilidade e exportação do nutriente através da colheita de grãos e biomassa agrícola e sua influência sobre as reservas de K do solo.

LITERATURA CITADA

BALLESTERO, S. D.; JORGE, J. A.; NICOLINO, C. A. C.; FILLIETTAZ, E. V. V.; ONO, R. K. Efeito da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas e potássicas. *Biociência*, 2:15-22, 1996.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R. & JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:143-153, 2003.

COLA, G.P.A. & SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7: 15-27, 2012.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2005.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. *Fisiologia vegetal*. 1 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452p. 2004.

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 11–36, 2000.

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 2012. 672p.

MARTINS, R. Contribuição da reserva de potássio na nutrição e produção do trigo em solos do município de Castro, Estado do Paraná. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFPR, Paraná, 2002.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: __. *Rochas e minerais industriais*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. 205-223.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N. & LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:807-819, 2003.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; RIBEIRO, A.N. & MASCHIO, P.A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:533-545, 2005.

NGUYEN, T.L.T; HERMANSEN, J.E. & MOGENSEN, L. Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark. *Applied Energy*, 104: 633-641, 2013.

OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? In: Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. *Revista Agroecologia Hoje*, 2003.

PÁDUA, E.J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Lavras: UFLA, 2012.

PIZA, P.A.T.; BERTOLINO, L.C.; SILVA, A.A.S.; SAMPAIO, J.A. & LUZ, A.B. Verdete da região de Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. *Geociências*, 30:345-356, 2011.

RESENDE, A. V. de; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G. de; SENA, M. C. de; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “In Natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*. 9: 19-42, 2006.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. *HOLOS*, 5: 52-64, 2015.

THEODORO, S. C. H. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado.

TORRES, J.L.R. & PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1609-1618, 2008.

ZÖRB, C.; SENBAYRAMB, M. & PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171: 656–669, 2014.

WERLE, R.; GARCIA, R.A. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2297-2305, 2008.

CAPÍTULO I. FONTES PARA REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO EM ÁREA DE EXPORTAÇÃO DE GRÃOS E BIOMASSA DE TRIGO E SOJA.

RESUMO

Áreas agrícolas com teores suficientes de potássio (K) no solo, não são dependentes de adubos com disponibilização imediata do nutriente, para suprimento inicial da cultura, desde que seja realizado um manejo correto de adubação e dos resíduos da cultura anterior, resultando em uma boa cobertura de solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de diferentes fontes potássicas na reposição de K exportado com a colheita de grãos e biomassa. Para isso implantou-se um experimento no município de Pato Branco (PR), onde foram avaliadas três formas de reposição de potássio (sem potássio, cloreto de potássio (KCl) e fonolito), combinadas com quatro porcentagens de retirada de biomassa residual (0%; 33%; 66% e 100%). Amostras de biomassa residual e grãos do trigo (safra 2014) e soja (safra 2014/2015) foram coletadas, moídas e analisadas para se obter o teor e conteúdo de K em cada parte da planta. Adicionalmente foram calculadas a extração e exportação de K pelas culturas, assim como a produtividade de grãos e biomassa. Após a colheita das culturas foi avaliada a taxa de cobertura do solo proporcionada por cada tratamento. A adubação com fonolito não proporcionou diferenças no rendimento de grãos e biomassa de trigo e soja se comparados ao KCl, obtendo uma exportação média de K na ordem de 13,44 kg ha⁻¹ para o trigo e 15 kg ha⁻¹ para a soja. Com retiradas de até 33% da biomassa, mantém-se uma cobertura de 70% do solo, porém, com as retiradas ocorreu uma menor produtividade do trigo, e três vezes mais K exportado para o trigo e duas vezes para a soja.

Palavras chave: Cobertura do solo. Extração. Exportação. Biomassa. Adubação de reposição.

CHAPTER I. SOURCES FOR POTASSIUM REPLACEMENT GRAIN EXPORT AREA AND BIOMASS WHEAT AND SOYBEAN.

ABSTRACT

Agricultural areas with enough potassium (K) in the soil, are not dependent on fertilizers with immediate availability of nutrient for initial supply of culture, provided it is carried out a correct management of fertilization and plant residues, resulting in a good ground cover. The objective of this study was to determine the efficiency of different sources in potassium spare K exported with the harvest of grain and biomass. For it was implemented an experiment in the city of Pato Branco (PR), where three forms of potassium replacement were evaluated (without potassium, potassium chloride (KCl) and phonolite), combined with four residual biomass removal percentages (0 %, 33%, 66% and 100%). Samples of residual biomass and wheat grain (harvest year 2014) and soybean (harvest year 2014/2015) were collected, powdered and analyzed to obtain the content and K content in each part of the plant. Were calculated further extraction and export K by crops, as well as grain yield and biomass. After harvesting crops evaluated the soil cover rate provided by each treatment. The fertilization with phonolite provided no differences in yield and biomass of wheat and soybeans compared to KCl, obtaining an average export of K in the range of 13,44 kg ha⁻¹ for wheat and 15 kg ha⁻¹ for soybeans . With withdrawals up to 33% of the biomass is maintained a coverage of 70% of the soil, though, was withdrawn with a lower yield of wheat and three times K exported to wheat and twice for soybeans.

Keywords: Ground cover. Extraction. Export. Biomass. Replacement fertilization.

1.1. INTRODUÇÃO

O trigo e a soja se destacam no Brasil e no Paraná, devido sua grande expressão em área cultivada. Na safra 2014/2015 foram semeados 1388,5 mil hectares de trigo e 5224,8 mil hectares de soja no estado do Paraná (CONAB, 2015), gerando assim, grandes quantidades de resíduos. Estes resíduos apresentam potencial de uso na produção de energia, com poder calorífico semelhante ao de espécies florestais energéticas (Ramos e Paula et al., 2011) e como cobertura ao solo, promovendo a ciclagem de nutrientes.

Com a colheita da biomassa residual agrícola que ficaria no local de cultivo, caso a biomassa seja utilizada para a produção de energia, ocorreriam menores adições de biomassa ao solo. Esta é importante para aumentar a proteção contra erosão, promover incrementos na infiltração e retenção de água no solo, manter a temperatura, reduzir a evaporação da água do solo e servir como substrato a fauna do solo (Powers et al., 2011; Laird & Chang, 2013). Porém altas concentrações de resíduos na superfície do solo podem prejudicar a germinação de sementes e favorecer o aparecimento de pragas e doenças (Leal et al., 2013). Powers et al., (2011), relatam que retiradas parciais de biomassa não apresentam grandes efeitos sobre a qualidade do solo, e a quantidade que se pode retirar varia em função do tipo de solo, manejo adotado e clima (Blanco-Canqui, 2013).

A remoção da biomassa das áreas agrícolas acarreta em remoção de nutrientes que precisam ser repostos com a adição de fertilizantes (Nguyen et al., 2013), para o completo desenvolvimento das espécies vegetais. Entre os nutrientes requeridos em maiores quantidades pelas plantas está o potássio (K). Algumas funções do K na planta são a maior resistência a doenças, regulador osmótico, favorece a formação e peso dos grãos, é responsável pela cor e açúcar em frutos, e resistência a toxidez por amônio (Zörb et al., 2014).

Para a reposição de K através de fertilizantes, o KCl é o principal fertilizante utilizado na agricultura, devido sua grande concentração de K_2O solúvel em água (58% a 62%) (Resende et al., 2006). Mais recentemente adubações alternativas tem sido motivo de pesquisas, como a rochagem, que consiste no uso de pó de rochas como suplementação nutricional às plantas, reduzindo problemas de lixiviação, pois libera lentamente os nutrientes e também promove um maior aproveitamento em longo prazo da adubação pelas culturas (Melamed et al., 2007). Entre as rochas com alto potencial de uso está o fonolito, que é uma rocha silicatada que contém em torno de 8% de K_2O total, além de disponibilizar outros elementos como cálcio, magnésio, manganês, ferro, alumínio e silício (Cortes et al., 2010).

Segundo Harley & Gilkes, 2000, a maior desvantagem no uso de pó de rochas é sua lenta dissolução, porém em solos tropicais, devido à umidade e altas temperaturas, ocorre uma maior lixiviação de nutrientes, tornando os solos mais pobres e com uma maior receptividade à adição do nutriente proveniente do pó de rochas (Straaten, 2006).

Em áreas com alta fertilidade natural ou construída com uso de fertilizantes e corretivos, ou seja, com níveis adequados de nutrientes, o uso de fertilizantes menos solúveis pode apresentar maior eficiência, em função da menor dependência da adubação para fornecimento dos nutrientes para as plantas a curto prazo e a disponibilidade do nutriente de forma gradual, ao longo dos cultivos sucessivos.

O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de diferentes fontes na reposição de potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa, em área agrícola tradicionalmente adubada com este nutriente.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi implantado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Pato Branco, região sudoeste do Estado do Paraná, localizado nas coordenadas 26°16'36" de Latitude Sul e 52°41'20" de Longitude Oeste. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico (Embrapa, 2013), com as características químicas apresentadas na Tabela 1. O clima é do tipo subtropical úmido (Cfa) segundo Köppen, com altitude média de 760 m, com a precipitação e temperatura durante o período do experimento apresentados na Figura 1.

TABELA 1. Análise química do Latossolo antes da implantação do experimento na profundidade de 0 a 20 cm.

Características	Valor
pH (CaCl ₂)	5,10
MO (g dm ⁻³)	48,25
P (mg dm ⁻³)	19,93
K (cmol _c dm ⁻³)	0,23
Ca (cmol _c dm ⁻³)	4,78
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,80
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,97
Cu (mg dm ⁻³)	2,43
Fe (mg dm ⁻³)	25,50
Mn (mg dm ⁻³)	35,74
Zn (mg dm ⁻³)	1,27
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,81
CTC ef. (cmol _c dm ⁻³)	7,81
V (%)	66,30
m (%)	0,00
Argila (%)	77,5
Silte (%)	2,0
Areia (%)	20,5

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, conduzido em esquema fatorial 3x4, com três formas de reposição de potássio (sem aplicação de potássio, reposição com cloreto de potássio - KCl, reposição com fonolito), combinados com 4 porcentagens de retirada da biomassa residual (0 %, 33 %, 66 % e 100 %) com três repetições. Totalizando 36 parcelas de 6 X 7 m (42 m²). A dose aplicada para a reposição do K foi equivalente a quantidade exportada pela retirada da biomassa e de grãos de cada tratamento. A adubação potássica foi aplicada a lanço em superfície antes da semeadura das culturas de trigo e soja. A adubação nitrogenada foi realizada apenas para o trigo em cobertura, na fase de perfilhamento, a dose utilizada foi de 80 kg ha⁻¹ na forma de uréia. Devido o alto teor de fósforo no solo, não foi realizada a adubação fosfatada para as culturas. Em todos os cultivos foi adotado o sistema de plantio direto com semeadora adubadora tratorizada.

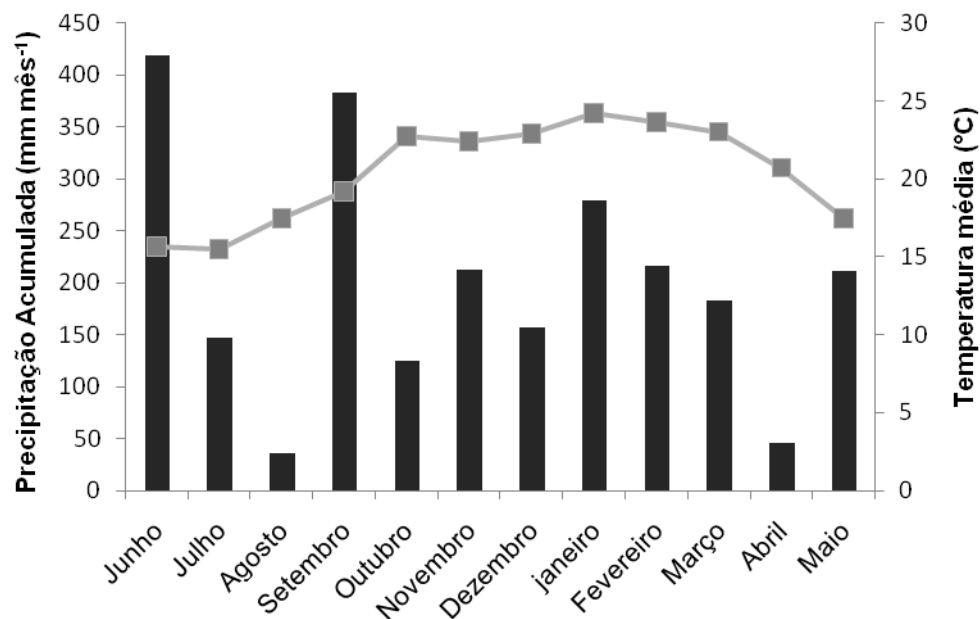


FIGURA 1. Precipitação mensal acumulada (mm) e temperatura média mensal (°C), ocorrida no município de Pato Branco-PR entre junho de 2014 e maio de 2015. Fonte: IAPAR (2015).

O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2014 – trigo (cultivar Quartz) com semeadura em 07 de julho e colheita em 13 de novembro, e na safra de verão de 2014/2015 – soja (cultivar BMX Potência) com semeadura em 12 de dezembro e colheita em 24 de abril.

Antes da implantação do experimento, na safra 2013/14, foi cultivado soja em toda a área experimental, sendo o experimento implantado após a colheita da soja (safra 2013/14),

com a retirada de biomassa desta cultura em quantidade equivalente aos tratamentos (0%, 33%, 66%, 100%) para posterior semeadura do trigo. Com isso, as doses de potássio aplicadas na adubação do trigo foram calculadas de acordo com a quantidade média exportada deste nutriente pela retirada da biomassa e de grãos de soja na safra 2013/14, de acordo com cada tratamento, e para os cálculos da reposição considerou-se a quantidade de K na biomassa e nos grãos presente na literatura (Pauletti, 2004). Este mesmo procedimento foi realizado para definição da dose de reposição de potássio para a soja (safra 2014/15), no entanto, considerando os teores de K obtidos com análise da biomassa do trigo.

1.2.2. AVALIAÇÕES

1.2.2.1. Produtividade de grãos e biomassa

A colheita do trigo e da soja foi realizada na maturação fisiológica. A determinação da produtividade de grãos e de biomassa foi realizada colhendo-se toda a parcela (42m²) com o auxílio de roçadora manual, cortando-se as plantas a aproximadamente dois centímetros do solo (Figura 2a). Após, foi realizada trilha com trilhadora estacionária, separando-se os grãos da biomassa que foi recolhida com auxílio de big-bags (Figura 2b).

Os grãos trilhados foram pesados em balança digital e seu peso anotado, sendo retirada e pesada uma amostra de mais ou menos 300 gramas de cada parcela, que foram colocadas em sacos de papel para posterior secagem. A biomassa que passava pela trilhadeira era recolhida em um bag de rede plástica, pesada em balança de gancho, seu peso anotado e calculada a quantidade em porcentagem do produzido (0%, 33%, 66%, 100%) a ser devolvida à respectiva parcela onde era espalhada uniformemente (Figura 2c,d,e).

De cada parcela foi recolhida e pesada uma amostra de biomassa que foi colocada em sacos de papel para posterior secagem. As amostras de grãos e biomassa foram deixadas por três dias em estufa a 60°C e seu peso anotado para determinação da produtividade de massa de matéria seca por hectare. A produtividade de grãos foi corrigida para 13% de umidade.

1.2.2.2. Teor e conteúdo de potássio nos grãos e biomassa

Nas amostras de grãos e biomassa de trigo e soja utilizadas para a determinação da umidade, foi determinado o teor de potássio. Para isso, as amostras foram moídas em moinho de facas modelo Willye, e posteriormente utilizada a metodologia descrita por Martins &

Reissmann (2007) com extração em ácido clorídrico (HCl) e determinação em fotômetro de chama.

O conteúdo de potássio foi calculado através da multiplicação do teor deste nutriente na biomassa e nos grãos por sua respectiva produtividade. Para o cálculo da dose de reposição de potássio, foi considerada a soma dos conteúdos na biomassa retirada da parcela de acordo com os tratamentos e os grãos.

1.2.2.3. Avaliação da porcentagem de cobertura do solo

Após a colheita, pesagem e retorno da biomassa às parcelas de acordo com os tratamentos, foi avaliada a cobertura do solo pelo método do quadrado trançado, adaptado de Veiga & Wildner (1993). A avaliação ocorreu em torno de 15 dias após a colheita de cada cultura.

Foi utilizado um quadrado de madeira (1m X 1m) com linhas trançadas a cada 10 centímetros na vertical e horizontal formando 100 pontos de intercessões das linhas. Este quadrado foi alocado duas vezes ao acaso dentro das parcelas. Em cada ponto de intercessão das linhas se determinou a presença ou não de cobertura no solo, e os dados foram transformados em porcentagem de área coberta.

1.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias e posterior análise de variância – ANOVA para os dados. Em caso de significância para as formas de adubação potássica foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os níveis de retirada de biomassa foram submetidos à análise de regressão. Para a área de cobertura do solo não se realizou análise estatística. As análises foram realizadas pelo software estatístico Assistat 7.7 Beta, e utilizado o editor gráfico SigmaPlot 12.0.



FIGURA 2. Corte e amontoa(a); trilhagem (b); pesagem da biomassa (c); reposição das porcentagens de biomassa (d); área antes da semeadura (e); semeadura após a adubação (f).

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E BIOMASSA

Não foi observada interação entre as formas de reposição de K e as retiradas de biomassa, para a produtividade de grãos e de biomassa, tanto no trigo como na soja.

Para a cultura do trigo, retiradas de 100% dos resíduos da cultura anterior, promoveram aumentos na produção de biomassa (Figura 3a). A rotação de culturas com

gramíneas e leguminosas aumenta a cobertura do solo e conseqüentemente aumenta a disponibilidade de nutrientes para a cultura através da ciclagem. Ferreira (2010) relata uma maior disponibilidade de nitrogênio para o trigo, quando este foi cultivado após a soja em sistema de plantio direto, devido à relação C/N baixa que a soja possui, apresentando uma rápida decomposição e também devido a seu sistema e fixação biológica de nitrogênio. O trigo possui capacidade de preencher falhas de semeadura através da emissão de perfilhos, mas nem sempre os perfilhos são férteis (Barbieri et al., 2013), assim com maiores retiradas de biomassa pode ter ocorrido uma maior produção deste tipo de perfilhos, o que pode justificar o acréscimo somente de produtividade de biomassa. Devido a alta mobilidade do nitrogênio, é estimado em 60 a 70% a reciclagem deste nutriente pela biomassa (Mendonça et al., 2015), promovendo uma maior massa à cultura subsequente.

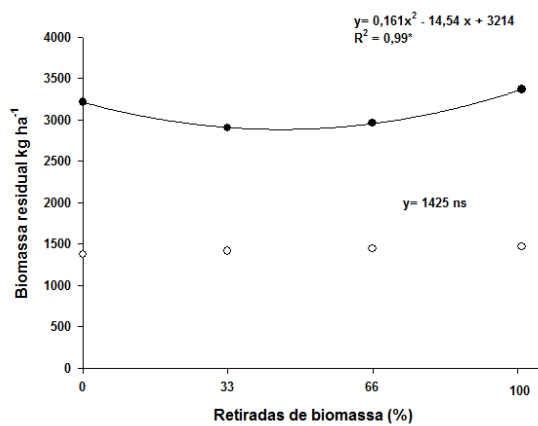
As formas de reposição de K não alteraram as produtividades do trigo, que foi em média de 3114 kg ha⁻¹ de biomassa e 2009 kg ha⁻¹ de grãos. Essa falta de resposta à aplicação de K, possivelmente se deve ao teor disponível deste nutriente no solo estar acima de 60 mg dm⁻³, onde não é encontrada resposta a aplicação de K (Massaroto et al., 2007).

Para a soja tanto as formas de reposição de K, como as retiradas de biomassa residual não influenciaram na produção de biomassa, obtendo uma média de produtividade de 1425 kg ha⁻¹ (Figura 3a). A ausência de resposta pode ser explicada devido ao teor de K disponível no solo já se encontrar em nível médio, que mesmo com a retirada de toda a biomassa das duas culturas anteriores, foi suficiente para atender a demanda da cultura. Deve-se considerar que a biomassa das folhas não foi avaliada, uma vez que na época da colheita já haviam se despreendido das hastes. Níveis médios de K no solo, em plantio direto, têm sido suficientes para manter a produtividade da soja (Batistella Filho et al., 2013). Quanto à produtividade de grãos de soja, não foi encontrada diferenças significativas entre os tratamentos. A produtividade média foi de 577 kg ha⁻¹ (Figura 3b). Esta baixa produção é decorrente de um problema no manejo fitossanitário da cultura, que permitiu o aparecimento da ferrugem. Esta doença causa grandes danos à cultura da soja, promovendo a queda prematura das folhas e resultando em prejuízos diretos a formação dos grãos (Soares et al., 2004).

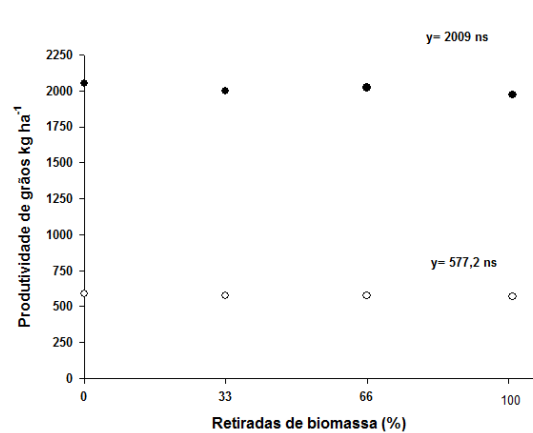
A população de plantas aumentou linearmente com o aumento das porcentagens de retirada de biomassa residual (Figura 3c), correspondendo a um acréscimo de 26,1% no tratamento com 100% de retirada. Porém, este aumento na população de plantas não resultou em aumento na produtividade de biomassa. Segundo Vazquez et al. (2008), problemas de germinação de plantas de soja acarretando em uma menor população de plantas, muitas vezes

não influenciam no rendimento final da cultura, pois ela possui uma capacidade de alteração morfológica, promovendo uma adaptação eficiente da cultura na área, citada por alguns autores como a capacidade de compensação (Gaudêncio et al., 1990; Peixoto et al., 2000; Vazquez et al., 2008; Komatsu et al., 2010). Este fator é decorrente de altas concentrações de resíduos no solo, onde estes afetam a germinação de sementes e levam ao aparecimento de pragas e doenças (Leal et al., 2013).

a)



b)



c)

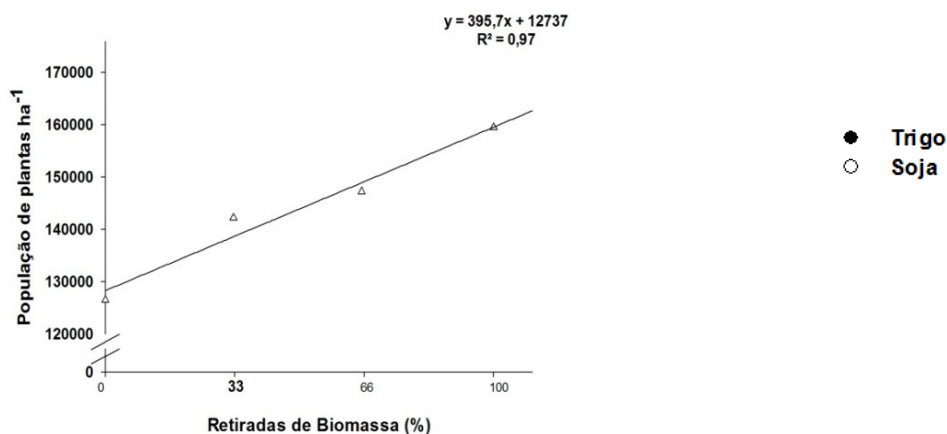


FIGURA 3. Produtividade de biomassa residual (a) e de grãos (b) de trigo e soja, e população de plantas de soja (c) em função de retiradas de biomassa residual da cultura anterior.

2.4.2. TEOR E CONTEÚDO DE POTÁSSIO NOS GRÃOS E BIOMASSA

O teor de K na biomassa residual e grãos das culturas não sofreu influência das formas de reposição (Tabela 2), apresentando uma média de $4,03 \text{ g kg}^{-1}$ e $3,53 \text{ g kg}^{-1}$ para o

trigo e $7,29 \text{ g kg}^{-1}$ e $16,17 \text{ g kg}^{-1}$ para a soja respectivamente. Isso confirma que o teor de K no solo observado no início do experimento (Tabela 1) ainda foi suficiente para suprir as plantas mesmo sem aplicação deste nutriente.

As retiradas de biomassa promoveram um decréscimo no teor de K nos grãos de trigo, o mesmo não ocorreu para soja e para o teor na biomassa de ambas as culturas (Figura 4a, b). Os baixos valores encontrados se comparados a outras referências, são em decorrência do período analisado em que as plantas já se encontravam na maturação, porém as referências tomam como base o período de maior absorção pela cultura que se encontra próximo ao período de florescimento (Oliveira et al., 2001; SBCS, 2004). Os baixos valores encontrados também podem ser decorrentes de perdas de K pela planta por lixiviação, no caso da biomassa (Marschner, 2012; Lacerda et al., 2015).

Para o conteúdo de K nos grãos e biomassa de trigo não foi observado diferença entre os tratamentos (Figura 4c, d), possivelmente devido ao efeito de diluição considerando a produção de massa seca (Jarrel & Beverly, 1981; Júnior et al., 2014). Já para a soja ocorreu um aumento no conteúdo de K na biomassa das plantas que receberam adubação potássica, se comparados a testemunha, resultado de um pequeno aumento não significativo, no teor e na produtividade de biomassa residual (Tabela 2). Porém com a aplicação de fertilizantes Zhang et al., (2011) encontraram aumentos nos teores de potássio na biomassa das plantas, mas sem aumento do nutriente nos grãos.

A extração (biomassa + grãos) média de K foi de $19,68 \text{ kg ha}^{-1}$ para o trigo e $19,88 \text{ kg ha}^{-1}$ para a soja. Segundo Pauletti (2004) a soja extrai em média $32,1 \text{ kg}$ de K para a produção de 1 tonelada de grãos.

A exportação média de K pelas culturas quanto às formas de reposição foi de $13,44 \text{ kg ha}^{-1}$ para o trigo e 15 kg ha^{-1} para a soja respectivamente (Tabela 2). A não retirada de biomassa residual agrícola da área, apresentou uma exportação de K em média, três vezes menor para o trigo e duas vezes para a soja (Figura 4f), isso se deve ao K ser um nutriente em maior quantidade no tecido das plantas, é liberado total e rapidamente através da decomposição da biomassa, podendo-se considerar em 100% a reciclagem do K da biomassa, omitindo-se perdas por lixiviação (Borkert et al., 2003; Torres & Pereira, 2008).

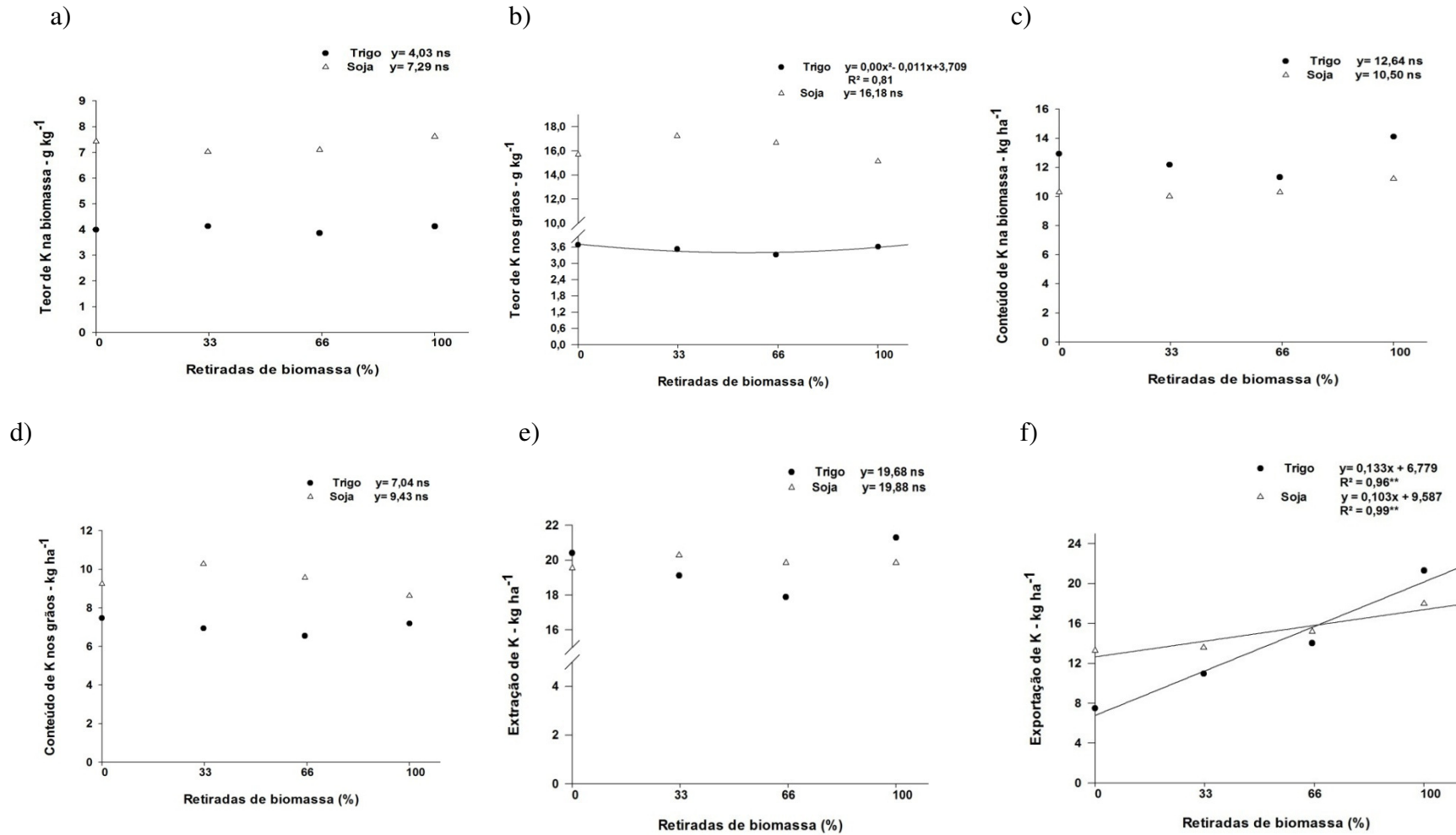


FIGURA 4. Teor (a, b), conteúdo (c, d) de K na biomassa e grãos. Extração e exportação (e, f) de K de trigo e soja, em função de quatro retiradas de biomassa residual da cultura anterior (0%, 33%, 66% e 100%).

TABELA 2. Massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade de grãos, teor, conteúdo, extração e exportação (biomassa+grãos) de potássio pelas culturas de trigo e soja submetidas a três formas de reposição de K (Sem K; Cloreto de potássio (KCl) e Fonolito). Médias de três repetições.

Formas de Reposição	Trigo							
	MSPA	Grãos	Teor biomassa	Teor grãos	Conteúdo biomassa	Conteúdo grãos	Extração	Exportação
	----- Kg ha ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----		----- Kg ha ⁻¹ -----			
Sem K	3152,7 a	1971,4 a	4,1 a	3,5 a	13,1 a	6,9 a	19,9 a	13,2 a
KCl	3071,4 a	2008,8 a	3,8 a	3,5 a	11,8 a	7,0 a	18,8 a	13,1 a
Fonolito	3117,0 a	2047,7 a	4,1 a	3,6 a	13,0 a	7,2 a	20,2 a	14,0 a
Soja								
Sem K	1380,2 a	587,3 a	6,7 a	16,8 a	9,16 b	9,8 a	19,0 a	14,1 a
KCl	1401,3 a	555,3 a	7,5 a	15,2 a	10,5 ab	8,5 a	19,0 a	14,2 a
Fonolito	1494,2 a	589,0 a	7,7 a	16,4 a	11,6 a	9,9 a	21,6 a	15,7 a

Valores seguidos de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente (Tukey; p<0,05)

2.4.3. COBERTURA DO SOLO PELA BIOMASSA

Foram observadas elevadas porcentagens de cobertura do solo, até as retiradas de 33% da biomassa residual para o trigo, ocorrendo um decréscimo acentuado com maiores retiradas (Tabela 3). O mesmo não ocorreu para a soja, que manteve valores similares e superiores a 72% de cobertura do solo devido sua menor produção de massa seca e queda das folhas antes da colheita.

TABELA 3. Porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelas porcentagens de retirada de biomassa das culturas de trigo e soja.

Cultura	Porcentagens de retirada de biomassa			
	0%	33%	66%	100%
Trigo*	76	73	38	30
Soja*	78	74	73	72

*Não foi realizada análise estatística.

Além dos aspectos de maior cobertura do solo logo após a colheita, o maior tempo de durabilidade da biomassa depositada sobre o solo deve ser considerado no manejo da rotação de culturas. A maior relação C:N dos resíduos de gramíneas resulta em uma menor taxa de decomposição, o que prolonga o tempo de permanência dos resíduos na superfície do solo (Costa et al., 2015).

O manejo de cobertura do solo é importante também para se avaliar a ciclagem de nutrientes no sistema. Costa et al. (2015) verificaram que o K é o nutriente de maior acúmulo seguido pelo nitrogênio (N) em plantas de cobertura do solo. Com 80% e 90% do K de resíduos vegetais de gramíneas e leguminosas sendo ciclados.

Os resíduos do trigo como cultura antecessora a soja contribuiu para manter a porcentagem de cobertura do solo com valores constantes entre os diferentes tratamentos de retirada de biomassa. A cobertura residual pelas culturas apresentou uma porcentagem de cobertura do solo superior a 70%, concordando com Alvarenga et al. (2001), que cita que em sistemas de semeadura direta o mínimo de cobertura da superfície do solo com resíduos é de 50%. Contudo, para o trigo com retirada de biomassa residual do solo acima de 66%, a porcentagem média de cobertura proporcionada manteve-se próxima a 35% que é o valor definido por Sodré Filho et al. (2004), como mínimo de cobertura para manejos conservacionistas. A boa cobertura ao solo até o desenvolvimento e fechamento das culturas,

favorece a proteção contra erosão, promove incrementos na infiltração e retenção de água no solo, reduz a evaporação da água do solo, mantém a temperatura e serve como substrato a fauna do solo (Powers et al., 2011; Laird & Chang, 2013).

2.5. CONCLUSÕES

- 1) Em solo com fertilidade construída, a reposição de K com fonolito em um primeiro ano de cultivo não difere da fonte solúvel KCl em rendimento de grãos e biomassa de trigo e soja.
- 2) A retirada de toda a biomassa do cultivo anterior proporcionou maior rendimento de biomassa do trigo.
- 3) Retiradas de 100% da biomassa residual resultaram em uma exportação de K três vezes maior para o trigo e duas vezes para a soja.

2.6. LITERATURA CITADA

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C. & SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, 22:26-36, 2001.

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R. & CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. Ciência Agronômica, 44:724-731, 2013.

BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M.E.; VIEIRA, R.D.; CRUZ, M.C.P.da.; CENTURION, M.A.P.da C.; SILVESTRE, T.de B. & RUIZ, J.G.C.L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 48: 783-790, 2013.

BLANCO-CANQUI, H. Crop Residue Removal for Bioenergy Reduces Soil Carbon Pools: How Can We Offset Carbon Losses?. Bioenerg. Res., 6: 358–371, 2013.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R. & JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38:143-153, 2003.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: 11º Levantamento de Grãos, safra 2014/2015. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_18_10_30_18_boletim_graos_a_gosto_2015.pdf>. Acesso em: 17. Nov. 2015.

CORTES, G. P. ; FERREIRA, F. C.; CORTES, G.P. ; RAMPAZZO, L. & FERREIRA, L.C. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Rochagen, 1, Brasília, 2010. Anais. Planaltina, Embrapa Cerrado, 2010, p. 75-83.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. de A.; COSTA, B.S.; PARIZ, C.M. & TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. Bioscience Journal, 31:818-829, 2015.

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

FERREIRA, W.S. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO. 2010. 67f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). FESURV, Goiás, 2010.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. Agrometeorologia – dados diários de Pato Branco. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1865>>. Acesso em 17. Dez. 2015.

GAUDÊNCIO, C.; GEZZIERO, D.L.P.; GERCIE, A. & WOBETCI, C. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro-sul do estado do Paraná. Londrina: Embrapa, CNPSo, 1990. 4p. (Comunicado Técnico, 47).

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 11–36, 2000.

JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, 34:197-224, 1981.

JÚNIOR, V.O.; COUTINHO, E.L.M.; COUTINHO NETO, A.M. & CARDOSO, S.S. Estado nutricional e produção de massa seca da alfafa em função de doses de potássio em dois solos. *Bioscience Journal*, 30:31-38, 2014.

KOMATSU, R.A.; GUADAGNIN, D.D. & BORGIO, M.A. Efeito do espaçamento de plantas sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. *Campo Digit@l*, 5:50-55, 2010.

LACERDA, J.J. de J.; RESENDE, A.V de.; NETO, A.E.F.; HICKMANN, C. & CONCEIÇÃO, O.P da. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:769-778, 2015.

LAIRD, D.A. & CHANG, C.W. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. *Soil & Tillage-Research*, 134: 33-40, 2013.

LEAL, M.R.L.V.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, S.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A. & OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. *Biomass and Bioenergy*, 53: 11-19, 2013.

LUZ, A.B.; Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F.R.C. ; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.) *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro. CETEM/ MCT, 2010.

MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C. & FERREIRA, F.V., eds. *Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas*. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 2012. 672p.

MARTINS, A.P.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, 8:1-17, 2007.

MASSAROTO, J.A.; REIS, W.P.; SILVA, R.R. & SOARES, A.A. Comportamento de cultivares de trigo sob diferentes doses de adubação para manutenção de plantio no Brasil Central. *Ceres*, 54:362-366, 2007.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos - SED-72 (Versão provisória), 26p., 2007.

MENDONÇA, V.Z.; MELLO, L.M.M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C.M.; YANO, E.H. & PEREIRA, C.B.L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:183-193, 2015.

NGUYEN, T.L.T; HERMANSEN, J.E. & MOGENSEN, L. Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark. *Applied Energy*, 104: 633-641, 2013.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agrícola*, 58:329-335, 2001.

PAULETTI, V. Nutrientes: teores e interpretações. Castro – PR, 2 ed p. 86, 2004.

POWERS, S.E.; ASCOUGH II, J.C.; NELSON, R.G. & LAROCQUE, G.R. Modeling water and soil quality environmental impacts associated with bioenergy crop production and biomass removal in the Midwest USA. *Ecological Modelling*, 222:2430-2447, 2011.

RIQUELME, U.F.B.; AMADO, T.J.C.; NORA, D.D.; BORTOLOTTI, R.P. & KELLER, C. Calibração visando à adubação potássica para as culturas da soja, trigo e milho sob sistema plantio direto no Paraguai. *Ambiência*, 9:505-518, 2013.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M.S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A. & MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. *Scientia Agricola*, 57:89-96, 2000.

RAMOS e PAULA, L.E; TRUGILHO P.F; NAPOLI A. & BIANCHI M.L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, 17: 237-246, 2011.

RESENDE, A. V. de; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G. de; SENA, M. C. de; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “In Natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*. 9: 19-42, 2006.

SANTOS, H.; FONTANELI, R.; CAIERÃO, E.; DREON, G. & LAMPERT, E.A. Sistemas de manejo e rotação de culturas no rendimento de grãos e nas características agrônômicas de trigo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7:478-484, 2012.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/CQFS/NRS, 2004. 400p.

SOARES, R.M.; RUBIN, S.de A.L.; WIELEWICKI, A.P.; OZELAME, J.G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. *Ciência Rural*, 34: 1245-1247, 2004.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A.N.; CARMONA, R. & CARVALHO, A.M de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:327-334, 2004.

STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 731-747, 2006.

TORRES, J.L.R. & PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1609-1618, 2008.

TRIGOLO, A. L. M.; QUAREZEMIN, M. A. K.; GERMANO, M. G.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Contribuição do potássio não trocável para a produtividade de soja e milho safrinha. In: *Resumos expandidos da X Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, Londrina. 2015. p.35-43. (Documentos, 359)

VAZQUEZ, G.H.; CARVALHO, N.M. & BORBA, M.M.Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 30:1-11, 2008.

VEIGA, M. da. & WILDNER, L. do P. *Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos*. Santiago do Chile: FAO, 1993. 35 p.

ZHANG, H.M.; YANG, X.Y.; HE, X.H.; XU, M.G.; HUANG, S.M.; LIU, H. & WANG, B.R. Effect of long-term potassium fertilization on crop yield and potassium efficiency and balance under wheat-maize rotation in China. *Pedosphere*, 21:154-163, 2011.

ZÖRB, C.; SENBAYRAMB, M. & PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171: 656–669, 2014.

CAPÍTULO II. DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO ATRAVÉS DE ADUBAÇÃO DE REPOSIÇÃO COM FONTE SOLÚVEL E ALTERNATIVA.

RESUMO

Cultivos sucessivos promovem exportação de nutrientes das áreas agrícolas através dos grãos e biomassa, e caso não sejam repostos adequadamente, podem resultar na diminuição das reservas disponíveis do nutriente no solo. As diferentes adubações e adubos utilizados podem influenciar nas reservas de potássio (K) do solo, tanto na fração trocável como nas frações menos disponíveis. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adubação de reposição de K com fonolito nas frações deste nutriente no solo, em área tradicionalmente adubada. Um experimento foi implantado a campo, num Latossolo Vermelho distroférico no município de Pato Branco – PR, onde se avaliou três formas de reposição de potássio (sem potássio, cloreto de potássio (KCl) e fonolito, combinadas com quatro porcentagens de retirada de biomassa residual da cultura anterior (0%; 33%; 66% e 100%). Após duas safras agrícolas (trigo e soja), foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, para avaliar os teores de K trocável, K não trocável e K total do solo. Devido ao alto teor inicial de K trocável no solo antes da implantação do experimento, não foram observadas diferenças na fração trocável e não trocável do solo, porém a adubação com fonolito aumentou a reserva total de K do solo, em comparação ao KCl e a não aplicação de K, variando de 1342,9 a 1551,4 mg kg⁻¹, provavelmente devido sua mineralogia. Com as retiradas de biomassa observou-se um decréscimo linear nos teores de K não trocável do solo, e ocorreu uma passagem em torno de 30% do K desta fração para a fração trocável. Portanto, a rocha fonolito, apesar de aumentar o K total do solo, não o faz em uma forma prontamente disponível às plantas, que utilizaram as reservas não trocáveis, a principal fonte de K utilizada pelas culturas.

Palavras chave: Fonolito. Potássio. Não trocável. Adubação.

CHAPTER II. DYNAMICS OF POTASSIUM IN THE SOIL THROUGH THE SUBSTITUTE FERTILIZING WITH SOLUBLE SOURCE AND ALTERNATIVE

ABSTRACT

Successive crops promote export of nutrients from agricultural areas across the grain and biomass, and if not properly replaced, can result in the decrease of available reserves of the nutrient in the soil. Different fertilizers and fertilizers used can influence potassium reserves (K) soil, both in the exchangeable fraction and in less available fractions. The objective of this study was to evaluate the effect of K spare fertilization with phonolite in fractions of this nutrient in the soil, in traditionally fertilized area. An experiment was carried out in the field, an Oxisol in the city of Pato Branco - PR, which evaluated three forms of potassium replacement (without potassium, potassium chloride (KCl) and phonolite), combined with four residual biomass removal percentages the previous crop (0%, 33%, 66% and 100%). After two agricultural crops (wheat and soybeans), soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, to assess the levels of exchangeable K, K non-exchangeable and K total soil. Due to the high initial content of exchangeable K in the soil before the implementation of the experiment, no differences were observed in the exchangeable fraction and non-exchangeable soil, but the fertilization with phonolite increased total reserves of soil K, compared to KCl and not K application, ranging from 1342,9 to 1551,4 mg kg⁻¹, probably because of its mineralogy. With removal biomass there was a linear decrease of K non-exchangeable soil, and a passage occurred around 30% of this fraction K for the exchangeable fraction. Therefore, phonolite rock, while increasing the K total soil, does not in a form readily available to plants which used non-exchangeable reservations, the main source of K used by the crops.

Key-words: Phonolite. Potassium. Non-exchangeable. Fertilizing.

2.1. INTRODUÇÃO

Devido à expressiva área cultivada no Brasil e a maior parte dos solos apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes, o país se tornou um grande consumidor de fertilizantes minerais. Um dos fertilizantes mais utilizados é o cloreto de potássio (KCl), que devido sua concentração de K_2O solúvel em água (58% a 62%) é o fertilizante potássico mais utilizado para a agricultura (Resende et al., 2006). Porém a maior parte é importada, com o Canadá possuindo a maior reserva de potássio do mundo (Fixen, 2009).

No Brasil existem rochas ricas em potássio (K), porém estas possuem uma menor solubilidade que o KCl. Os feldspatos alcalinos, feldspatóides e micas são fontes alternativas potenciais de K para fabricação de fertilizantes ou para aplicação direta no solo (Nascimento & Loureiro, 2004). Os silicatos de liberação lenta podem necessitar de processos de beneficiamento para aumentar sua solubilidade.

As adubações alternativas como a rochagem, que consiste no uso de pó de rochas como suplementação nutricional às plantas, reduz problemas como a lixiviação dos nutrientes, pois os libera lentamente, também promovendo um maior aproveitamento em longo prazo da adubação pelas culturas (Resende et al., 2006; Melamed et al., 2007). As rochas silicáticas contêm nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, porém os teores e a disponibilidade variam em função da composição dos minerais presentes nas rochas. A utilização do pó de rocha silicática constitui uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, visto seu baixo custo de produção (Piza et al., 2011).

Uma alternativa ao uso do KCl é a utilização da rocha silicatada fonolito contendo em torno de 8% de K_2O . A rocha fonolito é constituída principalmente por feldspatos alcalinos e feldspatóide, sendo o principal o feldspato potássico ($KAlSi_3O_8$) (Teixeira et al., 2015). Segundo Teixeira et al. (2012), o fonolito in natura possui uma liberação máxima de 1% do K total, devido ao K da rocha estar ligado fortemente à estrutura do mineral. Já para o fonolito calcinado de 600 a 1200°C a liberação do K passa a 2% do total, devido a alteração na estrutura dos minerais (Teixeira et al., 2015). A utilização da rocha fonolito disponibiliza também outros elementos como cálcio, magnésio, manganês, ferro, alumínio e silício (Cortes et al., 2010). O uso do pó de rocha irá proporcionar uma liberação mais lenta e gradual dos nutrientes, isso favorece a utilização por longo prazo e diminui perdas por lixiviação (Resende et al., 2006).

Straaten (2006) relaciona algumas vantagens do uso da rochagem em solos tropicais como a fácil dissolução das rochas e minerais devido à umidade e altas temperaturas, devido à

intensa lixiviação os solos se tornam mais pobres e com isso a receptividade a adição de nutrientes é maior. Já uma possível desvantagem no uso de pó de rochas é a sua lenta dissolução (Harley & Gilkes, 2000), o que muitas vezes leva a ausência de efeito sobre as plantas. Bolland & Baker (2000) trabalhando com pó de granito não obtiveram resultados com o uso da rochagem, porém, Theodoro & Leonardos (2006) encontraram resultados significativos na produção com o uso de pó de rocha vulcânica, para as culturas de cana-de-açúcar, milho, arroz, mandioca e hortifrutí comparando com a adubação convencional. Cortes et al. (2010) relatam uma maior produtividade de milho com o uso do fonolito superior ao uso do cloreto de potássio. Assim, resultados satisfatórios com o uso desta prática estão relacionados ao material de origem do mineral.

Devido à maior ou menor solubilidade das fontes utilizadas, é necessário quantificar as formas de potássio no solo, pois estas são importantes para estimar a quantidade de nutriente disponível as plantas. O potássio no solo se encontra em quatro formas: solúvel, trocável, não trocável e estrutural. As formas não trocáveis e estruturais não estão prontamente disponíveis as plantas, mas são importantes ao suprimento do nutriente em longo prazo (Zörb et al., 2014). Em condições de teores diminuídos de K^+ trocável e em solução, passa a ser utilizado o potássio não trocável para suprir suas exigências (Sarkar et al., 2013).

Este trabalho teve como objetivo, avaliar a dinâmica do K em um solo com alto teor do nutriente, através da adubação de reposição com fonolito, em área de exportação de grãos e biomassa.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi implantado em Pato Branco – PR na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, sob um LATOSSOLO VERMELHO distroférico de textura muito argilosa (Embrapa, 2013). Geologicamente, a região apresenta rochas da formação serra geral, pertencentes ao terceiro planalto do estado do Paraná, com derrame de rochas basálticas (Rocha, 2014), e pedologicamente com predominância do mineral caulinita.

O clima local é caracterizado como subtropical úmido do tipo Cfa, conforme classificação de Köppen (Maack, 1981), com altitude média de 760 m, localizado nas coordenadas 26°16'36" de Latitude Sul e 52°41'20" de Longitude Oeste.

O experimento foi conduzido em área sob plantio direto, na safra de inverno de 2014 – trigo (cultivar Quartzo) com semeadura em 07 de julho e colheita em 13 de novembro, e na safra de verão de 2014/2015 – soja (cultivar BMX Potência) com semeadura em 12 de dezembro e colheita em 24 de abril. O teor de K na camada de 0-20 cm do solo no início do experimento era de $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1 – Capítulo 1).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, conduzido em esquema fatorial 3×4 , com três formas de reposição de potássio (sem aplicação de potássio, reposição com cloreto de potássio - KCl, reposição com fonolito), combinados com 4 porcentagens de retirada da biomassa residual (0 %, 33 %, 66 % e 100 %) com três repetições. Totalizando 36 parcelas de 42 m².

Durante a condução do experimento nas safras de trigo e soja a adubação potássica utilizada foi com base na exportação pelas culturas (grãos e biomassa de cada tratamento). Foram aplicados, em média por tratamento, considerando o trigo e a soja, 21; 31; 39 e 54 kg ha⁻¹ de K, nos tratamentos com 0, 33, 66 e 100% de remoção de biomassa. As doses se apresentam de forma crescente, devido à maior exportação de K que ocorre com maiores retiradas de biomassa. Os adubos utilizados foram o cloreto de potássio (KCl – 60% de K₂O) e o fonolito (composição: 8,42% K₂O; 52,5% SiO₂; 1,58% CaO; 0,05% P₂O₅; 20,7% Al₂O₃ e 7,53% Na₂O), aplicados em superfície, antes da semeadura.

2.2.2. AVALIAÇÕES

2.2.2.1. Avaliação das formas de potássio no solo

Para a avaliação das formas de potássio (K) no solo foram realizadas coletas de amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm no dia 24/04/2015, logo após a colheita da soja. Foram coletadas 15 sub-amostras com trado calador em cada parcela experimental, para compor uma amostra composta. As amostras foram secas, moídas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2mm para posterior determinação de K trocável, K não trocável e K total do solo.

2.2.2.1.1. Potássio Trocável

A determinação do K trocável foi realizada utilizando extrator Mehlich, com base em método descrito em Marques & Motta (2003), os teores de K foram determinados através do fotômetro de chama.

2.2.2.1.2. Potássio não trocável

As mesmas amostras de solo utilizadas para a determinação do K trocável na profundidade de 0-5 cm foram moídas em almofariz, passadas em peneira de 0,2 mm e seca em estufa por 12 horas. Aproximadamente 0,5 gramas deste solo juntamente com 7 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} foram transferidos para tubos de teflon, estes tubos foram levados para o forno de microondas (Mars Xpress 6) por 5 min e 30 s, até atingir a temperatura de rampa de 100°C , esta mantida durante mais 4 min e 30 s. Após a filtragem, determinaram-se os teores de K no extrato através do fotômetro de chama.

2.2.2.1.3. Potássio total

Para definição do potássio total foi utilizada uma adaptação do método 3052 da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1996). Utilizou-se aproximadamente 0,3 g de amostra, juntamente com 9 mL de HNO_3 e 3 mL de HF concentrados, onde as amostras foram digeridas em forno de microondas (Mars Xpress 6) por 9 min e 10s, com temperatura de rampa de 180°C , mantida por mais 9 min e 30 s. Após a filtragem, o teor de K total das amostras foi determinado em fotômetro de chama.

2.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se o teste de Bartlett para se verificar as variâncias quanto a sua homogeneidade, e após, foi realizada a análise de variância – ANOVA. Em caso significativo foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para as formas de adubação com potássio. Os níveis de retirada de biomassa residual foram submetidos à análise de regressão. As análises foram realizadas pelo software estatístico Assistat 7.7 Beta, e auxílio do editor gráfico SigmaPlot 12.0.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. FRACIONAMENTO DO K DO SOLO

Não foi encontrada interação entre as formas de reposição de potássio e as retiradas de biomassa nas diferentes formas de K do solo, porém ocorreram diferenças entre os tratamentos.

Para o potássio trocável e não trocável, as formas de reposição do nutriente não se diferiram estatisticamente (Tabela 1) apresentando uma média de 221 mg kg^{-1} e $550,2 \text{ mg kg}^{-1}$

nos primeiros 5 cm de solo respectivamente. Da mesma forma, o potássio trocável não obteve diferença nas profundidades até 40 cm (Tabela 2).

A falta de variação entre as diferentes formas de adubação pode estar relacionada ao teor inicial de K trocável encontrado no solo, que corresponde a $89,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de K ser considerado como alto ($61\text{-}120 \text{ mg de K dm}^{-3}$) (SBCS, 2004), as culturas assim absorvem o K disponível, não diminuindo as reservas do solo, neste primeiro ano de cultivo, indicando que não ocorreram problemas com lixiviação do nutriente.

A adubação de reposição com fonolito aumentou os teores de K total do solo devido sua baixa solubilidade. Uma grande parte do K total do solo provém de micas e feldspatos (Melo et al., 2003; Melo et al., 2005), porém, nos latossolos estes minerais podem estar presentes em agregados, constituindo fontes de K (Melo et al., 2004). Considerando que o feldspato potássico é o principal constituinte da rocha fonolito, justifica-se o maior teor de K total encontrado nas parcelas adubadas com o pó de rocha em comparação aos outros tratamentos (Tabela 1).

O teor total de K entre as formas de adubação variou de $1342,9$ a $1551,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 1). Martins et al., (2015) utilizando a rocha fonolito sozinha ou em mistura encontraram teores de 483 a 825 mg kg^{-1} de K. Melo et al., (2005) obtiveram na fração argila de Latossolos, teores de K total de 549 a 960 mg dm^{-3} , onde considerou os teores de K como baixo. Teores altos de K são mais comumente encontrados em solos jovens, devido à maior quantidade de minerais primários fontes do nutriente. Esta diferença do teor total encontrado justifica-se pelo incremento de minerais através da adubação com a rocha fonolito, que devido a sua mineralogia composta por feldspatos potássicos, estes são muito resistentes ao intemperismo, mantendo potássio retido no interior da estrutura dos minerais.

TABELA 1. Teores de potássio trocável (K trocável), não trocável (K não trocável) e total (K total) na camada 0-5 cm, de um Latossolo submetido a três formas de reposição de potássio (sem reposição de potássio - Sem K; reposição com cloreto de potássio - KCl; reposição com fonolito - Fonolito), após duas safras agrícolas (trigo e soja).

	K trocável	K não trocável	K total
----- mg kg ⁻¹ -----			
0-5 cm			
Sem K	213 a	541,6 a	1342,9 b
KCl	216 a	556,9 a	1362,1 b
Fonolito	233 a	552,0 a	1551,4 a

Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey; p<0,05).

TABELA 2. Teores de potássio trocável (K trocável) na profundidade de 5 a 40 cm, de um Latossolo submetido a três formas de reposição de potássio (sem reposição de potássio - Sem K; reposição com cloreto de potássio - KCl; reposição com fonolito - Fonolito), após duas safras agrícolas (trigo e soja).

	5-10	10-20	20-40
----- K trocável (mg kg ⁻¹) -----			
Sem K	149 a	119 a	79 a
KCl	164 a	139 a	83 a
Fonolito	172 a	135 a	88 a

Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey; p<0,05).

A mineralogia do solo será a responsável pela maior ou menor disponibilidade de K. A caulinita contendo K estrutural é proveniente de feldspatos e micas. Outro processo que resulta na liberação do K é através da transformação das micas em minerais secundários como illita e vermiculita, devido à hidratação das micas, onde ocorre a perda de K estrutural das entrecamadas do mineral. Minerais secundários também podem contribuir como fontes de K,

por conter o nutriente em suas estruturas. Assim mesmo em solos caulíníticos muito intemperizados como os Latossolo, onde apresentam baixo teor de minerais primários fontes de K (feldspatos e micas), pode não ocorrer redução de rendimento das culturas, pois o K muitas vezes é absorvido pelas plantas em quantidade superior ao seu teor disponível na fase trocável (Melo et al., 2004). Neste caso, as culturas utilizam as reservas contidas na fase não trocável e estrutural a longo prazo.

Assim, a retirada de biomassa com a finalidade de esgotar as reservas de K no solo mais rapidamente do que somente com a colheita de grãos, refletiu em um decréscimo linear no teor de K não trocável conforme aumentavam as porcentagens de retirada (Figura 1). Este fato explica-se devido à dinâmica do nutriente no solo, onde se busca pelo equilíbrio entre as formas de K, seguindo a ordem de absorção do nutriente pelas plantas. É absorvido primeiro o K presente na solução do solo, o qual é repostado pela forma trocável, sendo tamponado pelas reservas do mineral no solo, composta pela fase não trocável e estrutural. A partir do esgotamento do K disponível no solo para as plantas, ocorre à liberação do K das fases não trocável e estrutural (Benipal & Pasricha, 2002). Com isso o K trocável não sofreu influência direta das retiradas de biomassa, pois foi suprido pela reserva não trocável.

O K não trocável serve de reposição ao K trocável e da solução do solo, caso ocorra à exaustão desta forma, o nutriente poderá ser repostado ainda pela fração mineral como os feldspatos potássicos do solo, porém será insuficiente para a nutrição da planta (Bortoluzzi et al., 2005).

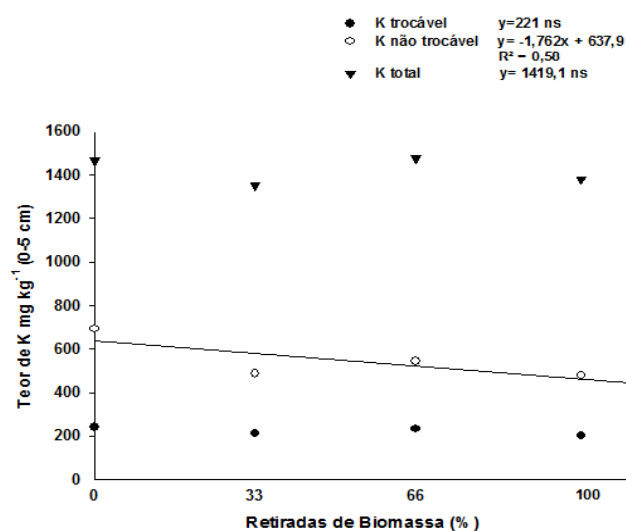


FIGURA 1. Teor de potássio no solo (0–5 cm) nas frações trocável, não trocável e total, em função de quatro retiradas de biomassa residual da parte aérea.

Pode-se perceber que em torno de 30% do K não trocável está sendo disponibilizado para a fração trocável com as retiradas de biomassa (Figura 2), porém o processo de liberação da fração não trocável para a trocável é reversível, podendo através de um manejo adequado de adubação ocorrer reposição da forma não trocável. Rosolem et al. (1993) observaram em seu trabalho que o cultivo de soja levou à diminuição dos teores de K não trocável que passou para a fase trocável, concluindo que o K não trocável é a principal fonte do nutriente para a cultura da soja. Alves et al. (2013) não encontraram respostas à adubação com K em espécies florestais, devido ao tamponamento pelas frações orgânicas ou minerais, observando também a contribuição do K não trocável na nutrição de Pinus. O K trocável se constitui de uma reserva disponível de imediato às plantas, à medida que o teor trocável diminui é utilizada a reserva do nutriente na forma não trocável, assim como foi observado no trabalho (Figura 1).

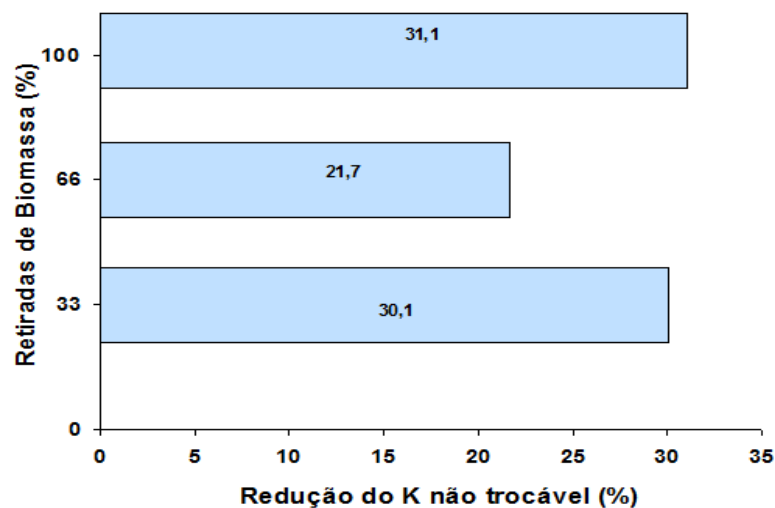


FIGURA 2. Porcentagem de redução do potássio não trocável do solo, em função de quatro retiradas de biomassa residual.

Para os Latossolos que constituem solos mais intemperizados, o K trocável é a fração mais importante de suprimento do nutriente às culturas, tornando-se necessárias adubações para evitar a diminuição das reservas no solo. Assim como foi observado neste trabalho à adubação apenas de reposição, neste tipo de solo, não supriu o K necessário às culturas de trigo e soja, necessitando do K disponível na fração não trocável. Segundo Werle et al. (2008) a disponibilidade de K pelo solo irá depender dos minerais primários e secundários do solo, a aplicação de fertilizantes, CTC do solo e a ciclagem do K pelas plantas.

2.4. CONCLUSÕES

- 1) O K trocável não foi influenciado pelas formas de adubação e quantidade de biomassa retirada, devido ao tamponamento realizado pelas outras frações de K do solo.
- 2) A adubação com fonolito aumentou o teor de K total na camada superficial do solo (0-5 cm), devido sua mineralogia.

2.5. LITERATURA CITADA

ALVES, M.J.F.; MELO, V.F.; REISSMANN, C.B. & KASEKER, J.F. Reserva mineral de potássio em latossolo cultivado com *Pinus taeda* L. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1599-1610, 2013

BENIPAL, D.S. & PASRICHA, N.S. Nonexchangeable K release and supplying Power of Indo-Gangetic alluvial soils. *Geoderma*, 108:197-206, 2002.

BOLLAND, M.D.A. & BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 59–68, 2000.

BORTOLUZZI, E.C.; SANTOS, D.R.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. & TESSIER, D. Alterações na mineralogia de um argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:327-335, 2005.

CORTES, G. P.; FERREIRA, F. C.; CORTES, G.P.; RAMPAZZO, L. & FERREIRA, L.C. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Rochagen, 1, Brasília, 2010. Anais. Planaltina, Embrapa Cerrado, 2010, p. 75-83.

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

FIXEN, P.E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. *Informações agronômicas*. 126: 8-14, 2009.

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 11–36, 2000.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Ed., 1981. 442 p.

MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C. & FERREIRA, F.V., eds. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003.

MARTINS, V.; SILVA, D.R.G.; MARCHI, G.; LEITE, M.C.A.; MARTINS, E.S.; GONÇALVES, A.S.F. & GUILHERME, L.R.G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:194-204, 2015.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos - SED-72 (Versão provisória), 26p., 2007.

MELO, G.W.; MEURER, E.J. & PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroféricos cauliniticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:597-603, 2004.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N. & LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:807-819, 2003.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; RIBEIRO, A.N. & MASCHIO, P.A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:533-545, 2005.

NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F.E.L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66p. (Série Estudos e Documentos, 61).

PIZA, P.A.T.; BERTOLINO, L.C.; SILVA, A.A.S.; SAMPAIO, J.A. & LUZ, A.B. Verdete da região de Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. *Geociências*, 30:345-356, 2011.

RESENDE, A. V. de; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G. de; SENA, M. C. de; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “In Natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*. 9: 19-42, 2006.

ROCHA, D.L. Aspectos geográficos e arcabouço geológico do aquífero serra geral, no estado do Paraná. *Geographia Opportuno Tempore*, 1: 141-152, 2014.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M. & PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 28: 1045-1054, 1993.

SARKAR, G.K.; CHATTOPADHYAY, A.P. & SANYAL, S.K. Release pattern of non-exchangeable potassium reserves in Alfisols, Inceptisols and Entisols of West Bengal, India. *Geoderma*. 207–208: 8–14, 2013.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/CQFS/NRS, 2004. 400p.

STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 78: 731-747, 2006.

TEIXEIRA, A. M.S.; GARRIDO, F. M.S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo da disponibilidade de potássio na rocha fonolito. In: VII Encontro Técnico de Materiais e

Química, Rio de Janeiro, 2012 - Instituto de Pesquisa da Marinha, 24-26 de Outubro. Anais...Rio de Janeiro: 2012.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. HOLOS, 5: 52-64, 2015.

THEODORO, S. H. & LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 78: 721-730, 2006.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. Method 3052. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 10. Dez. 2015.

WERLE, R.; GARCIA, R.A. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2297-2305, 2008.

ZÖRB, C.; SENBAYRAMB, M. & PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. Journal of Plant Physiology, 171: 656–669, 2014.

CONCLUSÃO GERAL

A partir dos dados obtidos observa-se que o uso de fonolito como adubação potássica, em área com alto teor de K no solo, não influencia no rendimento de grãos e biomassa, assim como nas reservas de K trocável e não trocável do solo, porém, leva a um aumento do teor de K total, devido sua mineralogia ser composta por feldspatos potássicos, promovendo incrementos na reserva disponibilizada a longo prazo.

Retiradas de biomassa residual de até 33% promoveram uma cobertura de solo, acima do mínimo de cobertura para áreas de semeadura direta. Porém, as retiradas promoveram menor produtividade para a cultura do trigo.

Assim a adubação apenas de reposição com fonolito, em área de exportação de grãos e biomassa, não é suficiente para manter os teores de K no solo. Sendo a fração não trocável a principal fonte de K para as culturas avaliadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao experimento fazer parte de um projeto maior que será avaliado a longo prazo, os resultados quanto ao uso da rocha fonolito são apenas preliminares, pois devido a sua baixa solubilidade, o K será disponibilizado as culturas ao longo do tempo. Necessitando de avaliações no decorrer deste período a fim de avaliar seu comportamento quanto às reservas do solo e conseqüentemente à produtividade das culturas.

Outro fator a ser observado será quanto às retiradas de biomassa residual, pois a longo prazo, as parcelas com o tratamento de 100% de retirada, pode levar a perdas de solo, nutrientes, compactação e erosão, levando a redução de produtividade das culturas e comprometendo os resultados quanto a adubação com o fonolito

REFERÊNCIAS GERAIS

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C. & SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, 22:26-36, 2001.

ALVES, M.J.F.; MELO, V.F.; REISSMANN, C.B. & KASEKER, J.F. Reserva mineral de potássio em latossolo cultivado com Pinus taeda L. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37:1599-1610, 2013

BALLESTERO, S. D.; JORGE, J. A.; NICOLINO, C. A. C.; FILLIETTAZ, E. V. V.; ONO, R. K. Efeito da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas e potássicas. Biociência, 2:15-22, 1996.

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R. & CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. Ciência Agronômica, 44:724-731, 2013.

BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M.E.; VIEIRA, R.D.; CRUZ, M.C.P.da.; CENTURION, M.A.P.da C.; SILVESTRE, T.de B. & RUIZ, J.G.C.L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 48: 783-790, 2013.

BENIPAL, D.S. & PASRICHA, N.S. Nonexchangeable K release and supplying Power of Indo-Gangetic alluvial soils. Geoderma, 108:197-206, 2002.

BLANCO-CANQUI, H. Crop Residue Removal for Bioenergy Reduces Soil Carbon Pools: How Can We Offset Carbon Losses?. Bioenerg. Res., 6: 358–371, 2013.

BOLLAND, M.D.A. & BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 59–68, 2000.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R. & JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:143-153, 2003.

BORTOLUZZI, E.C.; SANTOS, D.R.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. & TESSIER, D. Alterações na mineralogia de um argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:327-335, 2005.

COLA, G.P.A. & SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7: 15-27, 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: 11º Levantamento de Grãos, safra 2014/2015. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_18_10_30_18_boletim_graos_agosto_2015.pdf>. Acesso em: 17. Nov. 2015.

CORTES, G. P. ; FERREIRA, F. C.; CORTES, G.P. ; RAMPAZZO, L. & FERREIRA, L.C. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, Brasília, 2010. Anais. Planaltina, Embrapa Cerrado, 2010, p. 75-83.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. de A.; COSTA, B.S.; PARIZ, C.M. & TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, 31:818-829, 2015.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2005.

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

FERREIRA, W.S. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO. 2010. 67f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). FESURV, Goiás, 2010.

FIXEN, P.E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. Informações agronômicas. 126: 8-14, 2009.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. 1 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452p. 2004.

GAUDÊNCIO, C.; GEZZIERO, D.L.P.; GERCIE, A. & WOBETCI, C. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro-sul do estado do Paraná. Londrina: Embrapa, CNPSo, 1990. 4p. (Comunicado Técnico, 47).

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 11–36, 2000.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. Agrometeorologia – dados diários de Pato Branco. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1865>>. Acesso em 17. Dez. 2015.

JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy, 34:197-224, 1981.

JÚNIOR, V.O.; COUTINHO, E.L.M.; COUTINHO NETO, A.M. & CARDOSO, S.S. Estado nutricional e produção de massa seca da alfafa em função de doses de potássio em dois solos. Bioscience Journal, 30:31-38, 2014.

KOMATSU, R.A.; GUADAGNIN, D.D. & BORGIO, M.A. Efeito do espaçamento de plantas sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. Campo Digit@l, 5:50-55, 2010.

LACERDA, J.J. de J.; RESENDE, A.V de.; NETO, A.E.F.; HICKMANN, C. & CONCEIÇÃO, O.P da. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:769-778, 2015.

LAIRD, D.A. & CHANG, C.W. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. *Soil & Tillage-Research*, 134: 33-40, 2013.

LEAL, M.R.L.V.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, S.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A. & OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. *Biomass and Bioenergy*, 53: 11-19, 2013.

LUZ, A.B.; Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F.R.C. ; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.) *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro. CETEM/ MCT, 2010.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Ed., 1981. 442 p.

MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C. & FERREIRA, F.V., eds. *Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas*. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003.

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 2012. 672p.

MARTINS, A.P.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, 8:1-17, 2007.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: __. *Rochas e minerais industriais*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. 205-223.

MARTINS, R. Contribuição da reserva de potássio na nutrição e produção do trigo em solos do município de Castro, Estado do Paraná. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFPR, Paraná, 2002.

MARTINS, V.; SILVA, D.R.G.; MARCHI, G.; LEITE, M.C.A.; MARTINS, E.S.; GONÇALVES, A.S.F. & GUILHERME, L.R.G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:194-204, 2015.

MASSAROTO, J.A.; REIS, W.P.; SILVA, R.R. & SOARES, A.A. Comportamento de cultivares de trigo sob diferentes doses de adubação para manutenção de plantio no Brasil Central. *Ceres*, 54:362-366, 2007.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos - SED-72 (Versão provisória), 26p., 2007.

MELO, G.W.; MEURER, E.J. & PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroférricos caulínicos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:597-603, 2004.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N. & LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:807-819, 2003.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; RIBEIRO, A.N. & MASCHIO, P.A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:533-545, 2005.

MENDONÇA, V.Z.; MELLO, L.M.M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C.M.; YANO, E.H. & PEREIRA, C.B.L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:183-193, 2015.

NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F.E.L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66p. (Série Estudos e Documentos, 61).

NGUYEN, T.L.T; HERMANSEN, J.E. & MOGENSEN, L. Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark. *Applied Energy*, 104: 633-641, 2013.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agrícola*, 58:329-335, 2001.

OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? In: Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. *Revista Agroecologia Hoje*, 2003.

PÁDUA, E.J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Lavras: UFLA, 2012.

PAULETTI, V. Nutrientes: teores e interpretações. Castro – PR, 2 ed p. 86, 2004.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M.S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A. & MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. *Scientia Agrícola*, 57:89-96, 2000.

PIZA, P.A.T.; BERTOLINO, L.C.; SILVA, A.A.S.; SAMPAIO, J.A. & LUZ, A.B. Verdete da região de Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. *Geociências*, 30:345-356, 2011.

POWERS, S.E.; ASCOUGH II, J.C.; NELSON, R.G. & LAROCQUE, G.R. Modeling water and soil quality environmental impacts associated with bioenergy crop production and biomass removal in the Midwest USA. *Ecological Modelling*, 222:2430-2447, 2011.

RAMOS e PAULA, L.E; TRUGILHO P.F; NAPOLI A. & BIANCHI M.L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, 17: 237-246, 2011.

RESENDE, A. V. de; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G. de; SENA, M. C. de; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “In Natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*. 9: 19-42, 2006.

RIQUELME, U.F.B.; AMADO, T.J.C.; NORA, D.D.; BORTOLOTTI, R.P. & KELLER, C. Calibração visando à adubação potássica para as culturas da soja, trigo e milho sob sistema plantio direto no Paraguai. *Ambiência*, 9:505-518, 2013.

ROCHA, D.L. Aspectos geográficos e arcabouço geológico do aquífero serra geral, no estado do Paraná. *Geographia Opportuno Tempore*, 1: 141-152, 2014.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M. & PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 28: 1045-1054, 1993.

SANTOS, H.; FONTANELI, R.; CAIERÃO, E.; DREON, G. & LAMPERT, E.A. Sistemas de manejo e rotação de culturas no rendimento de grãos e nas características agrônômicas de trigo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7:478-484, 2012.

SARKAR, G.K.; CHATTOPADHYAY, A.P. & SANYAL, S.K. Release pattern of non-exchangeable potassium reserves in Alfisols, Inceptisols and Entisols of West Bengal, India. *Geoderma*. 207–208: 8–14, 2013.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/CQFS/NRS, 2004. 400p.

SOARES, R.M.; RUBIN, S.de A.L.; WIELEWICKI, A.P.; OZELAME, J.G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. *Ciência Rural*, 34: 1245-1247, 2004.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A.N.; CARMONA, R. & CARVALHO, A.M de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39:327-334, 2004.

STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 78: 731-747, 2006.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. HOLOS, 5: 52-64, 2015.

TEIXEIRA, A. M.S.; GARRIDO, F. M.S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo da disponibilidade de potássio na rocha fonolito. In: VII Encontro Técnico de Materiais e Química, Rio de Janeiro, 2012 - Instituto de Pesquisa da Marinha, 24-26 de Outubro. Anais...Rio de Janeiro: 2012.

THEODORO, S. C. H. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado.

THEODORO, S. H. & LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 78: 721-730, 2006.

TORRES, J.L.R. & PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1609-1618, 2008.

TRIGOLO, A. L. M.; QUAREZEMIN, M. A. K.; GERMANO, M. G.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Contribuição do potássio não trocável para a produtividade de soja e milho safrinha. In: Resumos expandidos da X Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina. 2015. p.35-43. (Documentos, 359)

USEPA, United States Environmental Protection Agency. Method 3052. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 10. Dez. 2015.

VAZQUEZ, G.H.; CARVALHO, N.M. & BORBA, M.M.Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 30:1-11, 2008.

VEIGA, M. da. & WILDNER, L. do P. Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos. Santiago do Chile: FAO, 1993. 35 p.

WERLE, R.; GARCIA, R.A. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2297-2305, 2008.

ZHANG, H.M.; YANG, X.Y.; HE, X.H.; XU, M.G.; HUANG, S.M.; LIU, H. & WANG, B.R. Effect of long-term potassium fertilization on crop yield and potassium efficiency and balance under wheat-maize rotation in China. *Pedosphere*, 21:154-163, 2011.

ZÖRB, C.; SENBAYRAMB, M. & PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171: 656–669, 2014.