

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO AFETADA POR
CULTIVOS EM SOLOS COM LONGO HISTÓRICO DE
ADUBAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diovane Freire Moterle

Santa Maria, RS, Brasil

2008

DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO AFETADA POR CULTIVOS EM SOLOS COM LONGO HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO

por

Diovane Freire Moterle

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. João Kaminski

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Moterle, Diovane Freire, 1982-

M917d

Disponibilidade de potássio afetada por cultivos em solos com longo histórico de adubação / por Diovane Freire Moterle ; orientador João Kaminski. – Santa Maria, 2008.

108 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

1. Ciência do solo 2. Fertilização potássica 3. Nível de suficiência 4. Extrator químico 5. Mineralogia do solo I. Kaminski, João, orient. II. Título

CDU: 631.83

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO AFETADA POR CULTIVOS EM
SOLOS COM LONGO HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO**

Elaborada por

DIOVANE FREIRE MOTERLE

como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Kaminski
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos
(CCR-UFSM)

Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
(FAMV – UPF)

Santa Maria, 15 de fevereiro de 2008

DEDICATÓRIA

À minha noiva

Viviane Campanhola Bortoluzzi

Aos meus Pais

Paulo Moterle

Maria José Freire Moterle

Aos meus sogros

Divo José Bianchin Bortoluzzi

Maria Campanhola Bortoluzzi

À minha avó

Diamantina Toupá Freire

Aos meus irmãos

Alessandro Freire Moterle

Paulo Henrique Moterle

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao professor João Kaminski, dedico os meus agradecimentos pelo empenho na realização deste trabalho, amizade e conhecimentos adquiridos.

Ao professor Danilo Rheinheimer dos Santos, agradeço pela orientação desde a iniciação científica, aos ensinamentos, amizade, confiança e pelo exemplo de dedicação ao ensino superior.

Aos professores Leandro Souza da Silva e Carlos Alberto Ceretta pelo aprendizado e colaboração na realização do trabalho.

Aos professores Antônio Carlos de Azevedo, Ricardo Dalmolin, Dalvan J. Reinert, José Miguel Reichert, Celso Aita, Sandro Giacomini e Thomé Lovato pelo aprendizado durante o curso.

Ao meu cunhado Edson Campanhola Bortoluzzi pelos ensinamentos em mineralogia do solo e auxílio na realização do trabalho.

Ao pesquisador Clóvis Manual Borkert pela concessão das amostras de solo do experimento da Embrapa-soja, Londrina, PR.

Ao Finamor pela amizade e ajuda durante a realização dos trabalhos.

Aos funcionários do departamento de solos que zelam por uma Universidade pública de qualidade.

Ao colega e amigo Gustavo Brunetto pela ajuda e amizade durante a realização do trabalho.

Ao colega “Nenê” pela amizade e companheirismo durante a nossa formação.

Agradecimento aos bolsistas Diego, Grazi, Henrique, Marcelo e Tales pela ajuda nos trabalhos a campo e no laboratório.

Ao João e Felipe, do Laboratório de Magnetismo e Materiais Magnéticos pelo auxílio na análise de mineralogia.

Ao professor Antônio Andrade do CESNORS (Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul) pelas análises de fluorescência de raios X.

Aos funcionários do Laboratório de Análises de Solos Anderson Boff, Paulo Roberto Giacomini, Sérgio J. Tascheto Carlosso e Maria Medianeira Saccol Wiethan.

Ao funcionário do PPGCS Tarcísio Uberti pelo auxílio prestado.

Aos funcionários Luiz, Antônio e Ênio pelo auxílio nos trabalhos de campo.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro proporcionado pela taxa de bancada destinada ao Professor Orientador como BPQI.

Aos amigos e pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, gostaria de expressar o meu “muito obrigado”.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO AFETADA POR CULTIVOS EM SOLOS COM LONGO HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO

Autor: Diovane Freire Moterle

Orientador: João Kaminski

Santa Maria, 15 de fevereiro de 2008.

Em solos contendo minerais portadores de potássio em formas não trocáveis, as culturas absorvem maiores quantidades do elemento que o método químico de rotina consegue extrair, dificultando o estabelecimento do nível de suficiência e das classes de disponibilidade. O presente trabalho tem por objetivos: a) investigar a resposta de culturas à adubação potássica em um Argissolo Vermelho distrófico típico; b) estimar a capacidade de suprimento de potássio em um Argissolo e Latossolo com longo histórico de adições de fertilizantes potássicos; e c) verificar as alterações mineralógicas dos argilominerais desses solos pelo cultivo sucessivo com plantas. Conduziram-se dois experimentos: o primeiro foi instalado em 1991 em um Argissolo Vermelho distrófico com a adição de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O, avaliando o rendimento das culturas e os teores de potássio no solo por Mehlich-1. O segundo experimento consistiu no cultivo sucessivo de plantas em casa de vegetação utilizando-se amostras de dois solos com longo histórico de fertilização potássica. O primeiro experimento estava localizado no campo experimental da Universidade Federal de Santa Maria, RS, um Argissolo Vermelho distrófico típico e o segundo, no campo experimental da Embrapa-Soja em Londrina – PR, correspondendo a um Latossolo Vermelho distrófico. As amostras de solo foram coletadas nos tratamentos testemunha e de maior dose, combinadas com a adição de 0, 30 e 90 mg kg⁻¹ de potássio a cada cultivo. Realizou-se 11 cultivos no Argissolo e 8 no Latossolo. Amostras do solo foram coletadas a cada cultivo e nelas foram determinados os teores de potássio extraído por Mehlich-1, sendo que as amostras coletadas após o 5° e 11° cultivo no Argissolo e após o 4° e 8° no Latossolo foram submetidas também à extração com NaTPB, HNO₃ e HF. A fração argila dos tratamentos com a menor e maior dose de fertilizante potássico foi caracterizada mineralogicamente. Os maiores rendimentos foram obtidos quando o nível de suficiência foi próximo ao valor original do solo que foi de 50 mg kg⁻¹ de potássio. As doses de manutenção não necessitam ser superiores às quantidades exportadas pelas culturas e a adubação de correção só é necessária quando há esgotamento de potássio, mas apenas em doses adequadas para retornar aos níveis de suficiência. O extrator de potássio Mehlich-1 foi sensível para a avaliação do potássio disponível em curto prazo, enquanto que os extratores do potássio denominado de “não trocável”, NaTPB e HNO₃, estimaram satisfatoriamente a depleção no decorrer de cultivos sucessivos. O Argissolo apresentou maior capacidade de suprimento de potássio que o Latossolo. O cultivo de plantas no Argissolo sem adição de potássio mostrou alteração na mineralogia do solo, detectável por difratometria de raios X. Já no Latossolo, após os cultivos sucessivos, não houve alteração na mineralogia do solo que fosse perceptível por difratometria de raios X.

Palavras-chave: nível de suficiência, fertilização potássica, extratores químicos, mineralogia do solo.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

POTASSIUM AVAILABILITY AFFECTED FOR SUCCESSIVE CULTIVATIONS IN SOILS WITH LONG TERM FERTILIZATION

Author: Diovane Freire Moterle

Adviser: João Kaminski

Santa Maria, February 15, 2008.

In soils containing minerals with potassium in non-exchangeable forms, crops uptake a larger amount of this nutrient than that the chemical method can extract, making more difficult the establishment of availability classes and sufficiency levels for potassium. The aims of this study were: a) investigate crop response with potassic fertilization in an Ultisol; b) estimate the capacity of potassium supply in Ultisol and Oxisol, with a long report of addition of potassic fertilization; and c) verify mineralogical alterations of the clay fraction in these soils submitted to successive crop cultivations. The study was based on two experiments: The first one was installed in 1991 in an Ultisol with addition of 0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹, evaluating crop yield and potassium levels in soil using Mehlich-1. The second one consisted in a succession of plant cultivation in two types of soil with long history of potassic fertilization. The first experiment was located in the experimental field of the Federal University of Santa Maria, RS, a typical Ultisol, and the second one, classified as Oxisol, in the experimental field of Embrapa Soja, Londrina-PR. The soil samples were collected in the experiments with less and higher concentration of potassium combined with an addition of 0, 30 and 90 mg kg⁻¹ of potassium for every cultivation. There were 11 cultivations in the Ultisol and 8 in the Oxisol. From every cultivation soil samples were collected and the amount of potassium extracted by Mehlich-1 after the 5° and 11° cultivation in the Oxisol 4° and 8° cultivation in the Oxisol was determined. The samples were submitted at extraction with NaTPB, HNO₃ and HF. The mineralogy of the clay fraction of the treatments with less and higher concentration of potassium was characterized. Crops respond to the potassium fertilization when the concentration in soil was lower than 50 mg kg⁻¹. This result shows that the doses to maintain potassium concentration do not need to be larger than the amount exported by crops and that the fertilization of correction is only necessary when exhaustion of potassium occurs. The chemical extractor Mehlich-1 was sensitive to evaluate the availability of potassium in short time, while the chemical extractors NaTPB and HNO₃ can estimate satisfactorily the depletion of potassium with successive cultivations. The Ultisol showed a greater ability to supply the plant needs than the Oxisol. The crop cultivation in the Ultisol, without the addition of potassium, has altered the soil mineralogy, as detected by X-ray diffraction. On the other hand, in the Oxisol, after successive cultivations, none mineralogy alteration was perceptible by X-ray diffraction.

Key words: sufficient levels, potassic fertilization, chemical extractors, soil mineralogy.

LISTA DE TABELAS

ESTUDO I		Página
TABELA I.1 -	Rendimento de grãos das culturas comerciais e de matéria seca das plantas de cobertura decorrentes da adição de fertilizantes potássicos em um Argissolo.	26
TABELA I.2 -	Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos com as doses de potássio adicionadas em um Argissolo.	26
TABELA I.3 -	Teor de potássio nos grãos de soja safra 05/06 e na matéria seca da parte aérea de trigo e aveia preta decorrentes da adição de fertilizantes potássicos em um Argissolo.	29
 ESTUDO II		
TABELA II.1 -	Atributos das amostras de solos (Argissolo e Latossolo) da camada 0-10 cm coletadas nos experimento a campo e usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	40
TABELA II.2 -	Espécies cultivadas, detalhes da adubação e dos cultivos em experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	42
TABELA II.3 -	Teores de potássio extraído por Mehlich-1 dos solos (Argissolo e Latossolo) após cada cultivo do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	46
TABELA II.4 -	Teores de potássio de amostras do Argissolo extraído por Mehlich-1, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF decorrentes da adição de fertilizantes potássicos do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	48
TABELA II.5 -	Teores de potássio de amostras do Latossolo extraído por Mehlich-1, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF decorrentes da adição de fertilizantes potássicos do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	50

TABELA II.6 - Teores de potássio trocável, não trocável e estrutural de amostras de solos (Argissolo e Latossolo) coletadas antes dos cultivos e após o quinto e décimo primeiro cultivo do Argissolo e após o quarto e oitavo cultivo do Latossolo do experimento de cultivos sucessivos e o potássio acumulado nas plantas (ABS) decorrentes da adição de fertilizantes potássicos.	51
TABELA II.7 - Matéria seca da parte aérea das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação, decorrentes da adição de fertilizantes potássicos adicionados no Argissolo.	55
TABELA II.8 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os rendimentos de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos e as adições de fertilizantes potássicos no Argissolo.	55
TABELA II.9 - Matéria seca da parte aérea das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação decorrentes da adição de fertilizantes potássicos no Latossolo.	56
TABELA II.10 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os rendimentos de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos e as adições de potássio no Latossolo.	56

ESTUDO III

TABELA III.1 - Atributos das amostras de solos (Argissolo e Latossolo) da camada 0-10 cm coletadas nos experimento a campo e usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	63
TABELA III.2 - Espécies cultivadas e detalhes da adubação e dos cultivos em experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.	64
TABELA III.3 - Área do pico do espaçamento $d = 1,4$ nm da fração argila coletadas na testemunha (A30) e no tratamento de maior dose de adição de fertilizantes potássicos (120) no experimento de campo do Argissolo.	72

TABELA III.4 - Teores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO ₂ , SO ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila de amostras coletas no tratamento sem adição de potássio (A30) e do tratamento que recebeu a maior dose de fertilizantes potássicos (A120) no experimento de campo no Argissolo.	73
TABELA III.5 - Teores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO ₂ , SO ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila decorrente de cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação da amostra sem adição de potássio (A30T0) e da amostra que recebeu a maior dose (A120T90) no Argissolo.	78
TABELA III.6 - Área do pico do espaçamento d = 1,4 nm da fração argila coletada na testemunha (L60) e no tratamento de maior dose de adição de fertilizantes potássicos (L380) no experimento de campo no Latossolo.	81
TABELA III.7 - Teores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO ₂ , SO ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila de amostras coletas no tratamento sem adição de potássio (L60) e do tratamento que recebeu a maior dose de fertilizantes potássicos (L380) no experimento de campo no Latossolo.	81
TABELA III.8 - Área do pico do espaçamento d = 1,4 nm da fração argila coletada na testemunha L60 e no tratamento de maior dose de adição de fertilizantes potássicos (L380) e submetida a cultivos sucessivos em casa de vegetação nas amostras sem adição de potássio (L60T0 e L380T0) e da maior dose de potássio (L60T90 e L380T90) no Latossolo.	86
TABELA III.9 - Teores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO ₂ , SO ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO e MnO do Latossolo determinados por fluorescência de raios X da fração argila após os cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação das amostras sem adição de potássio (L60T0) e da maior dose de potássio (L380T90).	86

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO I	Página
FIGURA I.1 - Estabelecimento do nível crítico às culturas comerciais submetidas a fertilização potássica no período de 1991 a 2007 (a) ajuste matemático do rendimento relativo e potássio no solo extraído por Mehlich 1, e (b) rendimento relativo e potássio no solo extraído por Mehlich 1 com 0, 30, 60 e 90 kg K ₂ O ha ⁻¹ (período de 2003 à 2007), ao teste gráfico de Cate-Nelson.	32
 ESTUDO II	
FIGURA II.1 - Esquema da montagem do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação e dos tratamentos aplicados no cultivo de campo no Argissolo e Latossolo.	41
 ESTUDO III	
FIGURA III.1 - Esquema da montagem do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação e dos tratamentos aplicados no cultivo de campo no Argissolo e Latossolo.	65
FIGURA III.2 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletada na camada de 0-10 cm da amostra sem adição de potássio (A30) e da alta dose (A120) no campo, tratadas com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	71
FIGURA III.3 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila não desferrificada do Argissolo da amostra sem a adição de potássio (A30) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (A30T0) e de maior dose (A30T90) saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	75
FIGURA III.4 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila não desferrificada do Argissolo da amostra com alta adição de potássio (A120) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (A120T0) e de maior dose (A120T90) saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	77

<p>FIGURA III.5 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 15 °2θ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada na camada de 0-10 cm da amostra sem adição de potássio (L60) e da maior dose de potássio (L380) no campo, tratadas com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).</p>	80
<p>FIGURA III.6 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila desferrificada do Latossolo da amostra sem adição de potássio (L60) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (L60T0) e de maior dose (L60T90) saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).</p>	83
<p>FIGURA III.7 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila desferrificada do Latossolo da com alta dose de potássio (L380) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (L380T0) e de maior dose (L380T90) saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).</p>	85

LISTA DE APÊNDICES

	Página
APÊNDICE A - Matéria seca de raízes das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação para as diferentes doses de potássio adicionadas no Argissolo.	97
APÊNDICE B - Matéria seca de raízes das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação para as diferentes doses de potássio adicionadas no Latossolo.	97
APÊNDICE C - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraídos por Mehlich-1 e as adições de fertilizantes potássicos nos solos (Argissolo e Latossolo) submetidas a cultivos sucessivos em casa de vegetação. ...	98
APÊNDICE D - Teores de potássio acumulado na parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos em casa de vegetação no Argissolo e a adição de fertilizantes potássicos.	99
APÊNDICE E - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio acumulados na parte aérea das plantas e as adições de fertilizantes potássicos nos solos (Argissolo e Latossolo) submetidos a cultivos sucessivos em casa de vegetação.	100
APÊNDICE F - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraído por HNO ₃ , NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF e as adições de fertilizantes potássicos no Argissolo submetido a cultivos sucessivos em casa de vegetação.	101
APÊNDICE G - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraídos por HNO ₃ , NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF e as adições de fertilizantes potássicos no Latossolo submetido a cultivos sucessivos em casa de vegetação.	102
APÊNDICE H - Difrátogramas de raios X da fração da fração areia grossa, areia fina e silte, entre os ângulos 2 e 75° de 2 θ , obtidos sob condição normal (25 °C) a partir de amostras em pó. a) Argissolo e b) Latossolo.	103

APÊNDICE I - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 °2θ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletado no tratamento sem adição de potássio (A30) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	104
APÊNDICE J - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 °2θ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletada no tratamento que recebeu a maior dose de potássio (A120) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	105
APÊNDICE L - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 °2θ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada no tratamento sem adição de potássio (L60) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	106
APÊNDICE M - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 °2θ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada no tratamento que recebeu a maior dose de potássio (L380) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG) e potássio (K).	107
APÊNDICE N - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila não desferrificada do Latossolo coletada no tratamento sem adição de potássio (L60) e coletada após os cultivos sucessivos em casa de vegetação no tratamento sem adição de potássio (L60T0) e da maior dose de potássio (L60T90) saturada com magnésio (Mg), etileno glicol (EG).	108

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS	18
2.2 Objetivo geral	18
2.3 Objetivos específicos	19
3. ESTUDO I: RESPOSTA DE CULTURAS A ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM UM ARGISSOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO	20
3.1 Introdução	21
3.2 Material e métodos	23
3.3 Resultados e discussão.....	25
3.4 Conclusões.....	33
4. ESTUDO II: TEORES DE POTÁSSIO NO SOLO AFETADOS POR CULTIVOS SUCESSIVOS EM SOLOS COM HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO	34
4.1 Introdução	35
4.2 Material e métodos	37
4.3 Resultados e discussão	44
4.4 Conclusões.....	57
5. ESTUDO III: ALTERAÇÕES NA MINERALOGIA EM UM ARGISSOLO E LATOSSOLO SOB CULTIVOS SUCESSIVOS E ADIÇÕES DE POTÁSSIO	58
5.1 Introdução	59
5.2 Material e métodos	61
5.3 Resultados e discussão	69
5.4 Conclusões.....	87
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
7. REFERÊNCIAS	89
8. APÊNDICE	97

1. INTRODUÇÃO

No modelo de agricultura atual, a produtividade das culturas é economicamente viável com a adição de nutrientes essenciais retirados das reservas minerais, como o potássio. O Brasil possui apenas 3,6 % das reservas mundiais de potássio (Lopes, 2005) e a produção atinge menos de 10 % do consumo anual brasileiro. As importações desse nutriente elevam sobremaneira os custos com a adubação. Nesse sentido, quaisquer estudos que visem compreender a dinâmica do potássio no solo, visando a adequação da adubação com a exportação pelas plantas, tornam-se relevantes ao processo produtivo.

Rheinheimer et al. (2007) destacam que o desenvolvimento de modelos para o diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação de doses econômicas, e ambientalmente adequadas, de fertilizantes e corretivos da acidez para as diferentes culturas e tipos de solo é complexo. Envolve estudos de resposta de nutrientes, em diferentes condições de solos e regiões climáticas e espécies de plantas; estudos de métodos de análise de solo e de tecidos vegetais, capazes de explicar as diferenças observadas nas respostas das culturas entre os locais; estudos de calibração e interpretação dessas análises; e, finalmente, o cálculo de doses e combinações mais econômicas de fertilizantes para as diferentes classes de disponibilidade de nutrientes, usadas nas tabelas de recomendação de adubação. Essas informações são obtidas em projetos de pesquisas de longa duração, com enfoque sistêmico.

O teor de potássio estabelecido como nível de suficiência para solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é estabelecido para grupos de solos dentro de uma faixa de valores da de CTC (Capacidade de Troca de Cátions), indiferente aos tipos de solo, assumindo-se que todos eles são iguais quanto à sua disponibilidade e à sua capacidade de suprimento de potássio. No entanto, os solos apresentam capacidades diferentes de tamponar o potássio disponibilizado às plantas, que é relacionado a sua mineralogia.

Embora há muito tempo vêm se testando métodos para a estimativa da disponibilidade de potássio às plantas, ainda há problemas no estabelecimento do nível de suficiência e das doses a serem adicionadas, devido à ampla variação da mineralogia dos solos, em especial na Região Sul do Brasil. A criação de classes de

disponibilidade para o potássio foi estabelecida a partir de resultados de poucos experimentos, embora alguns estudos tenham demonstrado incompatibilidade com a forma escolhida. Atualmente, para minimizar as variações encontradas e incluir observações que aumentem a importância da mineralogia dos solos nessas interpretações, foram incluídas, pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), três valores de nível de suficiência. Estes valores foram estabelecidos em função da capacidade de troca de cátions estimada a pH 7,0 (CTC_7) na tentativa de discriminar os solos quanto à adubação. A CTC_7 , utilizada pela CQFS-RS/SC (2004), melhorou a estimativa da recomendação. No entanto, outros extratores mais fortes, que simulam a capacidade de suprimento de potássio no solo, como o ácido nítrico fervente e o tetrafenil borato de sódio, tornam-se promissores e possibilitam discriminar as reservas do elemento no solo que contribuem no suprimento do potássio.

A dinâmica do potássio no solo é associada com o tipo de mineral presente e a modificação do seu status afeta o comportamento dos argilominerais, principalmente os que contêm o elemento na sua estrutura, como alguns minerais do tipo 2:1 presente na fração argila. O método adotado nas análises de rotina estima a disponibilidade a curto prazo e a técnica de cultivos sucessivos permite estimar a capacidade de suprimento e as formas de potássio no solo acessadas pelas plantas. Assim, o cultivo de plantas, com capacidade diferente em absorver e exportar o potássio causa um impacto no solo, modificando as formas de potássio adsorvidas com alta energia. Desse modo, podem alterar a mineralogia dos minerais que contêm potássio na sua estrutura, acelerando o grau de intemperismo, diferente da condição natural ou quando bem suprida no solo.

O presente trabalho foi dividido em três estudos. O estudo I versará sobre a estimativa do nível de suficiência em potássio, a partir de um experimento de fertilização potássica de longa duração, cultivado sob sistema de plantio direto em um Argissolo. O estudo II versará sobre a estimativa da capacidade de suprimento de potássio de solos (Argissolo e Latossolo) com longo histórico de adubação. O estudo III abordará a alteração mineralógica da fração argila provocada pelos cultivos sucessivos em solos com longo histórico de fertilização potássica.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

Estudo I

A adoção do CTC₇ para separar os níveis de suficiência adotado pela CQFS-RS/SC (2004) não discrimina corretamente os níveis de suficiência para os diferentes solos.

Estudo II

Solos com longo histórico de fertilização potássica tem maior capacidade de suprimento de potássio. No entanto, cultivando-se sucessivamente esses solos, sem a reposição do potássio absorvido, o esgotamento das suas reservas não trocáveis são diferentes em função da sua mineralogia.

Estudo III

As reservas de potássio no solo dependem dos tipos de argilominerais presentes e o esgotamento do potássio por cultivos com plantas pode alterar os argilominerais portadores de potássio na entrecamada.

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho terá como objetivo geral estudar a dinâmica do potássio nos solos com longo histórico de fertilização, aferindo o nível de suficiência estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004), monitorando as variações nas frações desse nutriente no solo e as possíveis alterações mineralógicas da fração argila decorrentes da fertilização potássica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

O objetivo do estudo I foi:

Avaliar a resposta à adubação potássica, com intuito de aferir o nível de suficiência adotado pela CQFS-RS/SC (2004).

Os objetivos do estudo II foram:

- a) Estimar a capacidade de suprimento de potássio de solos com diferente mineralogia e longo histórico de fertilização.
- b) Monitorar as alterações das formas de potássio decorrentes do cultivo sucessivo de plantas.

O objetivo do estudo III foi:

Avaliar as alterações dos argilominerais decorrentes do cultivo com plantas com e sem reposição de potássio em um Argissolo Vermelho distrófico típico e em um Latossolo Vermelho distrófico típico com longo histórico de fertilização potássica.

3. ESTUDO I:

RESPOSTA DE CULTURAS À FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA NUM ARGISSOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

Os resultados de pesquisas realizadas no Sul do Brasil evidenciam uma baixa resposta das culturas à adubação potássica. O objetivo deste estudo foi avaliar a resposta à adubação potássica, com intuito de aferir o nível de suficiência adotado. O experimento foi instalado em 1991 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, sob um Argissolo Vermelho distrófico típico com adições de doses de fertilizantes potássicos. Os cultivos foram realizados entre os anos de 2004 a 2007. Anualmente determinou-se o teor de potássio trocável. Avaliou-se a produção de grãos e de matéria seca das culturas. Os maiores rendimentos foram obtidos quando o nível de suficiência de potássio foi próximo ao valor original do solo (50 mg kg^{-1}). As doses de fertilizante potássico de manutenção não necessitam ser maiores que as exportadas pelas culturas e a adubação de correção somente é necessária, quando há esgotamento de potássio, mas apenas devem ser em quantidades suficientes para retornar aos níveis de suficiência originais.

Palavras-chave: potássio, disponibilidade de potássio, suprimento de potássio.

3.1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios do emprego de fertilizantes na agricultura do Rio Grande do Sul, as recomendações eram por fórmulas de NPK em quantidades fixas, de acordo com a cultura. A análise de solo, como critério da estimativa da adubação, somente passou a ser utilizada em meados dos anos 40 e foi proposta por Mohr (1950). Esse autor dividiu o Estado em quatro grandes áreas, tomando-se como base o material de origem dos solos ali ocorrentes, e estabeleceu valores de referência que eram comparados aos resultados de análise do solo onde eram assim estabelecidas às doses de nutrientes. A partir dos anos 60 iniciaram-se os estudos de calibração da análise para solos e culturas do Estado do Rio Grande do Sul e em 1968 foi publicada a primeira tabela de recomendação de adubação (UFRGS, 1968). Nela se estabeleceu 60 mg dm^{-3} de potássio como nível de suficiência, extraída pelo Mehlich-1, para solos ocorrentes no Estado. A partir de então, as tabelas de recomendação foram sendo aprimoradas de acordo com dados de pesquisas conduzidas para este fim. A atualização nas tabelas de recomendação realizadas em 1987 (Siqueira et al., 1987) ocorreu aumento no nível de suficiência em potássio, sendo elevado para 80 mg dm^{-3} . Porém, esses níveis de suficiência estabelecidos para o potássio convivem com evidências de que esta forma de extração é indicada para estimativas de disponibilidade a curto prazo, mas não representa um indicador satisfatório para estimar a capacidade de suprimento de solos (Rouse & Bertramson, 1949; Mohr, 1959; Oliveira et al., 1971; Nachtigall & Vahl, 1991; Meurer & Anghinoni, 1993; Melo et al., 2004; Bortoluzzi et al., 2005; Kaminski et al., 2007).

Em 2004, o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) promoveu mudanças nos níveis de suficiência em potássio, estabelecendo classes segundo a CTC_7 , a partir de trabalhos de Silva & Meurer (1988) e Meurer & Anghinoni (1993). Assim, valores de CTC_7 menores que 5, entre 5,1 e 15 e maiores que 15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ indicam níveis de suficiência no solo de 45, 60 e 90 mg dm^{-3} , respectivamente. A separação em classes permitiu restabelecer o nível de suficiência de 80 mg dm^{-3} para 60 mg dm^{-3}

para a maioria das áreas cultivadas no Rio Grande do Sul, devido essas áreas possuírem CTC₇ entre 5,1 a 15 cmol_c dm⁻³ (Rheinheimer et al., 2001).

Apesar da adoção de classes de disponibilidade para estimar a dose de fertilizantes potássicos, tem sido demonstrado que a resposta das culturas à adubação potássica é baixa (Vidor & Freire, 1971; Patella, 1980; Scherer, 1998a; Brunetto et al., 2005). Assim, há uma considerável diversidade de valores para definir o nível de suficiência, dependendo do grupo de culturas e do tipo de solo utilizado nos experimentos de calibração, sendo alterado os valores de referência a cada nova revisão de manuais e/ou tabelas de adubação. Enquanto Scherer (1998a) utilizando Latossolo Vermelho distrófico húmico estima valores ao redor de 60 mg kg⁻¹, Borkert et al. (1993) com Latossolo Vermelho distrófico (CTC₇ de 13,8 cmol_c kg⁻¹) e Brunetto et al. (2005) com dois Argissolo Vermelho distrófico (CTC₇ de 6,4 cmol_c kg⁻¹) estimaram próximo de 40 mg kg⁻¹, aquém do preconizado pela CQFS-RS/SC (2004), mesmo estes solos estarem enquadrados na mesma classe de CTC, entre 5,1 e 15 cmol_c kg⁻¹. Eles sugerem que a baixa resposta das culturas a adubação potássica está relacionada com a contribuição de formas de potássio não trocáveis e não estimadas pelos extratores químicos de rotina as quais dariam sustentação à capacidade de suprimento desses solos (Mohr, 1959; Oliveira et al., 1971; Nachtigall & Vahl, 1991; Silva et al., 1995; Melo et al., 2004; Bortoluzzi et al., 2005 e Kaminski et al., 2007).

A indicação de que os solos da Região Sul do Brasil possuem potássio em formas não trocáveis e potencialmente disponíveis as plantas influencia no manejo da adubação, devido a capacidade de liberação de potássio durante o ciclo é maior do que a estimada pelo extrator de Mehlich-1. Isto pode ser um indicativo de que não há necessidade de se estabelecer faixas de disponibilidade para regular as doses do fertilizante, simplificando o modelo para o estabelecimento de doses por esse mesmo extrator. Por isso, estudos relacionados com a dinâmica de potássio são importantes para estabelecer parâmetros que permitam maior segurança na recomendação da adubação, no sentido de preservar as reservas no solo e garantir as colheitas.

O objetivo deste estudo foi avaliar a resposta à adubação potássica, com intuito de aferir o nível de suficiência adotado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no campo experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) RS, Brasil. O experimento foi instalado em 1991, em um Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), com substrato arenito. O solo apresentava na camada de 0-20 cm: 180 g kg⁻¹ de argila composta de caulinita, interestratificados do tipo illita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2005) e caulinita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2007); 240 g kg⁻¹ de silte; 580 g kg⁻¹ de areia; 17 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 5,1; Ca+Mg trocável 3,5 cmol_c dm⁻³; CTC₇ de 6,4 cmol_c kg⁻¹; alumínio trocável 0,65 cmol_c dm⁻³; fósforo disponível 3,2 mg kg⁻¹ e potássio disponível 50 mg kg⁻¹.

Na implantação do experimento foi aplicado e incorporado 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar o pH em água do solo a 6,0. Os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, aplicados nas culturas da safra de verão. No primeiro cultivo foi aplicado na parcela principal, com dimensões de 6 m x 16 m, quatro doses de K₂O (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) no início do experimento e nos anos de 1995, 1999 e 2002. No segundo cultivo, a parcela principal foi dividida em quatro subparcelas, com dimensões de 4 m x 6 m, onde se adicionou 60 kg K₂O ha⁻¹ em três delas; no terceiro cultivo, adicionou-se a mesma dose em duas subparcelas, e no quarto cultivo adicionou-se potássio somente em uma subparcela. A partir do quinto (1995) e nono ano (1999), foi reaplicada a dose de 60 kg K₂O ha⁻¹ nas subparcelas, exceto no ano de 2002, que aplicou as doses iniciais nas parcelas principais. Nos quatro primeiros anos do experimento (1991 a 1994), depois de cada adubação, o solo foi revolvido com auxílio de enxada rotativa e retirados os resíduos das culturas da camada superficial do solo. Em 1995, adotou-se o sistema de plantio direto e as doses de potássio foram aplicadas na superfície do solo. No ano de 2003, as subparcelas foram excluídas e as parcelas principais que recebiam 0, 60, 120 e 180 kg K₂O ha⁻¹ passaram a receber 0, 30, 60 e 90 kg K₂O ha⁻¹ (T0, T30, T60 e T90 respectivamente). Essas doses foram aplicadas nas culturas da soja (safra 04/05), da mamoneira (safra 06/07) e do trigo (07). Nos cultivos da soja (safra 05/06) e da aveia preta (05 e 06) não foram adicionados potássio. A soja (safra 04/05) foi

irrigada por aspersão quando ocorreu déficit hídrico, com uma lâmina de água de 35 mm, aplicados em três momentos críticos durante o ciclo da cultura.

As espécies estivais cultivadas ao longo do experimento foram: soja (*Glycine max*, L. Merrill), nas safras 91/92, 92/93, 93/94, 94/95, 95/96, 96/97, 97/98, 03/04, 04/05 e 05/06; milho (*Zea mays*, L.), nas safras 99/00 e 01/02; sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench), na safra 00/01; feijão de porco (*Canavalia ensiformis*, DC.), na safra 02 e mamona (*Ricinus communis*, L.), na safra 06/07. As espécies hibernais cultivadas foram: aveia-preta (*Avena strigosa*, Scherb) nos anos 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 03, 05 e 06; aveia + ervilhaca (*Vicia sativa*, L.), em 2000 e 2001 e trigo (*Triticum aestivum*, L.) em 2004 e 2007. O solo permaneceu em pousio no inverno de 98 e na safra 98/99. Em cada cultivo foi adicionado nitrogênio e fósforo conforme a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo (CFS-RS/SC, 1995) e da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004). No cultivo da mamona foi adicionado nitrogênio e fósforo conforme recomendação de Milani & Severino (2006).

No presente estudo, utilizou-se os cultivos realizados no período de 2004 a 2007. A produção de grãos e matéria seca de cada cultura foi avaliada em uma área de 24 m² em cada parcela. A massa verde das culturas hibernais, bem como os grãos das espécies estivais, foram secas em estufa com ar forçado a 65 °C até massa constante e determinada a matéria seca. Após, a matéria seca foi moída e analisado o potássio total, segundo Tedesco et al. (1995). Após a colheita, o solo foi coletado na camada de 0-10 cm com pá-de-corte. As amostras de solo foram secas em estufa com ar forçado a 45 °C, moídas, passadas em peneira com malha de 2 mm e armazenadas. Extraíu-se o potássio por Mehlich-1 (Tedesco et al., 1995).

Os resultados de produtividade de grãos e de matéria seca da parte aérea foram submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, foram ajustadas equações de regressão, testando-se os modelos linear e quadrático pelo teste F, escolhendo-se aquele com significância menor que 5 %. O rendimento relativo (rr) foi obtido usando a equação: $rr = (rt / rm) \times 100$, em que *rt* = rendimento do tratamento e *rm* = rendimento máximo. Os resultados do rendimento relativo foram ajustados utilizando dois modelos. O primeiro modelo foi Mitscherlich, em que $\hat{Y} = a (1 - b^x)$, sendo \hat{Y} = rendimento relativo, *a* e *b* são constantes e *x* é o teor de potássio extraído por Mehlich-1, em que se utilizou também os dados obtidos por

Brunetto et al. (2005) para a confecção do nível de suficiência. O segundo modelo foi o teste gráfico de Cate-Nelson descrito por Hunter & Fitts (1969) sendo que \hat{Y} = rendimento relativo e x = valor da análise de solo. Neste teste, o gráfico é dividido em quadrantes, fixas paralelamente aos eixos do gráfico, ajustando o maior número de pontos esteja encontrado no quadrante superior direito e inferior esquerdo. A confecção deste gráfico por Cate-Nelson foi obtido com dados dos cultivos de grãos realizados entre os anos de 2004 e 2007. O nível de suficiência de potássio no solo foi estimado para um rendimento relativo de 90 %.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resposta das culturas à adubação potássica

A produtividade de grãos e de matéria seca das plantas cultivadas durante o período de 2004 a 2007 aumentou com a adição de potássio no solo (Tabela I.1).

A produtividade da soja, safra 04/05, aumentou de forma quadrática com a adição de potássio e obteve o máxima de 3860 Kg ha⁻¹ de grãos, com a dose de 93,9 kg K₂O ha⁻¹ (Tabela I.2). A dose para obter-se 90 % de rendimento relativo foi de 40 kg K₂O ha⁻¹, enquanto que a dose de manutenção estabelecida pela CQFS-RS/SC (2004) para esta produtividade é de 95 kg ha⁻¹ de K₂O. Desta maneira a dose para 90 % de rendimento relativo estabelecido neste solo é inferior à dose de manutenção estabelecida pela CQFS-RS/SC (2004). No entanto, a dose de 40 kg K₂O encontrada para a soja como dose de 90 % de rendimento relativo garantiu a produtividade satisfatória, mas não garantiria a manutenção da disponibilidade de potássio no solo, isto porque a quantidade de potássio exportada pelos grãos de soja, que é de 77 kg K₂O ha⁻¹ para esta produtividade, gera um déficit de 37 kg K₂O ha⁻¹. Em um Latossolo, Scherer (1998b) encontrou a dose de 60 kg K₂O ha⁻¹ para obter a produtividade máxima da soja e a manutenção dos teores de potássio próximos ao nível de suficiência, sendo que as produtividades de grãos foram na ordem de 2500 kg ha⁻¹. Desta maneira, as doses de manutenção estabelecidas pela CQFS-RS/SC (2004) estão próximas às doses de exportação para a cultura da soja e ainda mantém uma reserva para eventuais perdas do sistema.

A soja, safra 05/06, cultivada sob efeito residual da adubação do ano anterior, também aumentou a produtividade de forma quadrática. A produtividade máxima nesta safra foi de 1903 kg ha⁻¹ de grãos, obtido no tratamento com adição de 60 kg K₂O ha⁻¹. Neste tratamento a disponibilidade de potássio no solo foi enquadrada na classe de disponibilidade média (50 mg kg⁻¹ por Mehlich-1) e ainda possibilitou manter um residual do nutriente para uma alta produção de soja, no ano seguinte à adubação, intercalado com aveia durante o inverno. Esta dose deve ter sido responsável pela manutenção da disponibilidade do nutriente, já que a aveia foi cortada e seus resíduos culturais, que continham entre 5000-7000 kg ha⁻¹ de matéria seca, foram mantidos na superfície da área cultivada. Assim, a dose de manutenção estabelecida pela CQFS-RS/SC (2004) permite que a soja, mesmo quando não existem limitações hídricas ou sanitárias, expresse o seu máximo rendimento.

Tabela I.1 - Rendimento de grãos das culturas comerciais e de matéria seca das plantas de cobertura decorrentes da adição de fertilizantes potássicos em um Argissolo.

Dose K ₂ O	Teor K inicial	Soja 04/05	Aveia 05	Soja 05/06	Aveia 06	Mamona 06/07	Trigo 07
Aplicação de K ₂ O Kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
		----- kg ha ⁻¹ -----					
0	26	2785 (26)	4616	1176 (26)	5519	595 (29)	1091 (22)
30	37	3437 (36)	5953	1683 (37)	6398	1513 (38)	1951 (32)
60	50	3660 (53)	6437	1896 (50)	7553	1719 (49)	2100 (52)
90	65	3880 (68)	5969	1817 (64)	6963	1920 (64)	2050 (65)
CV, %		4,8	6,3	2,4	6,8	16,8	16,7

Os valores entre parênteses representam os teores de potássio por Mehlich-1 após os cultivos.

A cultura da mamoneira respondeu de forma quadrática a adição de K₂O e aos teores crescentes de potássio no solo extraído por Mehlich-1 (Tabela I.2). Sua produção de grãos aumentou em 918 kg ha⁻¹ com a adição de 30 kg K₂O ha⁻¹ e o aumento do teor no solo de 29 mg kg⁻¹ para 38 mg kg⁻¹ (extraído por Mehlich-1). A produtividade máxima foi de 1878 kg ha⁻¹ de grãos obtido com a dose de 82 kg K₂O

ha⁻¹ (Tabela I.2), sendo que a dose para se obter rendimento relativo de 90 % foi de 51 kg ha⁻¹. Com base nos dados, pode-se inferir que a mamoneira é uma cultura exigente em adubação potássica. Além disso, produziu grãos na ordem de 31,5 kg por kg de K₂O adicionado, enquanto a soja irrigada produziu grãos da ordem de 22,4 kg por kg de K₂O e não irrigada na ordem de 15,2 kg por kg de K₂O (Tabela I.2). Scherer (1998b) em um experimento durante 12 anos relata que cada kg de K₂O aumenta em média, 18 kg de grãos de soja, sendo que nenhum ano ocorreu limitações drásticas na produtividade em decorrência de déficit hídrico. Isso indica que outros fatores, especialmente climáticos, podem estar associados à eficiência do fertilizante adicionado no solo.

Tabela I.2 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos com as doses de potássio adicionadas em um Argissolo.

Condição	Parâmetros de regressão				Rendimento máximo	Dose K ₂ O para obter o rendimento máximo
	b ₀	b ₁ x	b ₁₁ x ²	R ²		
					----- kg ha ⁻¹ -----	
Soja 04/05	2806	22,4	-0,1194	0,85	3860	93,9
Mamona 06/07	581	31,5	-0,1919	0,95	1878	82,2
Trigo 07	1117	32,8	-0,2527	0,71	2182	64,9

De acordo com Lantmann et al. (2005), a cultura do trigo responde às altas aplicações de potássio quando a disponibilidade no solo está abaixo do nível de suficiência (60 mg kg⁻¹). A CQFS-RS/SC (2004) recomenda para o trigo nesta classe de disponibilidade a adição de 60 kg K₂O ha⁻¹ para a correção do solo e 20 kg ha⁻¹ para a expectativa de produção de 2000 kg ha⁻¹ de grãos. Quando a expectativa de produção é maior do que 2000 kg ha⁻¹, recomenda-se adicionar mais 10 kg K₂O ha⁻¹ por tonelada adicional de grãos a serem produzidos. O cultivo de trigo (2007) respondeu de forma quadrática a adição de potássio (Tabela I.2). A produtividade máxima foi de 2182 kg ha⁻¹ de grãos obtidos com a dose de 64,9 kg K₂O ha⁻¹. A dose para se obter 90 % de rendimento relativo foi de 35 kg K₂O ha⁻¹. Dessa maneira, mesmo utilizando-se a dose de máximo rendimento (64,9 kg K₂O ha⁻¹) foi inferior as doses recomendadas pela CQFS-RS/SC (2004). Nota-se que a produtividade de trigo aumentou até a dose adicionada no tratamento T30 (30 kg

$\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$) e a disponibilidade no solo era de 32 mg kg^{-1} de potássio (Tabela I.1) que é classificado como baixo pela CQFS-RS/SC (2004). Isto indica que a recomendação da CQFS-RS/SC (2004) necessita de ajustes, pois para o trigo não corroborou os níveis no solo com as adições preconizadas no Argissolo em estudo.

Neste Argissolo, as adições entre 30 e $60 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ no solo, de acordo com a espécie cultivada, tiveram produções acima de 90% do seu rendimento relativo, sendo que não modificou a disponibilidade de potássio no solo por Mehlich-1, independente da dose adicionada (Tabela I.1). Assim, o teor de potássio no tratamento testemunha se manteve sempre próximo a 26 mg kg^{-1} , enquanto que no tratamento T30 os teores se mantiveram, em aproximadamente, 37 mg kg^{-1} e nos tratamentos T60 e T90 os teores permaneceram, em torno de 50 e 65 mg kg^{-1} , respectivamente. Desta maneira estes dados corroboram com os dados obtidos por Vidor & Freire (1971) que estabeleceu doses de $50 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ em Latossolos do Rio Grande do Sul, Brunetto et al. (2005) que estabeleceu dose de $42 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ em Argissolos e Veduin (1994) que estabeleceu $32 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ para a cultura da soja em um Argissolo do Rio Grande do Sul.

As culturas de cobertura, sob efeito residual da adubação, tiveram suas produções limitadas no tratamento testemunha (Tabela I.1). A aveia é considerada uma cultura exigente em potássio (Mello & Kaminski, 1990) e a baixa disponibilidade deste elemento (29 mg kg^{-1}) prejudicou o seu desenvolvimento, mas alcançou 5000 kg ha^{-1} de massa seca sem adubação (Tabela I.1). Esta cultura acumulou nos seus tecidos em média 38 , 66 , 98 e $109 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ no tratamento T0, T30, T60 e T90 respectivamente (dados não apresentados). Com exceção do tratamento T0, as quantidades de potássio acumuladas pela aveia foram superiores a dose de manutenção preconizada pela CQFS-RS/SC (2004) para a maioria das culturas com produção de grãos estimada em 2000 kg ha^{-1} .

Espécies com alta capacidade de acumular potássio, como a aveia, concentram grandes quantidades de potássio na parte aérea, que é disponibilizado na camada superficial à cultura subsequente, e logo após corte ou a rolagem da aveia a sua liberação é rápida com tempo de meia vida de duas semanas (Giacomini et al., 2003). Segundo o estudo de Martinazzo (2006), 91% das áreas de plantio direto do planalto, que adotam o sistema de recomendação da CQFS-RS/SC (2004), possuem teores de potássio acima do nível de suficiência. Como o tempo de liberação do potássio é rápido (Giacomini et al., 2003) a análise de solo após o corte

ou a rolagem das culturas de cobertura pode detectar os valores de potássio da cultura antecessora. Por isso, devem ser tomadas medidas para reduzir erros de amostragem, pois o potássio se acumula nos primeiros milímetros da superfície do solo (Giroto et al., 2006) e a coleta de solo possibilita alto erro, que pode subestimar os teores de potássio nos solos nas análises de rotina. Deve-se chamar a atenção, que a ciclagem de potássio apenas concentra o nutriente na região de decomposição da palha, não se trata de adições de “potássio novo”, por isso não é recomposição das quantidades do potássio exportado pelos grãos.

Tabela I.3 - Teor de potássio nos grãos de soja safra 05/06 e na matéria seca da parte aérea de trigo e aveia preta decorrentes da adição de fertilizantes potássicos em um Argissolo.

Dose de K ₂ O	Efeito residual ¹		Adubação na semeadura	Efeito residual ¹	
	Trigo 04	Soja 05/06	Mamona 06/07	Aveia 05	Aveia 06
kg ha ⁻¹	kg K ₂ O Mg ⁻¹	kg K ₂ O Mg ⁻¹			
0	9,7 ²	17,5 ³	3,2 ⁴	7,4 ⁵	7,6 ⁶
30	12,3	19,2	8,2	10,2	11,1
60	16,3	20,3	10,5	13,9	14,2
90	16,7	20,5	11,8	15,8	17,7
CV, %	12,5	5,1	7,6	16,9	16,1

¹ Cultivo sob o efeito residual de adubação; ² $y = 9,99 + 0,084x$ ($R^2 = 0,95$); ³ $y = 17,93 + 0,032x$ ($R^2 = 0,91$); ⁴ $y = 3,31 + 0,185x - 0,001x^2$ ($R^2 = 0,97$); ⁵ $y = 7,48 + 0,096x$ ($R^2 = 0,95$); ⁶ $y = 7,67 + 0,110x$ ($R^2 = 0,93$).

O teor de potássio nos grãos da soja e da mamoneira aumentou de forma quadrática com a adição de potássio (Tabela I.3). No tratamento com adição de 90 kg K₂O ha⁻¹, o teor de potássio na soja foi de 20,5 kg de K₂O por 1000 kg de grãos e 11,8 kg K₂O por 1000 kg de grãos para a mamona. A CQFS-RS/SC (2004) estabelece o teor de 20 kg K₂O por 1000 kg de grãos para a soja. Assim, para uma produtividade de grãos de soja de 3500 kg ha⁻¹, safra 04/05, a dose de reposição é de 83 kg ha⁻¹ de K₂O. Assumindo o teor exportado de 20 kg K₂O por 1000 kg de grãos, a exportação total de potássio com esta produtividade é de 70 kg K₂O ha⁻¹. Desse modo, a recomendação de manutenção da CQFS-RS/SC (2004) é adequada e apresenta margem de segurança de 13 kg K₂O ha⁻¹ (equivalente a 1 sc de adubo de 50 kg ha⁻¹ com a formulação 0-25-25) para eventuais perdas do sistema, garantindo a manutenção dos teores do nutriente no solo. Por este motivo, as áreas manejadas corretamente, ausentes de perdas no sistema, têm permitido o aumento

dos teores de potássio no solo, como constatado por Martinazzo (2006). No entanto, deve-se destacar que mantendo altos teores de potássio nos solos, a exportação deste também é elevada, devido ao “consumo de luxo” do nutriente pelas plantas.

Nível de suficiência de potássio no solo

O nível de suficiência de potássio no solo foi estabelecido a partir de dados de produtividade das culturas adquiridos desde a instalação do experimento em 1991. Os dados foram obtidos em Brunetto et al. (2005), adicionado aos cultivos realizados entre 2004 a 2007.

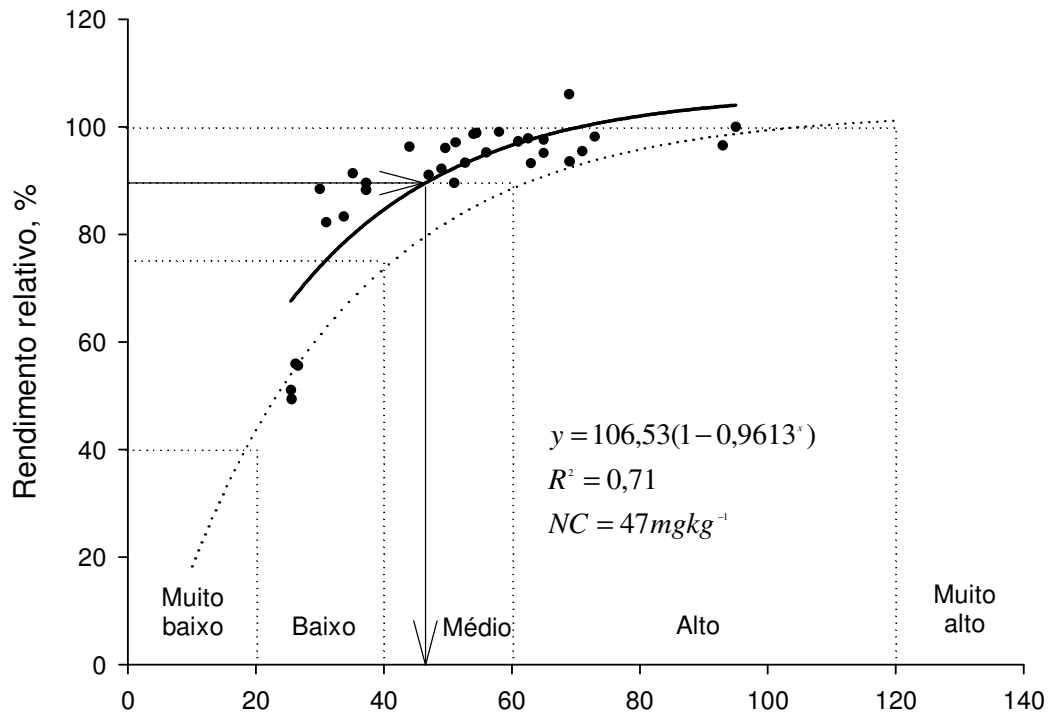
O nível de suficiência de potássio estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004) para o Argissolo com CTC_7 de $6,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ é de 60 mg kg^{-1} . Este teor no solo permitiu, independente da dose adicionada, uma produtividade superior a 95 % de rendimento relativo (Figura I.1a e 1b). O nível de suficiência estabelecido para este solo através da equação de Mitscherlich foi de 47 mg kg^{-1} de potássio extraído por Mehlich-1 (Figura I.1a). No entanto, a forma em que o modelo prático esta sendo adotado não esta discriminando adequadamente os solos, ou seja, em uma mesma faixa de CTC se agrupam solos com diferentes teores de argila e mineralogia, que acarretam em diferentes níveis de suficiência para os solos. Assim, o nível de suficiência deste solo esta próximo ao teor original deste solo, antes da instalação do experimento em 1991, que era de 50 mg kg^{-1} indicando que a disponibilidade original do solo parece ser o seu nível de suficiência, e que mantendo esta disponibilidade com adubações de reposição, sem necessidade de nivelamento de teores no solo visando alcançar classes de disponibilidades altas ou muito altas.

A partir dos teores de potássio no solo e do rendimento relativo das culturas de grãos, cultivadas no período de 2003 a 2007, estabeleceu o nível de suficiência utilizado o modelo Cate-Nelson, descrito por Hunter & Fitts (1969) (Figura I.1b). Neste teste gráfico a presença de valores de potássio no solo disponíveis por Mehlich-1 a partir de 40 mg kg^{-1} não aumentou a produtividade de grãos, independente da quantidade de potássio adicionada. Assim, independente do modelo utilizado para estabelecer o nível de suficiência deste solo foi menor que o modelo prático adotado pela CQFS-RS/SC (2004) que estabelece o nível de suficiência numa ampla faixa de CTC.

A dose de $60 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ adicionada nos solos com teores de potássio na classe de disponibilidade média CQFS-RS/SC (2004) ($40\text{-}60 \text{ mg kg}^{-1}$) permitiu uma

produtividade superior a 90 % de rendimento relativo (Figura I.1b). Este teor no solo é considerado alto e não apresentou resposta a adição de potássio (Figura I.1b). A CQFS-RS/SC (2004) recomenda para esta classe de disponibilidade de potássio a adição de 30 kg K₂O ha⁻¹ para a correção do solo. Se adotado parâmetros que possibilitam melhorar a classificação dos solos, para estabelecimento do nível de suficiência, irá implicar em economia na adubação. Isto ocorre, pois a adição de 30 kg K₂O ha⁻¹ para a correção do solo na classe de disponibilidade média pode ser desprezada, se esta for considerada na faixa de disponibilidade alta. Por outro lado, a recomendação da CQFS-RS/SC (2004) estabelece doses diferentes para cada faixa de disponibilidade para a correção do solo, sendo que a faixa inferior ao nível de suficiência aplica-se doses de correção (30, 60 e 120 kg K₂O ha⁻¹ para faixas média, baixo e muito baixo respectivamente) sendo que os teores acima do nível de suficiência apenas as doses de manutenção. Qualquer modificação nos níveis de suficiência, que causam diminuição dos valores de suficiência irá diminuir as doses adicionadas. Assim, a CQFS (2004) na faixa de disponibilidade baixa recomenda adicionar 60 kg K₂O ha⁻¹ para a correção do solo e 60 kg K₂O ha⁻¹ para a manutenção da produtividade de 3000 kg ha⁻¹ de grãos de soja, totalizando 120 kg K₂O ha⁻¹. Este valor é muito acima dos obtidos por Brunetto et al. (2005) para a produtividade máxima deste solo que foi de 42 kg K₂O ha⁻¹.

a)



b)

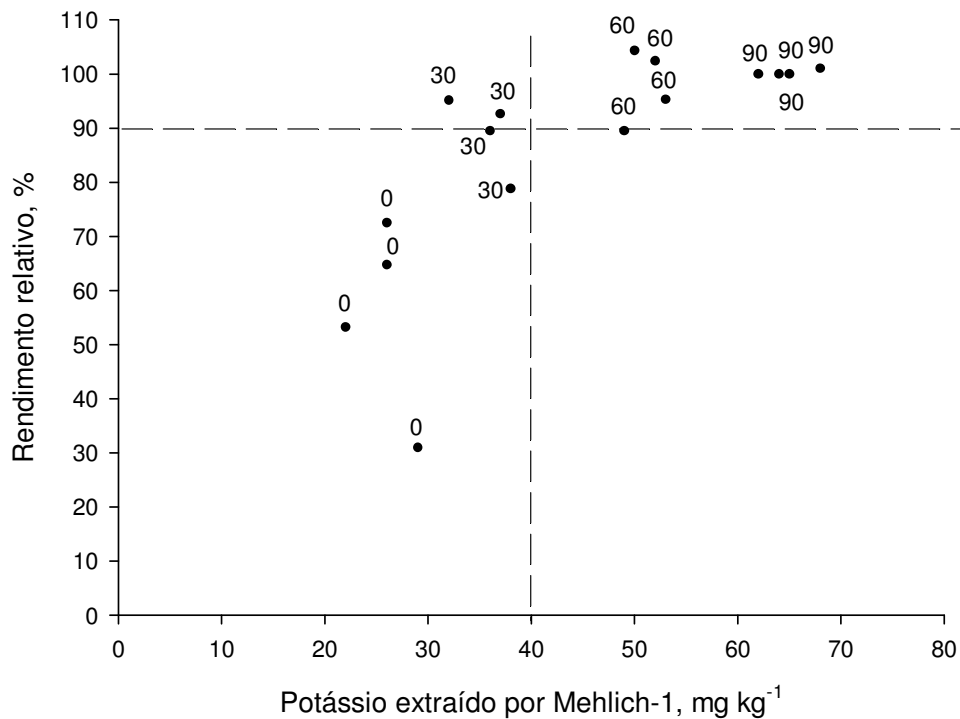


Figura I.1 - Estabelecimento do nível crítico às culturas comerciais submetidas a fertilização potássica no período de 1991 a 2007 (a) ajuste matemático do rendimento relativo e potássio no solo extraído por Mehlich 1, e (b) rendimento relativo e potássio no solo extraído por Mehlich 1 com 0, 30, 60 e 90 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ (período de 2003 à 2007), ao teste gráfico de Cate-Nelson.

Assim, o sistema atual de recomendação de adubação potássica necessita de ajustes, pois as classes de disponibilidade de potássio parecem não justificar as doses adicionadas quando os teores no solo estão abaixo do nível de suficiência estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004). Deve ser destacado que, o estabelecimento de níveis de suficiência está associado à formas do ajuste matemático adotado, quer pelo uso de modelos, como Mitscherlich e Cate-Nelson, ou ajustes algébricos por regressão. Embora os valores obtidos não sejam muito diferentes, eles podem ter forte influência no estabelecimento de doses de adubação, o que, para potássio, pode aumentar a exportação ou as perdas por percolação.

3.5 CONCLUSÕES

Os maiores rendimentos foram obtidos quando o nível de suficiência de potássio foi próximo ao valor original do solo (50 mg kg^{-1}). As doses de fertilizante potássico de manutenção não necessitam ser maiores que as exportadas pelas culturas e a adubação de correção somente é necessária, quando há esgotamento de potássio, mas apenas devem ser em quantidades suficientes para retornar aos níveis de suficiência originais.

4. ESTUDO II:

TEORES DE POTÁSSIO NO SOLO AFETADOS POR CULTIVOS SUCESSIVOS EM SOLOS COM HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO

Os extratores químicos têm sido usados para avaliar a disponibilidade de potássio e correlacionam-se razoavelmente com as quantidades extraídas pelas plantas. No entanto, estes estimam o potássio que está adsorvido aos sítios de troca, mas no solo pode haver grandes quantidades de potássio não extraído que participa do suprimento às plantas. Os objetivos do presente estudo foram: a) estimar a capacidade de suprimento de potássio de um Argissolo e um Latossolo com longo histórico de fertilização potássica e b) verificar as alterações nos teores de potássio extraído com diferentes extratores decorrentes do cultivo sucessivo de plantas. Realizou-se cultivos sucessivos de plantas em vaso, com amostras de um Argissolo Vermelho distrófico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico, coletadas a na camada de 0-10 cm nos tratamentos testemunha e no tratamento com maior dose de potássio adicionadas nos experimentos com adubação potássica de longa duração. As unidades experimentais constaram-se de vasos com 3 kg submetido a 11 cultivos para o Argissolo e 8 para Latossolo, e a adição de 0, 30 e 90 mg kg⁻¹ de potássio a cada cultivo. Do solo foi extraído potássio por Mehlich-1 após cada cultivo, e HNO₃, NaTPB e HF nas amostras iniciais e após os cultivos 5° e 11° no Argissolo e após 4° e 8° no Latossolo. O extrator de potássio Mehlich-1 foi sensível para a avaliação o disponível em curto prazo, mas os extratores de potássio denominado de “não trocável” por NaTPB e HNO₃ estimam satisfatoriamente a depleção no decorrer de cultivos sucessivos. O Argissolo apresentou maior capacidade de suprimento de potássio que o Latossolo.

Palavras-chave: Extratores químicos, potássio não trocável, NaTPB.

4.1 INTRODUÇÃO

O potássio é um elemento químico pertencente ao grupo 1a da tabela periódica, do grupo dos metais alcalinos. Possui massa atômica de 39,102, cujo estado de oxidação é +1 e a configuração eletrônica $4s^1$. O potássio possui raio iônico de 0,133 nm e raio de hidratação de 0,331 nm (Russell, 1994). Devido a energia de hidratação ($0,337 \text{ kJ mol}^{-1}$) e o tamanho iônico, suas reações no solo são predominantemente trocáveis nos grupos funcionais de superfície. No solo, o potássio é classificado segundo os extratores usados para estimar a disponibilidade às plantas. O potássio não trocável é adsorvido na forma de complexo de esfera interna na entrecamada dos minerais do tipo 2:1, como as ilitas e vermiculitas e extraído por HNO_3 ou NaTPB. O potássio estrutural esta presente na estrutura cristalina dos minerais primários como feldspatos e micas e é extraído por ácido fluorídrico (Mielniczuk, 1977; Martin & Sparks, 1985).

As plantas absorvem o potássio da solução do solo e a diminuição desta concentração resulta em um gradiente químico em direção a rizosfera, criando um ambiente favorável a liberação de potássio não trocável (Gommers et al., 2005).

O extrator Mehlich-1 extrai o potássio trocável considerado disponível, deslocado dos grupos funcionais do solo pelos íons H^+ . O potássio extraído por NaTPB representa a fração presente na entrecamada dos argilominerais micáceos, que contém potássio na cavidade siloxana (Carey & Metherell, 2003). A metodologia do NaTPB é dependente do tempo de contato entre o solo e a solução, pois quanto maior o tempo maior a capacidade de extração de potássio. Cox & Joern (1997) determinaram que a capacidade máxima de dessorção de potássio pode chegar até 96h de extração através do extrator NaTPB, sendo que o tempo de dessorção máxima varia de acordo com a quantidade de minerais do tipo 2:1 presentes no solo.

O teor de potássio extraído por NaTPB em 1h representa a estimativa de potássio não trocável acessível pelas plantas durante poucos cultivos (Moody & Bell, 2006). O potássio extraído por HNO_3 também estima o não trocável e tem sido bastante utilizado pela facilidade e baixo custo, porém com resultados discrepantes, mesmo em solos com mineralogia semelhante (Pratt, 1951; Silva et al., 1995; Pal et

al., 2001b; Carey & Metherell, 2003). Nos Latossolos da Região Sul do Brasil, este extrator tem sido eficiente devido à baixa reserva de minerais micáceos. A ação ácida do extrator tem baixo efeito sobre a dissolução destes minerais, permitindo uma boa correlação com o teor extraído pelas culturas durante os cultivos sucessivos, como encontrado por Oliveira et al. (1971); Mielniczuk & Selbach (1978a); Nachtigall & Vahl (1991) e Kist (2005). A metodologia de NaTPB possui vantagens comparado com o extrator HNO_3 , pois têm baixa capacidade de extrair potássio de minerais com estrutura em grãos (Song & Huang, 1988), como os feldspatos. Os extratores ácidos como o HNO_3 podem remover potássio destas estruturas e superestimar os teores extraídos pelas plantas.

Assim, os extratores químicos têm sido usados para avaliar a disponibilidade de potássio, correlacionando os teores com as quantidades extraídas pelas plantas (Song & Huang, 1988). No entanto, os métodos de análise de rotina estimam o potássio que está adsorvido aos pontos de troca e não representam a capacidade do suprimento para as plantas, subestimando-a. Os métodos que simulam a absorção de potássio pela planta, como a resina trocadora de cátions e o NaTPB, são métodos de alto custo operacional e não estão calibrados para estimar doses para recomendar adubação.

Os experimentos com adubação potássica realizados na Região Sul do Brasil em sua maioria apresentam baixas respostas às adubações potássicas (Mohr, 1959; Patella, 1980; Borkert et al., 1993; Scherer, 1998a; Brunetto et al., 2005), devido as reservas de potássio não estimadas pelos extratores de rotina (Oliveira et al., 1971; Nachtigall & Vahl, 1991). Estas reservas podem ser quantificadas por métodos químicos com maior capacidade de extração de potássio (Cox et al., 1996) e pelo cultivo sucessivo de plantas (Oliveira et al., 1971; Mielniczuk & Selbach, 1978b; Nachtigall & Valh, 1991; Kaminski et al., 2007).

No cultivo sucessivo de plantas é possível diagnosticar a capacidade de suprimento de potássio no solo (Oliveira et al., 1971; Raij, 1981). No entanto, devido a dificuldade em estabelecer parâmetros para discriminar as reservas e a dinâmica de liberação de potássio, o seu uso é escasso para avaliar a mudança das formas de potássio e a capacidade de suprimento em solos com histórico de adubação.

Os objetivos deste estudo foram: a) estimar a capacidade de suprimento de potássio em um Argissolo Vermelho distrófico típico e em um Latossolo Vermelho

distrófico típico com longo histórico de fertilização potássica; e b) verificar as alterações das formas de potássio através do cultivo sucessivo de plantas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando-se dois solos com históricos de fertilização potássica. O solo 1 foi um Argissolo Vermelho distrófico típico proveniente de um experimento localizado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS Brasil (experimento 1). O solo 2 foi um Latossolo Vermelho distrófico típico coletado em um experimento localizado na Embrapa-soja, em Londrina, PR Brasil (experimento 2).

Histórico do experimento 1

O experimento foi instalado no campo experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, em 1991. O solo apresentava na camada de 0-20 cm: 180 g kg⁻¹ de argila composta de caulinita, interestratificado do tipo illita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2005) e caulinita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2007); 240 g kg⁻¹ de silte; 580 g kg⁻¹ de areia; 17 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 5,1; CTC₇ de 6,4 cmol_c kg⁻¹; Ca+Mg trocável 3,5 cmol_c dm⁻³; alumínio trocável 0,65 cmol_c dm⁻³; fósforo disponível 3,2 mg kg⁻¹ e potássio disponível 50 mg kg⁻¹.

Na implantação do experimento foi aplicado e incorporado 3000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico a fim de elevar o pH em água do solo a 6,0. Os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições aplicadas nos cultivos de verão. No primeiro cultivo foi aplicado na parcela principal, com dimensões de 6 m x 16 m, quatro doses de K₂O (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) no início do experimento e nos anos de 1995, 1999 e 2002. No segundo cultivo (1992), a parcela principal foi dividida em quatro subparcelas, com dimensões de 4 m x 6 m, onde se adicionou 60 kg K₂O ha⁻¹ em três delas; no terceiro cultivo, se adicionou a mesma dose em duas subparcelas e no quarto cultivo, se adicionou potássio somente em uma subparcela. A partir do quinto

(1995) e nono ano (1999), foi reaplicada a dose de $60 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ nas subparcelas, exceto no ano de 2002, que aplicou as doses iniciais nas parcelas principais. Nos quatro primeiros anos de condução do experimento (1991 a 1994) e depois de cada adubação o solo foi revolvido com auxílio de enxada rotativa e retirados os resíduos das culturas da camada superficial do solo. Em 1995, adotou-se o sistema de plantio direto e as doses de potássio foram aplicadas na superfície do solo. No ano de 2003, as subparcelas foram excluídas e as parcelas principais que recebiam 0, 60, 120 e $180 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ passaram a receber 0, 30, 60 e $90 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ (T0, T30, T60 e T90 respectivamente). Essas doses foram aplicadas nas culturas da soja (safra 04/05), da mamona (safra 06/07) e do trigo (07). Nos cultivos da soja (safra 05/06) e da aveia preta (05 e 06) não foram adicionados potássio.

As espécies estivais cultivadas ao longo do experimento foram: soja (*Glycine max*, L. Merrill), nas safras 91/92, 92/93, 93/94, 94/95, 95/96, 96/97, 97/98, 03/04, 04/05 e 05/06; milho (*Zea mays*, L.), nas safras 99/00 e 01/02; sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench), na safra 00/01; feijão de porco (*Canavalia ensiformis*, DC.), na safra 01/02 e mamona (*Ricinus communis*, L.), na safra 06/07. As espécies hibernais cultivadas foram: aveia-preta (*Avena strigosa*, Scherb) 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 03, 05 e 06; aveia + ervilhaca (*Vicia sativa*, L.), em 2000 e 2001 e trigo (*Triticum aestivum*, L.) em 2004 e 2007. O solo permaneceu em pousio no inverno de 98 e na safra 98/99. Em cada cultivo foi adicionado nitrogênio e fósforo conforme a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo (CFS-RS/SC, 1995) e da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004). Em novembro de 2005 foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm da parcela testemunha (A30) e da parcela que recebeu $1380 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ (A120) até outubro de 2006. Estas amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm e determinados os seus atributos químicos (Tabela II.1).

Histórico do experimento 2

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa-soja, Londrina, PR, e apresentava na camada de 0-10 cm as seguintes características: 820 g kg^{-1} de argila, com mineralogia composta de caulinita, vermiculita hydroxi-Al; 140 g kg^{-1} de silte; 20 g kg^{-1} de areia; 26 g kg^{-1} de matéria orgânica; pH em água 5,2; Ca+Mg trocável $5,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; alumínio trocável de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; fósforo

disponível de 24 mg kg⁻¹ e potássio disponível de 280 mg kg⁻¹ (Silva et al., 1995). No início do experimento foi adicionado 5000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar o pH a 6,0 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a correção do solo.

Os tratamentos foram constituídos de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg K₂O ha⁻¹, aplicados na linha de semeadura, no cultivo de verão, com quatro repetições. Nos anos 1988 a 1993 não foi aplicado potássio com o objetivo de avaliar o efeito residual das adições deste elemento. Em 1994, novamente foram aplicados os tratamentos iniciais, sendo as doses distribuídas da seguinte forma: 40 kg K₂O ha⁻¹ na semeadura, exceto no tratamento testemunha, e em cobertura aos 30 dias após a emergência, as doses de 0, 0, 40, 80, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹ respectivamente para completar as quantidades dos tratamentos iniciais (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg K₂O ha⁻¹). Os cultivos realizados foram: soja (*Glycine max*, L. Merrill) nas safras de 82/83 até 00/01; girassol (*Helianthus annuus*, L.) nas safras de 01/02, 02/03, 03/04 e 04/05; aveia (*Avena strigosa*, Scherb) nos anos 89 e 90; milho (*Zea mays*, L.) no ano de 03; nabo forrageiro (*Raphanus sativus*, L.) no ano de 05 e trigo (*Triticum aestivum*, L.) nos anos de 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99 e 04. Em fevereiro de 2006 foram coletadas amostras de solo da camada de 0-10 cm do tratamento testemunha (L60) e do tratamento que recebeu a adição de 3200 kg K₂O ha⁻¹ (L380). Estas amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm e determinados os seus atributos químicos (Tabela II.1).

Tabela II.1 - Atributos das amostras de solos (Argissolo e Latossolo) da camada 0-10 cm coletadas nos experimento a campo e usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Atributos	Argissolo	Latossolo
Argila, g kg ⁻¹ ⁽¹⁾	157	820
Silte, g kg ⁻¹ ⁽¹⁾	240	140
Areia, g kg ⁻¹ ⁽¹⁾	603	40
Carbono, g kg ⁻¹	8	26
pH-H ₂ O	5,3	5,2
H +Al, cmol _c kg ⁻¹	3,1	6,9
Cálcio trocável, cmol _c kg ⁻¹	2,5	5,1
Magnésio trocável, cmol _c kg ⁻¹	0,7	1,3
Alumínio trocável, cmol _c kg ⁻¹	0	0,4
Fósforo disponível, mg kg ⁻¹	38	41
K trocável, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	0,08	0,13
K trocável, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	0,36	0,98
CTC efetiva, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	3,28	6,93
CTC efetiva, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	3,56	7,78
CTC pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	6,38	13,83
CTC pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	6,66	14,68

⁽¹⁾ granulometria por Embrapa (1997); atributos químicos por Tedesco et al. (1995).

Cultivos sucessivos

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, RS, em esquema trifatorial [2X2X3] com 4 repetições. Os tratamentos constituíram-se na combinação de dois solos (Argissolo e Latossolo), dois níveis de potássio disponível decorrentes dos históricos de adubação no campo (Argissolo = A30 e A120 e Latossolo = L60 e L380) e três doses de potássio adicionadas nos vasos (0, 30 e 90 mg de K kg⁻¹) como demonstrado na Figura II.1. A unidade experimental foi constituída de vasos com 3 kg de solo, 21 altura x 21 cm de diâmetro, cultivados com plantas de diferentes espécies (Tabela II.2). Na instalação do experimento em casa de vegetação foi aplicado carbonato de cálcio e de magnésio reagente PA (proporção de 2:1) para elevar o pH a 6,0. O solo foi incubado na capacidade de campo durante 15 dias. A adição de potássio, assim como os demais nutrientes, foi realizada nos cultivos na forma de solução nutritiva, utilizando-se reagentes PA. As doses adicionadas dos elementos, as culturas utilizadas, número de dias e o número de plantas cultivadas em vaso a cada cultivo encontram-se descritas na Tabela II.2.

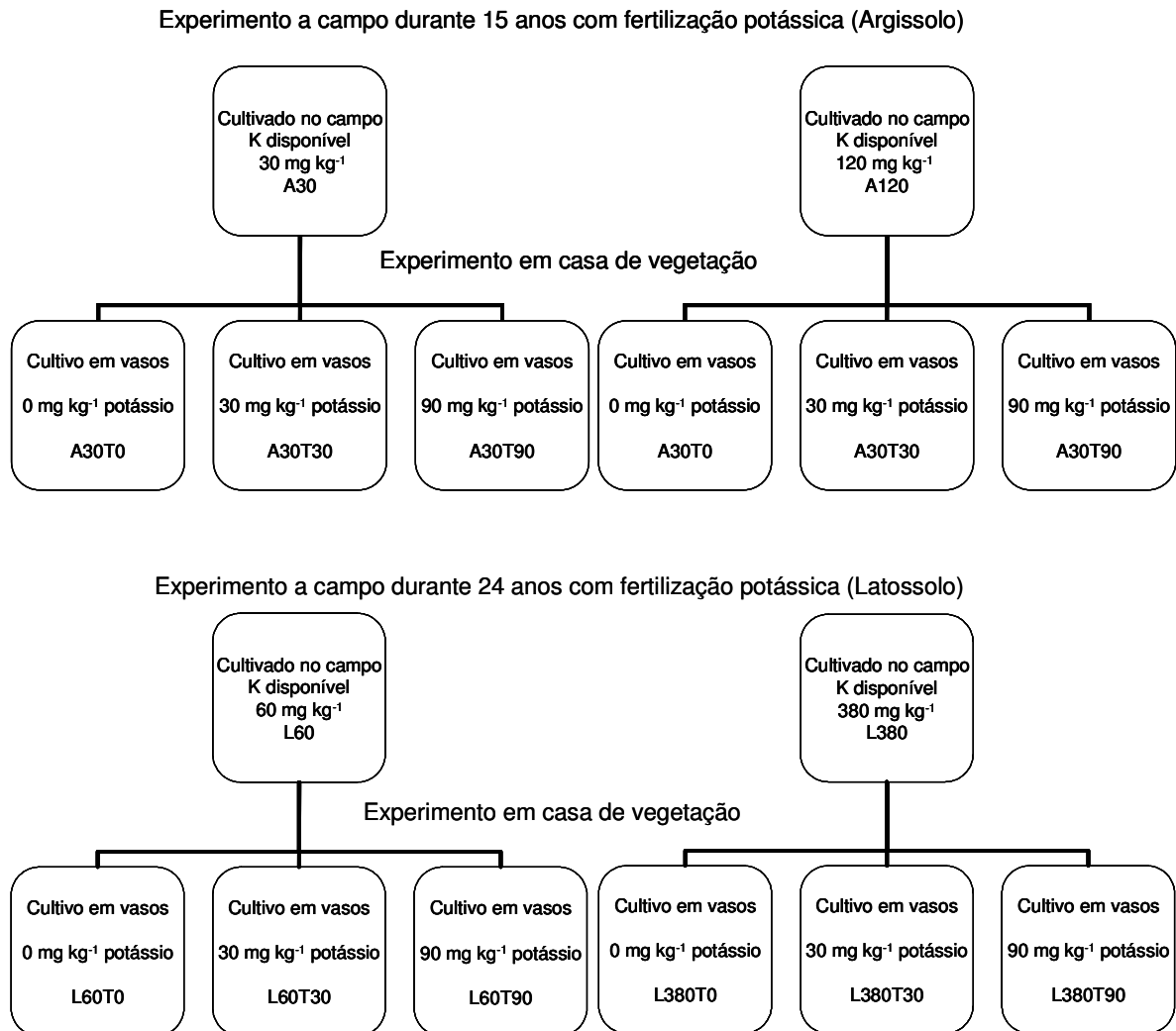


Figura II.1 - Esquema da montagem do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação e dos tratamentos aplicados no cultivo de campo no Argissolo e Latossolo.

As sementes das espécies foram semeadas após pré-germinação e a umidade do solo foi corrigida diariamente, até a capacidade de campo, com pesagens dos vasos. As plantas foram coletadas quando apresentavam redução de seu crescimento vegetativo, aproximadamente aos 30 a 60 dias após emergência. Os cultivos foram realizados durante o período de 31/01/2005 a 30/07/2007. Foram realizados no experimento 11 cultivos no Argissolo e 8 cultivos no Latossolo. As amostras de solo foram coletadas após cada cultivo nos tratamentos com a adição de 0, 30 e 90 mg kg⁻¹ de potássio de ambos os solos (Argissolo e Latossolo). As amostras foram coletadas após a remoção das raízes do solo (peneiramento) e

secas em estufa de ar forçado a 65 °C. A matéria seca das plantas foi acondicionada em sacos de papel e secas até peso constante a 65 °C.

Tabela II.2 - Espécies cultivadas, detalhes da adubação e dos cultivos em experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Cultivo		Espécie	Nº dias de cultivos	Número de plantas	Dose de K ₂ O adicionado	Nutrientes adicionados
Argissolo		Latossolo		-----mg kg ⁻¹ -----		
1		Soja	38	4	0, 75 e 200	N= 30, P= 150, S= 15, Zn= 7,5, Cu= 4,5, Mo= 0,15, B= 4,5
2		Aveia	68	9	0, 75 e 200	N= 15
3		Milho	55	4	0, 30 e 90	N= 15
4	1	Sorgo	30	7	0,30 e 90 ¹	N= 15
5	2	Aveia	55	8	0, 30 e 90	N= 30
6	3	Aveia	49	5	-	N= 30
7	4	Milheto	41	5	-	N= 22,5
8	5	Feijão	30	4	0, 30 e 90	N= 15, P= 150, S= 15, Zn= 7,5, Cu= 4,5, Mo= 0,15, B= 4,5
9	6	Feijão	38	3	0, 30 e 90	N= 30
10	7	Soja	32	5	0, 30 e 90	N= 15
11	8	Aveia	46	12	0, 30 e 90	N= 45

¹ Foram adicionados nutrientes nas mesmas doses adicionadas no primeiro cultivo do Argissolo.

Análises químicas

O solo coletado após cada cultivo foi submetido à extração do potássio disponível pelo extrator de Mehlich-1 (Tedesco et al., 1995). As amostras destinadas ao fracionamento de potássio pelos extratores não trocável e total foram realizadas nas amostras iniciais, após o 5º e 11º cultivo no Argissolo e após o 4º e 8º cultivo no Latossolo. O potássio não trocável foi determinado pelo extrator de HNO₃ 1 mol L⁻¹ fervente (Pratt, 1965), NaTPB 1h e 24h de extração (Carey & Metherell, 2003) e potássio total por HF (Pratt, 1965).

O potássio não trocável pelo extrator de HNO₃ foi realizado com seguinte procedimento: um grama de solo foi pesado e transferido para um erlenmeyer, em seguida foi adicionado 10 mL de HNO₃ 1 mol L⁻¹, fervido durante 10 min. Em seguida a solução foi filtrada em papel filtro JP-41® até completar o balão volumétrico de 50 mL com solução HNO₃ 0,1 mol L⁻¹.

O potássio não trocável extraído com NaTPB foi realizado com o seguinte procedimento: em frasco de erlenmeyer com capacidade de 25 mL, foi transferido 0,5 g de solo e adicionado 10 mL de solução extratora ($\text{NaCl } 1,7 \text{ mol L}^{-1} + \text{EDTA } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e o equivalente de $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ NaTPB, que foi pesado e adicionado no erlenmeyer. A solução do erlenmeyer permaneceu em agitação durante 1h (NaTPB 1h) e 24h (NaTPB 24h), em agitador orbital. Após o período de agitação, adicionou-se 10 mL de $\text{NH}_4\text{Cl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e 0,5 mL de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O } 1 \text{ mol L}^{-1}$. A solução foi mantida em fervura branda por 20 min e filtrada em papel filtro Whatman n° 41, com lavagens de solução $\text{NH}_4\text{Cl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$, até completar o balão volumétrico de 25 mL. Foi adicionado 0,5 mL de HCl 50 % a esta solução para evitar a precipitação do EDTA.

O potássio total foi determinado por digestão fluorídrica com o seguinte procedimento: adicionou-se 0,5 g de solo em cadinhos de teflon, 20 mL de ácido fluorídrico (HF) concentrado e 2 mL de ácido perclórico (HClO_4) concentrado. Foi realizada a digestão do solo em chapa de aquecimento na temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ até a digestão total deste. Após, os cadinhos foram lavados com 5 mL de HCl concentrado, filtrado em filtros JP-41® e completado com água destilada em balão volumétrico de 25 mL. As alíquotas extraídas pelos métodos químicos foram determinadas em espectrofotômetro de chama. A matéria seca das plantas foi moído em moinho tipo "Wiley", e determinado o potássio absorvido pelas plantas por digestão ácida, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O potássio extraído por Mehlich-1, HNO_3 , NaTPB 1h, NaTPB 24h, potássio total, a produção de matéria seca e do potássio absorvido da parte aérea, raízes dos cultivos foram submetidos à análise da variância e, quando os efeitos foram significativos, foram ajustadas às equações de regressão para os dados quantitativos. Os dados qualitativos foram submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, utilizou-se o teste de comparação de médias DMS, tomando-se por base os níveis de significância de 95 %.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de potássio extraídos por Mehlich-1, NaTPB 1h e NaTPB 24h e HF

Os teores de potássio do solo extraídos por Mehlich-1 nas amostras A30, A120, L60 e L380 diminuíram com os cultivos sucessivos de plantas no tratamento sem adição de potássio (T0) (Tabela II.3). Na amostra inicial com 30 mg kg^{-1} de potássio e cultivada em casa de vegetação sem a adição de potássio (A30T0), ocorreu a diminuição dos teores no solo em 48 % após o 1° cultivo chegando a 70 % após o 5°. Na amostra A30T90 (adição de 90 mg kg^{-1} de potássio por cultivo), após o primeiro cultivo, os teores aumentaram para 169 mg kg^{-1} de potássio e manteve-se próximo a este valor até o final dos cultivos. As oscilações encontradas na Tabela I.3 ocorreu nos dois primeiros cultivos devido as altas doses adicionadas e a diminuição no 6° e 7° cultivo foi devido ao cultivo sem a reposição de potássio, para compensar as altas doses adicionadas nos dois primeiros cultivos.

Na amostra A120T0, o potássio extraído por Mehlich-1 diminuiu 22 % após o 1° cultivo e após o 5° cultivo a diminuição foi de 84 %. Após este cultivo manteve-se em equilíbrio com a mínima disponibilidade no sistema, mas mesmo assim os teores foram maiores que os encontrados na amostra A30T0, o que demonstra que o cultivo a campo com altas adições de potássio mantém maior reserva de potássio, não estimada pelo extrator de Mehlich-1 mas, que participam do suprimento as plantas. Na amostra A120T90, os teores aumentaram de 120 mg kg^{-1} para 253 mg kg^{-1} após os cultivos sucessivos de plantas. Este valor foi maior que o encontrado na amostra A30T90 após os cultivos sucessivos de plantas demonstrando que o extrator de Mehlich-1, embora não estime a capacidade de suprimento de potássio, apresentou boa capacidade extração de potássio decorrentes das altas adições no solo.

Na amostra L60T0, a diminuição após o 1° cultivo foi de 35 % e após o 3° o teor diminuiu 70 %, sendo que ao final dos cultivos a diminuição ficou próxima a 72 %. Estas observações evidenciam que, em solos altamente intemperizados (Latossolo), o esgotamento de potássio trocável ocorre rapidamente, conforme já citado por Oliveira et al. (1971) e Mielniczuk & Selbach (1978b). Isto indica que as reservas de potássio são baixas, embora estes solos, em seu estado natural, são

bem providos de potássio (Silva et al., 1995). Na amostra L60T90 os teores aumentaram gradualmente com o cultivo de plantas e ao final do 8º cultivo o teor no solo foi de 143 mg kg^{-1} de potássio.

Na amostra L380T0 a diminuição de potássio foi alta, de 380 mg kg^{-1} antes dos cultivos para 27 mg kg^{-1} após o 8º cultivo e ainda assim o equilíbrio não foi atingido devido a alta disponibilidade inicial. Na amostra L380T90 os teores diminuíram após o cultivo sucessivo de plantas, mas mesmo assim a disponibilidade foi alta e manteve próxima a disponibilidade do Argissolo (250 mg kg^{-1}). Como a disponibilidade na amostra L380 era alto (380 mg kg^{-1} de potássio), o equilíbrio entre a forma trocável e não trocável e o absorvido pelas plantas foi menor que o valor inicial, que diminuiu os valores de potássio no solo para próximos aos valores encontrado no Argissolo.

A rápida diminuição dos teores disponíveis por Mehlich-1, logo após o 1º cultivo, é associada à baixa energia de ligação do nutriente aos grupos funcionais do solo (Castilhos & Meurer, 2002). Por outro lado, com a adição do potássio, os teores determinados pelo extrator de Mehlich-1 correspondem às adições, o que significa que este método tem boa capacidade de avaliar o potássio adicionado no solo (Schmitz & Pratt, 1953).

Tabela II.3 - Teores de potássio extraído por Mehlich-1 dos solos (Argissolo e Latossolo) após cada cultivo do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Solo	Tratamento	Dose adicionada	Cultivo											DMS ¹	CV,%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
			----- mg kg ⁻¹ -----												
			Argissolo Vermelho distrófico típico												
A30	T0	0	21	27	29	17	12	14	13	16	19	15	11	3,1	15,4
	T30	330	52	135	86	28	23	19	17	17	35	39	38	6,1	12,0
	T90	940	169	288	238	123	154	180	137	55	123	171	170	41,7	15,9
A120	T0	0	93	60	40	25	19	20	21	20	27	21	16	5,5	14,5
	T30	330	130	155	142	55	46	45	33	25	45	51	42	13,1	16,3
	T90	940	252	353	345	188	166	240	261	171	187	214	253	22,4	8,1
			Latossolo Vermelho distrófico												
L60	T0	0	-	-	-	52	38	23	23	21	28	18	17	9,7	18,3
	T30	180	-	-	-	101	50	33	28	21	37	39	35	9,2	10,4
	T90	540	-	-	-	79	91	50	44	25	72	118	143	16,2	14,6
L380	T0	0	-	-	-	264	226	206	185	141	97	51	27	43,3	12,5
	T30	180	-	-	-	264	302	255	321	208	193	136	72	51,6	10,5
	T90	540	-	-	-	258	320	248	361	214	260	256	251	43,4	9,1

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha = 0,05$).

Os teores de potássio no solo extraídos por Mehlich-1 e NaTPB 1h diminuíram com o cultivo de plantas nas amostras A30T0 e A120T0 (Tabela II.4). Os valores de potássio extraídos por NaTPB 1h foram maiores que os extraídos por Mehlich-1, sendo que, nas amostras submetidas ao tratamento T0, o extrator de NaTPB 1h extraiu em média 40 % a mais, enquanto que nas amostras submetidas ao tratamento T90 este extrator extraiu 21 % a mais de potássio (Tabela II.4). Com a adição de potássio a amostra A30T90 aumentou a reserva de potássio detectada pelo extrator NaTPB. O aumento nos teores de potássio neste tratamento foi alto devido a baixa quantidade de potássio presente no solo antes dos cultivos em casa de vegetação, que aumentou rapidamente suas reservas quando adicionado. Desta forma, a adição de potássio no solo reconstituiu as formas trocáveis e não trocáveis que haviam sido esgotadas durante os cultivos de campo.

O cultivo de plantas nas amostras A30T0 e A120T0 diminuíram os teores de potássio extraído por NaTPB 24h (Tabela II.4). Isto indica que as plantas acessam potássio nas formas consideradas não trocáveis, presentes na entrecamada dos argilominerais do tipo 2:1 e participam do suprimento dos elementos às plantas durante os cultivos sucessivos. A adição de potássio na amostra A30T90 e A120T90 aumentou as suas reservas no solo extraídas por NaTPB 24h, juntamente com as reservas trocáveis. Essas reservas permaneceram altas na amostra A120, indicando que adições altas de potássio durante longos períodos no campo preservam maiores quantidades deste elemento nestas estruturas, sendo uma fonte de potássio, que embora não detectado pelo extrator de Mehlich-1, é acessível as plantas durante cultivos sucessivos. Welch & Scott (1961) também encontraram que as altas adições diminuem o esgotamento do potássio presente na entrecamada dos minerais do tipo 2:1.

Os teores de potássio extraído por HF tiveram variações altas durante os cultivos em casa de vegetação. As altas variações encontradas nestes dados (Tabela II.4) são decorrentes da metodologia empregada e da diminuição das outras formas de potássio que foram modificadas com o cultivo de plantas.

Tabela II.4 - Teores de potássio de amostras do Argissolo extraído por Mehlich-1, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF decorrentes da adição de fertilizantes potássicos do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Amostra	Tratamento	Cultivo	Mehlich-1	NaTPB 1h	NaTPB 24h	HF
			----- mg kg ⁻¹ -----			
A 30	T0	0	27	30	114	748
		5	12	25	115	798
		11	11	25	55	864
	T30	0	27	30	114	748
		5	24	39	116	885
		11	36	45	-	864
	T90	0	27	30	114	748
		5	154	214	291	999
		11	187	272	265	964
A 120	T0	0	120	144	209	868
		5	23	45	88	977
		11	16	35	43	877
	T30	0	120	144	209	868
		5	57	69	99	965
		11	42	64	74	958
	T90	0	120	144	209	868
		5	162	232	230	1233
		11	267	302	300	1095

Com a adição de 30 mg kg⁻¹ de potássio (T30), onde os teores de potássio no solo eram altos (A120T30) ocorreu diminuição de potássio extraído por NaTPB 1h e 24h (Tabela II.4). Na amostra A30T30, os teores de potássio por estes extratores aumentaram. Em amostras de solos que sofrem esgotamento de potássio durante os cultivos de campo (A30), a aplicação de K₂O deste tratamento (T30) é rapidamente adsorvida aos grupos funcionais com alta energia, que tende a elevar estes teores no solo até atingir o equilíbrio químico entre as formas encontradas, que mantém próximas as exportadas pelas culturas.

Os teores de potássio extraídos por NaTPB 1h e 24h nas amostras L60 e L380 foram iguais após os primeiros cultivos sucessivos. Isto ocorreu devido o Latossolo não apresentar minerais iliticos, detectados pela análise de difratometria

de raios X (Apêndice L) que mantém potássio na entrecamada e é acessível por este método. Assim, a extração do potássio utilizando o extrator NaTPB 1h permitiu a remoção completa do potássio considerado não trocável presente no solo. A reserva de potássio estimada pelo extrator HF foi menor no Latossolo do que no Argissolo (Tabela II.4 e Tabela II.5), sendo que a diferença é atribuída a constituição mineral dos solos.

A estimativa da disponibilidade associada à presença de minerais do tipo 2:1, utilizando o extrator NaTPB 1h, parece ser uma ferramenta eficiente para estimar a capacidade de fornecimento de potássio às plantas em solos com a presença de minerais micáceos. A estimativa de potássio pelo extrator NaTPB 1h é importante pois remove o potássio da solução, trocável e além disso o potássio de partes mais externas da entrecamada dos minerais, em que é facilmente acessível as plantas em curto período de tempo. O potássio extraído por Mehlich-1 é um bom indicador da disponibilidade às plantas, e seu emprego possui alta capacidade de predição durante um cultivo e pode ser aplicado nos mais diferentes tipos de solos. A utilização deste método como forma de predizer a disponibilidade do elemento às plantas tem sido eficiente, e foi verificada também por diversos autores como Schimtz & Pratt (1953); Pal et al. (2001b) e Kaminski et al. (2007). O emprego de outros extratores de potássio pode estimar a capacidade de suprimento durante alguns cultivos sem predizer as taxas de suprimento, estando estas relacionadas a presença de minerais do tipo 2:1. Embora Oliveira et al. (1971) encontraram relação entre o potássio trocável e o potássio absorvido pelas plantas, não conseguiram estimar as taxas de suprimento que estes ocorrem, sendo diferentes entre os solos com mineralogia diferente. No Argissolo e no Latossolo, a presença de minerais do tipo 2:1 (Apêndice I e Apêndice L), exerceu função de fonte e dreno de potássio (não acessível pelo método Mehlich-1), pois aumentou a reserva de potássio não trocável quando foi adicionado e diminuiu as reservas quando cultivado sem a adição de potássio (Tabela II.4 e Tabela II.5).

Tabela II.5 - Teores de potássio de amostras do Latossolo extraído por Mehlich-1, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF decorrentes da adição de fertilizantes potássicos do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Amostra	Tratamento	Cultivo	Mehlich 1	NaTPB 1h	NaTPB 24h	HF
			----- mg kg ⁻¹ -----			
L 50	T0	0	60	92	124	257
		4	22	39	39	251
		8	18	30	33	286
	T30	0	60	92	124	257
		4	27	39	59	290
		8	35	33	40	267
	T90	0	60	92	124	257
		4	42	50	59	297
		8	143	132	140	305
L 380	T0	0	373	407	420	427
		4	225	246	236	357
		8	27	49	49	280
	T30	0	373	407	420	427
		4	304	288	295	370
		8	75	105	107	330
	T90	0	373	407	420	427
		4	353	347	335	370
		8	252	276	282	410

Na Tabela II.6 são apresentados os valores de potássio trocável (Ktr), extraído por Mehlich-1, potássio não trocável (Knt), obtido pela diferença entre o extraído por HNO₃ e a fração trocável e potássio estrutural (Ke) representado pela diferença entre o potássio extraído por HF e o extraído por HNO₃. A maior reserva de Ke foi encontrada no Argissolo, devido a mineralogia deste. O Latossolo apresentou baixa reserva de Ke decorrente do material de origem e da alta intemperização deste solo, que possui baixa reserva de potássio na estrutura dos minerais.

Tabela II.6 - Teores de potássio trocável, não trocável e estrutural de amostras de solos (Argissolo e Latossolo) coletadas antes dos cultivos e após o quinto e décimo primeiro cultivo do Argissolo e após o quarto e oitavo cultivo do Latossolo do experimento de cultivos sucessivos e o potássio acumulado nas plantas (ABS) decorrentes da adição de fertilizantes potássicos.

Amostra	Tratamento	Inicial			K aplicado	Após 5° cultivo			K Aplicado	Após 11° cultivo				
		Ktr	Knt	Ke		ABS plantas	Ktr	Knt		Ke	ABS plantas	Ktr	Knt	Ke
Argissolo Vermelho distrófico típico														
----- mg kg ⁻¹ -----														
A30	T0	27	43	678	0	60	12	45	741	0	98	11	30	823
	T30	-	-	-	210	208	24	57	804	120	306	36	46	783
	T90	-	-	-	580	246	154	103	742	360	440	187	112	686
A120	T0	120	90	657	0	122	23	43	911	0	170	16	49	812
	T30	-	-	-	210	261	57	63	845	120	400	42	78	837
	T90	-	-	-	580	228	162	223	859	360	471	267	142	686
Latossolo Vermelho distrófico típico														
		Inicial				Após 4° cultivo				Após 8° cultivo				
		Ktr	Knt	Ke		ABS	Ktr	Knt	Ke		ABS	Ktr	Knt	Ke
L60	T0	60	51	146	0	50	22	38	192	0	84	18	29	241
	T30	-	-	-	60	87	27	120	143	120	170	35	50	182
	T90	-	-	-	180	127	42	118	138	360	258	143	36	126
L380	T0	380	179	0	0	178	228	96	33	0	352	27	50	203
	T30	-	-	-	60	195	330	69	0	120	416	75	106	149
	T90	-	-	-	180	202	357	82	0	360	428	251	133	25

Na amostra A30T0, o Knt reduziu de 43 mg kg^{-1} antes dos cultivos para 30 mg kg^{-1} após o 11º cultivo, sendo que a absorção de potássio pelas plantas foi de 98 mg kg^{-1} durante os cultivos, superior a diferença do potássio Knt com os cultivos (Tabela II.5). Estes valores não são explicados pelas quantidades extraídas pelos métodos químicos, indicando que, ou estes métodos são ineficientes ou há formas de potássio de difícil detecção incluídas no potássio total que são mobilizadas pelas plantas durante os cultivos. Isto indica que os métodos químicos de rotina e de determinação do potássio não trocável subestimam a capacidade das plantas em absorver potássio dos solos. A amostra A30T30, o Knt do solo não se alterou com os cultivos. Na amostra A30T90 aumentou de 43 mg kg^{-1} para 112 mg kg^{-1} indicando que altas doses adicionadas no solo são adsorvidas a estes compartimentos não detectados pelos métodos de análise de rotina (Tabela II.6) e compõe uma reserva potencialmente disponível as plantas detectadas somente por extratores de potássio não trocáveis como o HNO_3 .

Os teores de Knt na amostra A120T0 diminuíram de 90 mg kg^{-1} para 49 mg kg^{-1} enquanto que na amostra A120T90 os teores aumentaram de 90 mg kg^{-1} para 142 mg kg^{-1} . A maior contribuição do Knt nesta amostra é decorrente do seu histórico de adubações e cultivos durante 15 anos com altas adições de potássio, preservando maiores quantidades de potássio nos compartimentos do solo, que são extraídos por HNO_3 . O aumento de potássio na forma não trocável, decorrente das adições no solo (A120T90) pode representar uma reserva em formas não definidas, que são detectadas por extratores químicos como o HNO_3 que podem ser mobilizadas com os cultivos (Welch & Scott, 1961).

No Latossolo (L60 e L380) o comportamento das amostras foi semelhante ao Argissolo. No entanto, a amostra com baixo teor inicial de potássio (L60) teve uma maior reserva de Knt que o Argissolo, decorrente do maior valor dos teores trocáveis (Tabela II.6) que garantiu ao Latossolo um suprimento de potássio das reservas não trocáveis até o 4º cultivo, que foi detectada com a diminuição dos valores de Knt (Tabela II.6). Nas amostras L60T30 também ocorreu diminuição do Knt e somente no L60T90 ocorreu aumento na reserva de Knt que foi detectada após o 11º cultivo, indicando que apenas altas adições de potássio nos solos, acima dos teores absorvidos e exportados via “consumo de luxo”, ocorre o aumento das reservas de Knt.

Na amostra L380T0 o Ktr e Knt diminuiu até o 8º cultivo sendo que o esgotamento das formas trocáveis e não trocáveis ainda não foi completa, pois o valor de Ktr foi maior que os valores de potássio encontrados na amostra L60T0. Nas amostras L380T0 e L380T90 também ocorreu diminuição dos valores de Ktr e Knt decorrentes dos altos valores iniciais encontradas neste solo.

A quantidade de potássio acumulada na parte aérea das plantas aumentou com a adição de potássio (Tabela II.6). Este aumento é provocado devido aos mecanismos que regulam a absorção de potássio pelas plantas, que acabam absorvendo quantidades deste elemento acima de suas necessidades metabólicas e armazenam em organelas nas células, caracterizando o chamado “consumo de luxo” (Marschner, 1995).

As reservas de potássio existentes em ambos os solos que encontram-se presentes na entrecamada dos minerais do tipo 2:1 são liberadas às plantas sob cultivos sucessivos (Tabela II.6). Isso possibilitou a baixa resposta das culturas mesmo quando os teores de potássio denominado de não trocáveis eram baixos, o que ocorreu em ambos os solos. Sob esta hipótese, Moody & Bell (2006) propuseram um diagrama da disponibilidade de potássio estrutural para os solos, sendo que as reservas presentes na estrutura dos minerais são diretamente absorvidas pelas plantas e não passa pela fase trocável ou não trocável.

Os resultados de potássio trocável e não trocável no solo obtidos nas amostras A30, A120, L60 e L380 (Tabela II.6) confirmam as tendências já relatadas por Oliveira et al. (1971), Mielniczuk & Selbach (1978a), Patella (1980), Rosolem et al. (1988), Nachtigall & Vahl (1991), Rosolem et al. (1993), Castinhos & Meurer (2002), Bortoluzzi et al. (2005), Brunetto et al. (2005) e Moody & Bell (2006) de que as formas de potássio não trocável, normalmente estimadas pelo NaTPB ou pelo HNO₃, podem tamponar as formas disponíveis. No entanto, sob vários cultivos sucessivos, o desenvolvimento das plantas é dependente da liberação de potássio estrutural, não estimada por estes extratores químicos. A capacidade de fornecimento de potássio denominado de não trocável é associada à presença de minerais primários, parcialmente intemperizado na fração argila dos solos e do seu histórico de adições e acumulações nas formas não trocáveis (L380 e A120).

O índice potássio disponível é um bom parâmetro para indicar a disponibilidade de potássio a curto prazo, porém, não estima a capacidade de suprimento, pois a quantidade absorvida pelas plantas foi superior em 100 % os

teores trocáveis. Moody & Bell (2006) encontraram valores absorvido pelas plantas superiores a 300 % do que os teores trocáveis em nove cultivos sucessivos, em solos da Austrália. Desta maneira, os extratores não trocáveis estimaram parcialmente a capacidade de suprimento, assim como foi encontrado por Moody & Bell (2006), que o potássio estrutural é componente das formas acessíveis às plantas, quando realizado em cultivos sucessivos sem a adição de potássio no solo.

Produção de matéria seca e acumulação de potássio pelas plantas

A produção de matéria seca das plantas na amostra A30 aumentou significativamente com a adição de potássio no 8° e 9° cultivo (feijão e feijão de porco), sendo que nos demais cultivos foi similar entre eles. No 7° e 11° cultivo (milheto e aveia) as plantas apresentaram sintomas de deficiência de enxofre nas amostras A30T90 e A120T90, prejudicando a produção de matéria seca. A amostra A120 aumentou a produção de matéria seca apenas no 8° cultivo (feijão), mesmo quando a disponibilidade inicial de potássio era alta no início dos cultivos. Assim, os cultivos sucessivos sem a adição de potássio reduziram a disponibilidade deste elemento, esgotando as formas disponíveis, mas a alta capacidade de suprimento de potássio nestes solos fez com que apenas as culturas com alta exigência, como o feijão, apresentassem resposta a sua adição (Tabela II.7 e II.8). Como as gramíneas, em geral, apresentam maior habilidade em absorver e acumular potássio em seus tecidos, a resposta a fertilização foi baixa. As leguminosas, com exceção da soja, foram as culturas que apresentaram o maior número de cultivos com deficiência em potássio no tratamento T0.

A diferença na produção de matéria seca entre as espécies ocorre devido a habilidade de cada cultura em absorver potássio, que afeta a produção em condições de baixa disponibilidade (Fernandes et al., 1993). Os mecanismos de absorção, como o Km, medida da afinidade do sistema transportador da raiz pelo ions a serem transportados (Fernades & Souza, 2006), volume do sistema radicular e taxa de absorção radicular (Barber, 1982), são parâmetros que definem a absorção do nutriente, além da duração dos cultivos e, por isso, não é possível a comparação entre os cultivos com espécies diferentes.

Tabela II.7 - Matéria seca da parte aérea das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação, decorrentes da adição de fertilizantes potássicos adicionadas no Argissolo.

Solo	Dose aplicada	Cultivo											DMS ¹	CV, %
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹												
A30	0 ²	5,3	2,2	3,6	1,0	1,8	0,7	2,4	4,1	9,0	2,7	1,3	0,3	9,6
	330 ³	5,6	2,4	4,4	1,2	2,5	2,1	1,7	4,9	10,5	3,5	1,8	0,3	7,3
	940 ⁴	4,8	2,4	3,7	1,4	2,4	1,8	1,4	7,1	10,9	3,0	1,1	0,5	12,8
A120	0 ²	4,8	2,6	3,4	1,3	2,0	2,0	2,8	5,1	9,3	3,3	1,2	0,4	12,1
	330 ³	5,4	2,6	4,1	1,5	2,5	2,9	2,3	6,4	10,9	3,7	2,1	0,6	13,2
	940 ⁴	5,5	2,7	2,6	1,4	2,6	1,8	1,1	7,8	9,8	3,8	1,4	0,5	12,8

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha = 0,05$); ² tratamento T0; ³ tratamento T30; ⁴ tratamento T90.

Tabela II.8 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os rendimentos de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos e as adições de fertilizantes potássicos no Argissolo.

Solo	Cultivo	Parâmetro da regressão		
		b ₀	B ₁ x	R ²
A30	1-7 ^{ns}			
	8 ¹	4,03	0,004	0,89
	9 ¹	9,41	0,018	0,53
	10-11 ^{ns}			
A120	1-7 ^{ns}			
	8 ¹	5,23	0,030	0,84
	9-11 ^{ns}			

¹ significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

A produção de matéria seca das plantas aumentou no 5º cultivo (feijão) com a adição de potássio, apenas na amostra L60 (Tabela II.9 e Tabela II.10). A amostra L380 não aumentou significativamente a produção de matéria seca, mesmo no tratamento testemunha, devido a alta disponibilidade inicial (380 mg kg⁻¹) que garantiu o suprimento de potássio durante os cultivos.

Tabela II.9 - Matéria seca da parte aérea das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação decorrentes da adição de fertilizantes potássicos no Latossolo.

Solo	Dose aplicada mg kg ⁻¹	Cultivo								DMS ¹	CV, %
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Matéria seca da parte aérea											
L60	0 ²	1,3	2,3	2,7	2,9	5,7	9,2	4,1	1,6	0,9	9,8
	180 ³	1,2	2,4	2,5	3,6	6,1	10,3	4,0	2,3	0,9	10,4
	540 ⁴	1,8	2,6	2,7	3,0	6,7	10,3	4,4	2,4	1,0	13,1
L380	0 ²	1,4	2,9	3,5	3,8	7,7	9,9	4,4	2,3	1,1	13,2
	180 ³	0,9	2,5	2,5	4,5	6,5	11,0	5,0	2,6	1,1	13,0
	540 ⁴	1,5	2,9	3,6	3,6	7,5	11,7	4,8	2,3	0,7	6,7

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha = 0,05$); ² tratamento T0; ³ tratamento T30; ⁴ tratamento T90.

Tabela II.10 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os rendimentos de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos e as adições de potássio no Latossolo.

Solo	Cultivo	Parâmetro da regressão		
		b ₀	B ₁ x	R ²
L60	1-4 ^{ns}	5,68	0,012	0,50
	5 ¹			
	6-8 ^{ns}			
L380	1-8 ^{ns}			

¹ significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Nas amostras A30T0 e L60T0 a produção de matéria seca foi uniforme entre os solos (Tabela II.7 e Tabela II.8). Isso mostra que ambos os solos apresentam capacidade de tamponamento de potássio, que permitiu absorção de potássio suficiente para o desenvolvimento das plantas durante os cultivos. Isso permite inferir que as reservas de potássio, promovidas por adições massivas, quando permanecem no solo em formas adsorvidas com baixa energia (extraída por Mehlich-1), podem ser remobilizadas pelas plantas cultivadas e mantém a capacidade de suprimento até que os teores estimados pelo extrator Mehlich-1 sejam comparáveis aos teores iniciais do solo, antes das adições.

4.4 CONCLUSÕES

O extrator de potássio Mehlich-1 foi sensível para a avaliação o disponível em curto prazo, mas os extratores de potássio denominado de “não trocável” extraído por NaTPB e HNO₃ estimam satisfatoriamente a depleção no decorrer de cultivos sucessivos. O Argissolo apresentou maior capacidade de suprimento de potássio que o Latossolo

5. ESTUDO III:

ALTERAÇÕES NA MINERALOGIA EM UM ARGISSOLO E LATOSSOLO SOB CULTIVOS SUCESSIVOS E ADIÇÕES DE POTÁSSIO

RESUMO

O cultivo de plantas sem suprimento de potássio em solos com argilominerais 2:1 pode forçar a liberação do elemento da entrecamada, alterando a mineralogia. Argilominerais como illita e vermiculita e seus interestratificados são pouco estudados em solos tropicais principalmente no que tange a nutrição potássica às plantas. O objetivo deste estudo foi investigar as alterações mineralógicas da fração argila de um Argissolo Vermelho distrófico típico e um Latossolo Vermelho distrófico típico com o cultivo de plantas com e sem adição de potássio. Amostras de 0-10 cm foram coletadas no tratamento testemunha e no de maior dose de potássio em experimentos com longo histórico de cultivo. As amostras foram utilizadas como substrato em vasos, onde foram realizados cultivos em casa de vegetação no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. Os vasos com capacidade de 3 kg receberam 11 cultivos no Argissolo e 8 no Latossolo, e a adição de 0, 30 e 90 mg kg⁻¹ de potássio a cada cultivo. Ao final dos cultivos, amostras de solo foram coletadas dos vasos nos tratamentos sem adição e aquele que recebeu 90 mg kg⁻¹ de potássio. Extraíu-se a fração argila, a qual foi preparada com saturações e aquecimentos para a difratometria e fluorescência de raios X. O cultivo de plantas no Argissolo sem adição de potássio alterou a mineralogia. No Latossolo não houve alteração perceptível por difratometria de raios X na mineralogia do solo após os cultivos sucessivos.

Palavras chave: mineralogia, argilominerais 2:1, difração de raios X, cultivo de plantas

5.1 INTRODUÇÃO

Acreditava-se que em solos altamente intemperizados, como os que ocorrem no Brasil, o fornecimento de potássio às plantas fosse completamente dependente das adições via adubação, visto que as reservas encontradas nos solos são baixas (Raij, 1981). No entanto, diversos estudos entre eles o estudo II do presente trabalho demonstrou que solos apresentam reservas de potássio, adsorvidas com alta energia que são acessíveis às plantas, principalmente quando sujeitos a cultivos sucessivos. As plantas removem facilmente o potássio presente nas cargas variáveis dos argilominerais e da matéria orgânica, assim como o extrator Mehlich-1 usado nas análises químicas de rotina. No entanto, o potássio presente na cavidade siloxana de argilominerais 2:1, como illita e vermiculitas, apresentam uma energia de ligação superior a capacidade de troca dos extratores utilizados. Isto se deve em parte, segundo Fanning et al. (1989), ao raio iônico do potássio não hidratado (0,133 nm), que é próximo à dimensão da cavidade siloxana (0,210 nm) formando ligações de esfera interna. Já, o potássio presente na estrutura cristalina dos minerais primários, como feldspatos, é liberado somente com a microdivisão e hidrólise deste mineral.

As plantas interferem na relação entre as formas de potássio no solo (estudo II), com reflexos na magnitude do potássio considerado não trocável e estrutural. Alterações na mineralogia do solo decorrentes do cultivo de plantas com adições ou ausência de adubação potássica foram encontradas por Mojallali & Weed (1978), Hinsinger et al. (1992) e Bortoluzzi et al. (2005), entre outros. Os trabalhos foram realizados em sua grande maioria em solos temperados, onde a reserva de potássio é maior (Mortland et al., 1956; Mojallali & Weed, 1978; Hinsinger et al., 1992; Pal et al., 2001a; Velde & Peck 2002; Pernes-Debuyser et al., 2003). No entanto, muito pouco se conhece sobre a relação entre o potássio e as plantas em solos subtropicais, que apresentam baixas quantidades de minerais com potássio e a alta presença de minerais do tipo 2:1 com hidróxi-Al entrecamada (Bortoluzzi et al., 2005).

O potássio adsorvido com alta energia na entrecamada pode ser acessível às plantas. A acessibilidade ocorre entre vários fatores devido a liberação de prótons

pelas raízes (Meurer, 2006), a ação de ácidos (Song & Huang, 1988) que baixam o pH da rizosfera e causam a dissolução parcial destes minerais, além da depleção de potássio decorrente da manutenção do equilíbrio químico (Gommers et al., 2005). Tal mudança de acessibilidade do potássio tem consequências sobre a mineralogia. Assim, a partir das micas, a remoção do potássio possibilita a formação de vermiculitas (Fanning et al. 1989), processo denominado de vermiculitização (Weed et al., 1969; Mojalalli & Weed 1978; Hinsinger et al., 1992). Em uma evolução natural dos solos, a intemperização pode não ser completa, espécies intermediárias como interstratificados illita-esmectita e illita-vermiculita, tornam-se presentes e constituem-se ainda em uma importante reserva de potássio com potencial de disponibilidade às plantas (Silva et al., 1995; Bortoluzzi et al., 2005). O cultivo de plantas em solos que apresentam esses argilominerais podem quando não suprido em potássio, possibilitar a liberação do potássio entrecamada (Hinsinger et al., 1992). A consequência da remoção de potássio nessas posições causa a expansão pela glicolação do pico, em difração de raios X, $d \sim 1,4$ nm para $d \sim 1,6 - 1,8$ nm ou alteração da fase $d \sim 1,0$ nm para $d \sim 1,4$ nm (Mojallali & Well, 1978; Hinsinger & Jaillard, 1993).

Alterações na mineralogia de solos subtropicais submetidos a cultivos com e sem adições de potássio podem ser menos evidentes que para solos temperados. No entanto, o efeito sobre estes minerais pode significar muito do ponto de vista de evolução do solo, de suas propriedades químicas e físicas, principalmente quanto à capacidade de troca de cátions e a retenção de elementos. Assim, é fundamental que dispositivos experimentais implementados em solos subtropicais que visem estudar a mineralogia do solo sejam de longa duração e proporcionem um estresse elevado a fim de evidenciar o efeito sobre a magnitude do elemento potássio no sistema. O cultivo sucessivo de plantas em ambientes confinados pode potencializar o fornecimento às plantas de potássio não trocável presente nos argilominerais 2:1 e auxiliar na compreensão da disponibilidade do elemento em curto prazo.

O objetivo deste estudo foi estudar as alterações mineralógicas da fração argila decorrentes de cultivos sucessivos de plantas num Argissolo e num Latossolo com longo histórico de fertilização potássica.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir de dois solos com históricos de fertilização potássica. As amostras foram coletadas num Argissolo Vermelho distrófico típico, proveniente de um experimento localizado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (experimento 1) e de um Latossolo Vermelho distrófico típico, coletado em um experimento localizado na Embrapa-soja, em Londrina, PR (experimento 2).

Histórico do experimento 1

O experimento foi instalado no campo experimental do Departamento de Solos da UFSM, em 1991. O solo apresentava na camada de 0-20 cm: 180 g kg⁻¹ de argila composta de caulinita, interestratificado do tipo ilita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2005) e caulinita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2007); 240 g kg⁻¹ de silte; 580 g kg⁻¹ de areia; 17 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 5,1; Ca+Mg trocável 3,5 cmol_c dm⁻³; CTC a pH 7,0 de 6,4 cmol_c kg⁻¹; alumínio trocável 0,65 cmol_c dm⁻³; fósforo disponível 3,2 mg kg⁻¹ e potássio disponível 50 mg kg⁻¹.

Na implantação do experimento foi aplicado e incorporado 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico a fim de elevar o pH em água do solo a 6,0. Os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Na parcela principal, com dimensões de 6 m x 16 m, foram aplicados quatro doses de K₂O (0, 60, 120 e 180) kg ha⁻¹ no início do experimento e nos anos de 1995, 1999 e 2002. No segundo cultivo de verão (1992), a parcela principal foi dividida em quatro subparcelas, com dimensões de 4 m x 6 m, onde se adicionou 60 kg K₂O ha⁻¹ em três delas; no terceiro cultivo, se adicionou a mesma dose em duas subparcelas e no quarto cultivo, se adicionou potássio somente em uma subparcela. A partir do quinto (1995) e nono ano (1999), foi reaplicada a dose de 60 kg K₂O ha⁻¹ nas subparcelas, exceto no ano de 2002, onde aplicou as doses iniciais nas parcelas. Nos quatro primeiros anos de condução do experimento (1991 a 1994) e depois de cada adubação, o solo foi revolvido com auxílio de enxada rotativa e retirados os resíduos das culturas da camada superficial do solo. Em 1995, adotou-se o sistema de plantio direto e as doses de potássio

foram aplicadas na superfície do solo. No ano de 2003, as subparcelas foram excluídas e as parcelas principais que recebiam 0, 60, 120 e 180 kg K₂O ha⁻¹ e passaram a receber 0, 30, 60 e 90 kg K₂O ha⁻¹ (T0, T30, T60 e T90 respectivamente). Essas doses foram aplicadas nas culturas da soja (safra 04/05), da mamona (safra 06/07) e do trigo (07). Nos cultivos da soja (safra 05/06) e da aveia preta (05 e 06) não foram adicionados potássio.

As espécies estivais cultivadas ao longo do experimento foram: soja (*Glycine max*, L. Merrill), nas safras 91/92, 92/93, 93/94, 94/95, 95/96, 96/97, 97/98, 03/04, 04/05 e 05/06; milho (*Zea mays*, L.), nas safras 99/00 e 01/02; sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench), na safra 00/01; feijão de porco (*Canavalia ensiformis*, DC.), na safra 2002 e mamona (*Ricinus communis*, L.), na safra 06/07. As espécies hibernais cultivadas foram: aveia-preta (*Avena strigosa*, Scherb) no inverno de 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 03, 05 e 06; aveia + ervilhaca (*Vicia sativa*, L.), no inverno de 2000 e 2001 e trigo (*Triticum aestivum*, L.) no inverno de 2004 e 2007. O solo permaneceu em pousio no inverno de 98 e na safra 98/99. Em cada cultivo foi adicionado nitrogênio e fósforo conforme a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo (CFS-RS/SC, 1995) e da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004). Em novembro de 2005 foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm da parcela testemunha (A30) e da parcela que recebeu 1380 kg K₂O ha⁻¹ (A120) até outubro de 2006. Estas amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm e determinados os seus atributos químicos (Tabela III.1).

Histórico do experimento 2

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa-soja, Londrina, PR e apresentava na camada de 0-10 cm as seguintes características: 820 g kg⁻¹ de argila, com mineralogia composta de caulinita, vermiculita hydroxi-Al; 140 g kg⁻¹ de silte; 20 g kg⁻¹ de areia; 26 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água 5,2; Ca+Mg trocável 5,9 cmol_c dm⁻³; alumínio trocável de 0,2 cmol_c dm⁻³; fósforo disponível de 24 mg kg⁻¹ e potássio disponível de 280 mg kg⁻¹ (Silva et al., 1995). No início do experimento foi adicionado 5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar o pH a 6,0 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a correção do solo.

Os tratamentos foram constituídos de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg K₂O ha⁻¹, aplicados na linha de semeadura, no cultivo de verão, com quatro repetições. Nos

anos 1988 a 1993 não foram aplicados potássio para avaliar o efeito residual das adições deste elemento. Em 1994, novamente foram aplicados os tratamentos iniciais, sendo as doses distribuídas da seguinte forma: 40 kg K₂O ha⁻¹ na semeadura, exceto no tratamento testemunha e em cobertura aos 30 dias após a emergência, as doses de 0, 0, 40, 80, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹ respectivamente para completar as quantidades dos tratamentos iniciais, 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg K₂O ha⁻¹. Os cultivos das culturas comerciais realizadas foram: soja (*Glycine max*, L. Merrill) nas safras de 82/83 até 00/01; girassol (*Helianthus annuus*, L.) nas safras de 01/02, 02/03, 03/04 e 04/05; aveia (*Avena strigosa*, Scherb) nos anos 89 e 90; milho (*Zea mays*, L.) no ano de 03; nabo forrageiro (*Raphanus sativus*, L.) no ano de 05 e trigo (*Triticum aestivum*, L.) nos anos de 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99 e 04. Em fevereiro de 2006 foram coletadas amostras de solo da camada de 0-10 cm do tratamento testemunha (L60) e do tratamento que recebeu a adição de 3200 kg K₂O ha⁻¹ (L380). Estas amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm e determinados os seus atributos químicos (Tabela III.1).

Tabela III.1 - Atributos das amostras de solos (Argissolo e Latossolo) da camada 0-10 cm coletadas nos experimento a campo e usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Atributos	Argissolo	Latossolo
Argila, g kg ⁻¹ (1)	157	820
Silte, g kg ⁻¹ (1)	240	140
Areia, g kg ⁻¹ (1)	603	40
Carbono, g kg ⁻¹	8	26
pH-H ₂ O	5,3	5,2
H +Al, cmol _c kg ⁻¹	3,1	6,9
Cálcio trocável, cmol _c kg ⁻¹	2,5	5,1
Magnésio trocável, cmol _c kg ⁻¹	0,7	1,3
Alumínio trocável, cmol _c kg ⁻¹	0	0,4
K trocável, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	0,08	0,13
K trocável, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	0,36	0,98
CTC efetiva, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	3,28	6,93
CTC efetiva, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	3,56	7,78
CTC pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹ Sem adição K	6,38	13,83
CTC pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹ Com adição K	6,66	14,68

(1) granulometria por Embrapa (1997); atributos químicos por Tedesco et al. (1995).

Cultivos sucessivos

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, RS, em esquema trifatorial [2X2X3] com 4 repetições. Os tratamentos constituíram-se na combinação de dois solos (Argissolo e Latossolo), dois níveis de potássio disponível decorrentes dos históricos de adubação realizadas no campo (Argissolo = A30 e A120 e Latossolo = L60 e L380) e três doses de potássio adicionadas nos vasos (0, 30 e 90 mg kg⁻¹). A unidade experimental foi constituída de vasos com 3 kg de solo, 21 cm de altura x 21 cm de diâmetro, cultivados com plantas de diferentes espécies (Tabela III.2). Na instalação do experimento em casa de vegetação foram aplicados carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (proporção de 2:1) reagente PA para elevar o pH a 6,0. O solo foi incubado na capacidade de campo durante 15 dias. A adição de potássio, assim como os demais nutrientes, foi realizada nos cultivos na forma de solução nutritiva, utilizando-se de reagentes PA. As doses adicionadas dos elementos, as culturas utilizadas, número de dias de cada cultivo e o número de plantas por vaso em cada cultivo encontram-se descritas na Tabela III.2.

Tabela III.2 - Espécies cultivadas, e detalhes da adubação e dos cultivos em experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Cultivo		Espécie	Nº dias de cultivos	Número de plantas	Dose de K ₂ O adicionado	Nutrientes adicionados
Argissolo	Latossolo					-----mg kg ⁻¹ -----
1		Soja	38	4	0, 75 e 200	N= 30, P= 150, S= 15, Zn= 7,5, Cu= 4,5, Mo= 0,15, B= 4,5
2		Aveia	68	9	0, 75 e 200	N= 15
3		Milho	55	4	0, 30 e 90	N= 15
4	1	Sorgo	30	7	0, 30 e 90 ¹	N= 15
5	2	Aveia	55	8	0, 30 e 90	N= 30
6	3	Aveia	49	5	-	N= 30
7	4	Milheto	41	5	-	N= 22,5
8	5	Feijão	30	4	0, 30 e 90	N= 15, P= 150, S= 15, Zn= 7,5, Cu= 4,5, Mo= 0,15, B= 4,5
9	6	Feijão	38	3	0, 30 e 90	N= 30
10	7	Soja	32	5	0, 30 e 90	N= 15
11	8	Aveia	46	12	0, 30 e 90	N= 45

¹ Foram adicionados nutrientes nas mesmas doses adicionadas no cultivo primeiro do Argissolo.

As sementes das espécies foram semeadas após pré-germinação e a umidade do solo foi corrigida diariamente, até a capacidade de campo, com pesagens dos vasos. As plantas foram coletadas quando apresentavam redução de seu crescimento vegetativo, aproximadamente aos 30 a 60 dias após emergência. Os cultivos foram realizados durante o período de 31/01/2005 a 30/07/2007. No experimento 1, sobre Argissolo, foram realizados 11 cultivos enquanto no Latossolo foram 8 cultivos. A coleta das amostras de solos foi realizada após os cultivos sucessivos em casa de vegetação, nos tratamentos T0 e T90 de ambos os solos (Argissolo e Latossolo) e tratamentos aplicados no campo (A30, A120, L60 e L380) como demonstrado na figura III.1. As amostras foram coletadas após a remoção das raízes do solo (peneiramento) e secas ao ar.

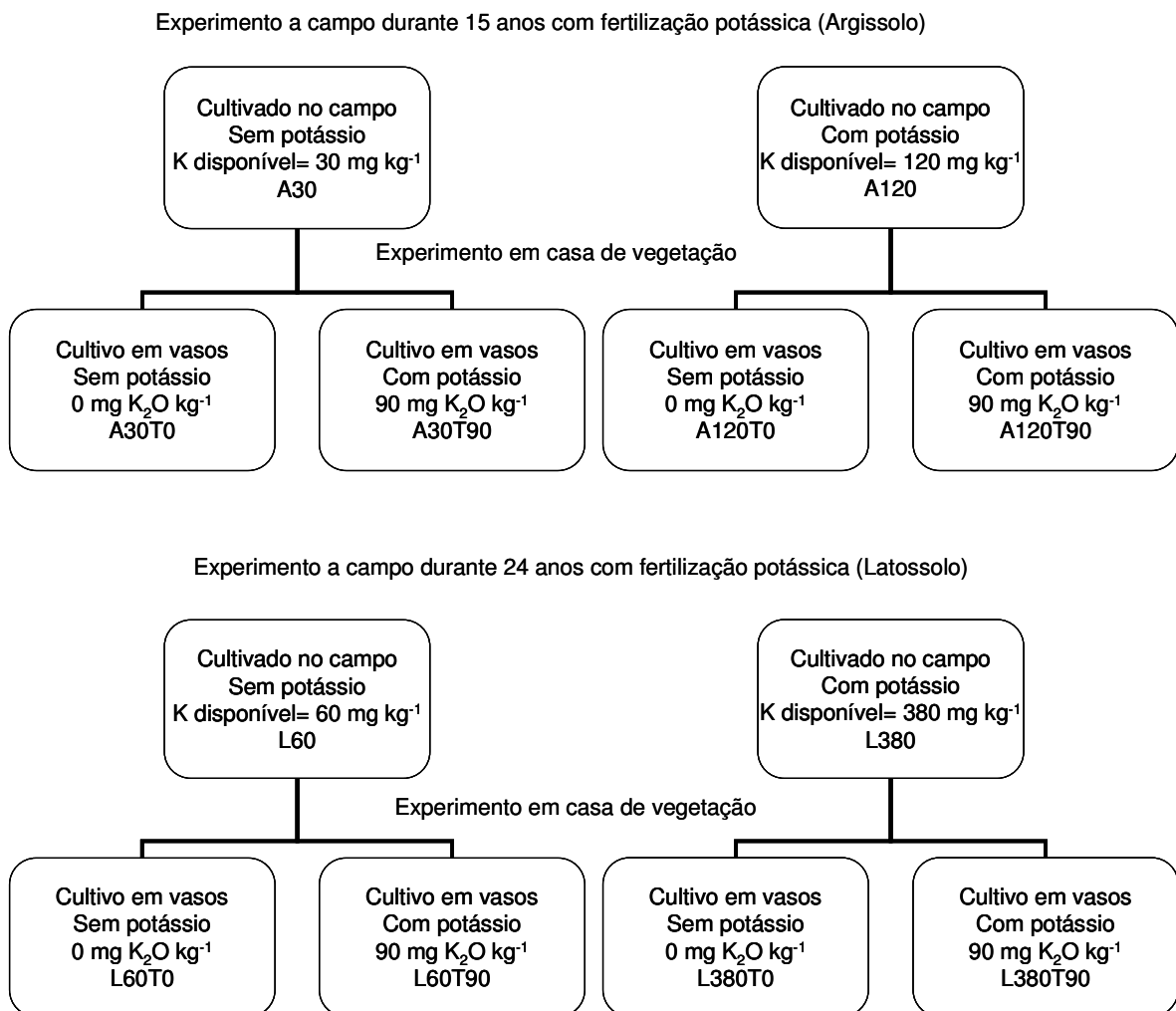


Figura III.1 - Esquema da montagem do experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação e dos tratamentos aplicados no cultivo de campo no Argissolo e Latossolo.

Preparação das amostras para a análise de mineralogia

A análise mineralógica do solo foi realizada na fração argila das amostras A30, A120, L60 e L380 antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação e nas amostras A30T0, A30T90, A120T0, A120T90, L60T0, L60T90, L380T0 e L380T90 após o cultivo sucessivo de plantas. As amostras de solo foram tratadas com peróxido de hidrogênio (30 %) para eliminar a matéria orgânica. No solo, foram adicionadas 100 mL de água destilada e 25 mL peróxido de hidrogênio (30 %). A oxidação dos compostos orgânicos foi em temperatura ambiente e, após a reação de oxidação, foi centrifugada a 2000 rpm durante 5 min e descartado o sobrenadante. A dispersão da argila foi realizada em frasco de 350 mL, adicionando-se 200 mL de água destilada e 50 mL de NaOH (6 %), juntamente com duas esferas de nylon. No dia seguinte, as amostras foram agitadas horizontalmente a 120 rpm durante 4h. Ao final da agitação transferiu-se a suspensão para proveta de 1000 mL, passando por peneira n° 270 (0,053 mm), para separação da fração areia. Esta foi seca em estufa de ar forçado a 60 °C até peso constante, separada em areia grossa (2,0-0,2 mm) e areia fina (0,2-0,05 mm) por peneiramento (Bortoluzzi & Poletto, 2006).

A fração menor de 50 µm foi colocada em proveta com capacidade de 1000 mL e completada com água destilada até 900 mL. A alíquota foi dividida em 4 frações de 225 mL e centrifugada a 800 rpm durante 3,45 min para separar a fração < 2 µm. A coleta da suspensão foi realizada com o auxílio de um sifão, retirando aproximadamente de 125 mL, que corresponde a uma profundidade de 5 cm a partir da superfície superior da amostra. Este procedimento foi realizado até a remoção completa da fração argila. A fração argila foi floculada utilizando CaCl e dividida em 2 partes para saturação com KCl e MgCl. A fração silte foi obtida a partir do material que restou no fundo do tubo após a centrifugação.

Na fração argila do Latossolo eliminou-se o ferro livre, utilizando-se citrato de sódio (0,3 M) e bicarbonato de sódio (0,5 M) aquecido durante 15 min (Bortoluzzi & Poletto, 2006). As amostras da fração argila do Argissolo não foram desferrificadas. A saturação da argila com os íons potássio e magnésio ocorreu através da adição de 40 mL de solução 1 mol L⁻¹ de KCl e MgCl, respectivamente, em contato durante 24h. A lavagem do excesso dos íons K e Mg foi com água destilada e centrifugação a 2000 rpm durante 5 min, até o teste positivo para nitrato de prata.

As lâminas foram confeccionadas em modo orientado através da deposição de uma suspensão de partículas de argila sobre lâminas de vidro (depósito orientado). As amostras normais são aquelas submetidas a temperatura ambiente e tratadas com magnésio (Mg). Estas foram posteriormente saturadas com etileno glicol (EG) durante 5 a 7 dias. As lâminas tratadas com potássio (K) foram submetidas a temperatura de 25°C (K) e aquecidas a 100 °C (K100), 350 °C (K350) e 550 °C (K550), em mufla, durante 120 min.

Os difratogramas de raios X (DRX) foram obtidos utilizando-se um difratômetro a reflexão, modelo Shimadzu XD-7A, operando com radiação Cu-K α a 40 kw de voltagem e uma corrente de 20 mA, pertencente ao Laboratório Magnetismo e Materiais Magnéticos (LMMM) da UFSM. As amostras iniciais foram difratadas na amplitude angular de 2 a 35° (2 θ), para caracterização do solo e intervalo de leitura de 0,05°, com tempo de leitura de 3 s. Nas amostras saturadas com EG as leituras foram em amplitude de 2 a 14° (2 θ), com intervalo de leitura de 0,05° e tempo de contagem de 3 s. As amostras fração areia grossa, areia fina e silte foram confeccionadas na forma de lâminas em pó, com amplitude angular de 2 a 75° (2 θ), intervalo de leitura de 0,05° e tempo de contagem de 3 s. Nas amostras coletadas após os cultivos sucessivos de plantas, as leituras em difração de raios X da fração argila foram na amplitude de 2 a 14° (2 θ), com intervalo de leitura de 0,02°, e tempo de contagem de 5 s.

Análise de fluorescência de raios X

Amostras iniciais e após os cultivos sucessivos de plantas foram submetidas a fluorescência de raios X para a determinação da composição química da fração argila. As amostras de argila natural foram separadas segundo Embrapa (1997), com separação por centrifugação segundo Bortoluzzi & Poletto (2006). A suspensão de argila foi seca em estufa de ar a 50 °C, durante aproximadamente 7 dias. As amostras secas foram moídas e submetidas a espectrometria de fluorescência de raios X. Utilizou-se amostras iniciais (A30, A120, L60 e L380) e as amostras após os cultivos sucessivos (A30T0, A120T90, L60T0, L380T90). Foi utilizado um equipamento Shimadzu EDX-720 (Energy dispersive X-ray spectroscopy), operando com radiação de Rh, com tensão de 50 kV. As amostras foram determinadas em pó, aproximadamente 3 g e protegidas por um filme Myla com diâmetro de 6 μ m operando a vácuo. O equipamento é pertencente ao Departamento de Engenharia

Florestal do Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS-UFSM).

Identificação dos minerais do solo

A identificação seguiu o espaçamento dos prováveis picos de minerais ocorrentes nos solos segundo Resende et al. (2005). As amostras de quartzo foram identificadas pelo pico $d = 0,423$ nm e $0,333$ nm. Os feldspatos de potássio foram identificados pelo pico $d = 0,330$ nm. A mascarita foi identificada pelo pico $d = 0,176$, ilmenita pelo pico a $d = 0,147$ nm, anatásio com pico a $d = 0,238$ nm e goethita a $d = 0,224$ nm. A gibbsita caracteriza-se pelos picos a $d = 0,485$ nm; goethita a $d = 0,219$ e hematita a $d = 0,367$.

Na fração argila foi identificado os minerais no plano basal $00l$. A caulinita foi identificada pela presença do pico a $d = 0,72$ nm (001) e $d = 0,355$ nm (002) com tratamento normal, e quando aquecida a 550 °C houve a eliminação completa destes picos. A vermiculita com hidróxi-Al foi identificada por meio do pico a $d \sim 1,4$ nm na amostras normal, sem expansão quando tratada com EG, e quando saturada com potássio apresentou pico $d = 1,2$ nm. Quando aquecidas a 350 °C o pico a $d = 1,1$ nm não se deslocou completamente a $d = 1,0$ nm. A identificação da illita foi pela presença de pico $d = 1,0$ nm, sem modificação com aquecimento e com tratamento de EG. A presença de interestratificados do tipo illita-esmectita foi através do pico $d \sim 1,26$ nm, saturada com EG e quando saturada com potássio $d = 1,1$ nm e interestratificados do tipo caulinita esmectita pela posição do pico $d = 0,730$ nm. A superfície dos picos foi medida através da fórmula $SP = Lma \times Pmi$, em que SP = superfície do pico, Lma = largura em meia altura e Pmi = altura de intensidade máxima do pico.

Apresentação dos resultados

Os resultados foram discutidos da seguinte maneira: os difratogramas de raios X obtidos nas amostras coletadas no campo antes dos cultivos foram comparados aos tratamentos com adição de potássio (A120 e L380) e com as amostras coletadas no tratamento sem adição de potássio (A30 e L60). Após o cultivo de plantas foram comparadas as amostras de cada solo, submetido aos cultivos sucessivos sem adição de potássio e com alta adição de potássio. Foram comparados os DRX dos tratamentos normais, EG, saturadas com potássio e

submetidas a aquecimento. Também, foi comparada a área dos picos e os resultados da análise química dos elementos. Os resultados foram discutidos primeiro sobre o efeito dos cultivos a campo e posteriormente sobre o efeito dos cultivos em casa de vegetação sobre os minerais que contêm potássio na sua estrutura.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 - Caracterização mineralógica dos solos

A composição mineralógica da fração areia do Argissolo é composta predominantemente por quartzo, com picos de $d = 0,333$ nm e $d = 0,423$ nm. Foram encontrados minerais como maracasita ($d = 0,176$ nm), ilmenita ($d = 0,147$ nm), anatásio ($d = 0,238$ nm), goethita ($d = 0,224$ nm), dolomita ($d = 0,219$ nm) e magnetita ($d = 0,161$ nm) (Apêndice H). Na fração silte do Argissolo foram encontrados os mesmos picos referentes aos minerais presentes na fração areia além do pico $d = 0,330$ nm característico de um feldspato potássico (Apêndice H). Na mineralogia da fração argila foi identificada caulinita ($d = 0,720$ e $0,355$ nm), vermiculita com hidróxi-Al entrecamada ($d = 1,42$ nm), interestratificado ilita-esmectita ($d = 1,40$ e $d = 1,26$ nm) e caulinita-esmectita ($d = 0,732$ nm) (Apêndice I e J).

Na fração areia do Latossolo, o mineral predominante foi o quartzo com picos a $d = 0,420$ e $d = 0,333$ nm (Apêndice H). Foram encontrados minerais como a gibbsita ($d = 0,490$ nm), magnetita ($d = 0,163$ nm), amesita ($d = 0,192$ nm), ferrihidrita ($d = 0,147$ nm). Na fração argila do Latossolo o mineral predominante foi a caulinita ($d = 0,72$ e $0,36$ nm), a vermiculita com hidróxi-Al entrecamada ($d = 1,43$ nm) (Apêndice L e M). A presença de óxidos não foi verificada, mesmo nas amostras não desferrificadas. A provável causa pode ser a radiação utilizada no difratômetro de raios X, ($K\alpha$ Cu). Esta radiação afeta a identificação de óxidos de ferro, pois o Fe absorve a radiação Cu, que reduz a intensidade e acaba emitindo a sua própria radiação, que não é direcional, dificultando a detecção por DRX de óxidos de Fe (Whitting & Allardice, 1986).

2 - Efeito dos cultivos sucessivos no Argissolo Vermelho distrófico típico submetido a fertilização potássica

Efeito dos cultivos a campo

Os DRX apresentados na Figura III.2 são de amostras de solos cultivadas durante 14 anos com culturas comerciais sem adição de potássio (A30) e alta adição de potássio (A120). Como não se possui uma amostra de solo sob condição natural, os parâmetros avaliados são decorrentes dos cultivos afetados pela adubação potássica.

A Figura III.2 mostra um pico largo, uma banda, próximo a $d = 1,26$ nm, juntamente com alto ruído de fundo. Esse pico é associado à existência de interstratificado illita-esmectita, também encontrado por Bortoluzzi et al. (2005). O pico de $d = 1,42$ nm na amostra tratada com EG não mudou em direção aos menores ângulos. Este comportamento ocorreu em ambos os solos. Isto indica que a presença de vermiculita hidróxi-Al na entrecamada deste mineral bloqueia a expansão das entrecamadas que normalmente chegariam a $d = 1,7$ nm caso se expandissem. Como não ocorreu expansão, devido à presença do Al, necessita-se de mais testes, como a remoção do Al da entrecamada para a interpretação adequada deste tratamento no difratograma.

A amostra A30 apresentou pico $d = 0,73$ nm com menor intensidade do que a amostra A120 (Figura III.2). Este pico pode ser atribuído à presença de um interstratificado caulinita-esmectita (Bortoluzzi et al., 2007).

O cultivo de plantas com adição de altas doses de potássio (A120) no experimento de campo preservou maior quantidade da fase illita, verificada pela presença do pico $d = 1,01$ nm (Figura III.2). Na amostra A30, saturada com potássio não ocorreu o pico de $d = 1,01$ nm devido à remoção do potássio das camadas ilíticas e conseqüente abertura das entrecamadas, aumentando a proporção de vermiculita. Este comportamento corrobora com o observado por Mortland et al. (1956) em cultivos em vasos, que as plantas apresentam capacidade de remoção do potássio presente na entrecamada das micas, fase $d = 1,0$ a $1,2$ nm, com formação de vermiculita. Assim, as alterações decorrentes dos cultivos sem fertilizações potássicas são associadas às frações finas, ligadas aos minerais ilíticos.

Através dos DRX calculou-se a área do pico próximo a $d = 1,42$ nm, com o objetivo de verificar as modificações na proporção relativa dos minerais com o cultivo

de plantas (Tabela II.3). As áreas dos picos referente a distância $d = 1,42$ nm, nas amostras A30 e A120 saturadas com K, Mg, EG, K100, K350 e K550 não tiveram alterações. Isso indica que a vermiculita hidróxi-Al não contém potássio na estrutura ou o arranjo estrutural foi muito similar com o cultivo de plantas sem adição de potássio.

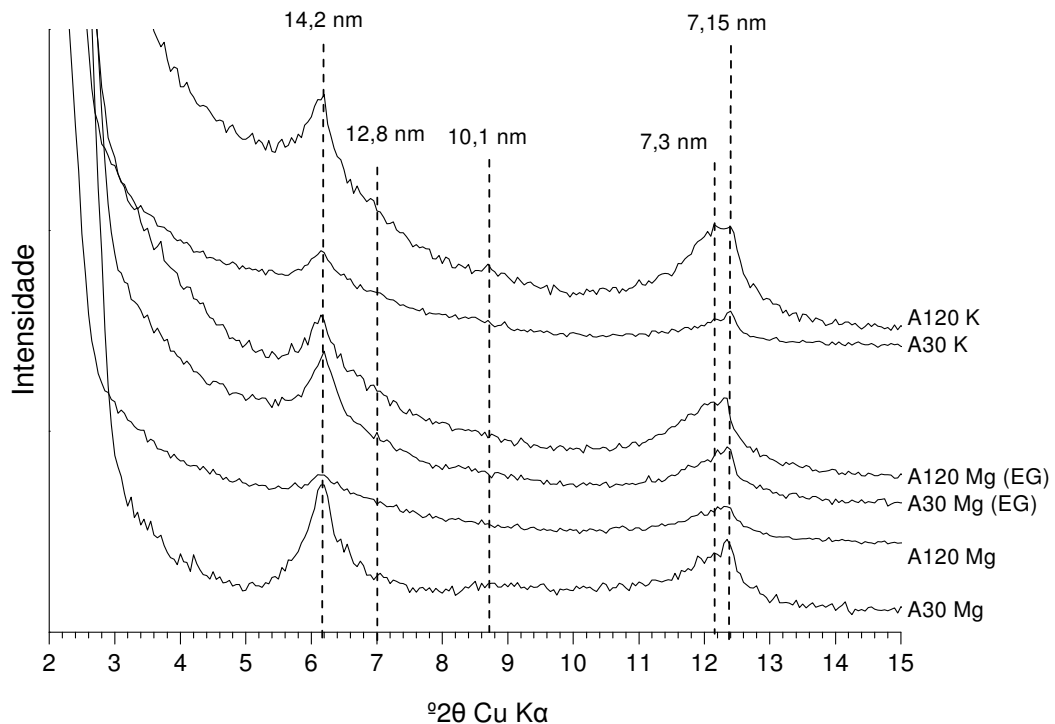


Figura III.2 - Difratogramas de raios X entre os ângulos 2 e 15 $^{\circ}2\theta$ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletada na camada de 0-10 cm da amostra sem adição de potássio (A30) e da alta dose (A120) no campo, tratadas com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

A fração argila das amostras A30 e A120 foram submetidas à espectrometria de fluorescência de raios X (Tabela III.4). O Si foi o elemento encontrado em maior quantidade, seguido pelo Al e Fe. A presença de quartzo nesta fração não foi identificada pelo DRX, o que pode inferir que a alta presença de Si na fração argila é devido à presença de minerais do tipo 2:1. A contribuição de potássio total neste solo após 15 anos de cultivo sem adição de potássio causou a diminuição de 10 % nos valores de potássio comparado a amostra com alta adição de potássio (Tabela

III.4). Esta diminuição é decorrente da exaustão das formas trocáveis, não trocáveis e estruturais. A contribuição das formas adsorvidas com alta energia, como a não trocável, presente na entrecamada dos minerais ilíticos, e a estrutural (na estrutura cristalina de feldspatos potássicos), mantém a capacidade de suprimento dos solos e afetam a mineralogia do solo (Tabela III.4). A alta capacidade de suprimento em potássio deste solo, encontrada no estudo II, justifica o impacto na mineralogia do solo, demonstrando que o potássio presente nas camadas ilíticas foram acessíveis às plantas durante os cultivos, modificando a mineralogia do solo. Em cultivos a campo durante 150 anos Singh & Goulding (1997) observaram que não ocorreu transformação na mica, mesmo sem adição de fertilizantes potássicos, mas encontrou diminuição do potássio total na fração argila e aumento significativo fase $d = 1,42$ nm respectivo a esmectita. Estes autores atribuíram a esse resultado uma resiliência da mineralogia do solo onde o solo manteve-se com grandes quantidades de potássio total, mesmo após 150 anos de cultivo sem a adição de potássio.

Tabela III.3 - Área do pico do espaçamento $d = 1,4$ nm da fração argila coletada no tratamento sem adição de potássio (A30) e no tratamento de maior dose (120) no experimento de campo do Argissolo.

Tratamentos	Área do pico	
	A30	A120
	----- cm ³ -----	
EG	1,14	1,11
MG	0,11	1,12
K	0,78	0,70
K100	0,63	0,60
K350	0,10	0,15
K550	0,10	0,10

Tabela III.4 - Teores de SiO₂, Al₂O₃, FeO₂, SO₃, TiO₂, K₂O, CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila de amostras coletas no tratamento sem adição de potássio (A30) e do tratamento de maior dose (A90) no experimento de campo do Argissolo.

Elemento ¹	Amostra inicial	
	A30	A120
	----- g kg ⁻¹ -----	
SiO ₂	242,90	223,30
Al ₂ O ₃	99,20	111,60
FeO ₂	89,10	94,00
SO ₃	11,50	13,40
TiO ₂	11,60	11,67
K ₂ O	6,02	6,66
CaO	4,96	3,64
MnO	1,31	1,05

¹ Não foi determinado o MgO

Efeito dos cultivos sucessivos em casa de vegetação

a) Amostra do Argissolo coletada no experimento a campo no tratamento testemunha (A30) submetida a cultivos sem adição de potássio (A30T0) e com adição de potássio (A30T90).

Os DRX da amostra A30 indicaram a presença de picos $d = 1,42$ nm e $d = 0,72$ nm respectivo a vermiculita hidroxí-Al e caulinita-esmectita respectivamente (Figura III.3). Nas amostras A30T0 e A30T90 o pico $d = 1,42$ nm não teve alteração com os cultivos em casa de vegetação (Figura III.3). A remoção do potássio das camadas iliticas não foi detectada após o cultivo em casa de vegetação, o que permite inferir que durante o cultivo de campo a remoção do potássio desta estrutura foi alta, e os cultivos em casa de vegetação não afetaram a mineralogia, pela baixa ou ausência de potássio em estruturas passíveis de serem deslocados. No DRX das amostras A30T0 e A30T90, saturadas com potássio e submetidos a aquecimento (K100, K350 e K550) ocorreu comportamento similar nas amostras. No entanto, ocorreu diferença na intensidade dos picos $d = 1,38$ nm respectivo a vermiculita com hidroxí-Al, aquecido a 350 °C e o fechado a $d = 1,01$ nm a 550 °C (Figura III.3). Nota-se que na amostra saturada com potássio no tratamento A30T90 aquecida a 550 °C o pico

$d = 1,01$ foi mais intenso. A presença de pico a $d = 1,01$ quando saturada com potássio e submetida a aquecimento significa maior presença de potássio na entrecamada da vermiculita com hidróxi-Al. A presença de hidróxi-Al na entrecamada na amostra A30T0 não ocorreu o pico característico $d = 1,01$ nm, devido à alteração desses argilominerais provocada pela remoção do potássio destas estruturas. O comportamento do pico $d = 1,42$ nm submetido ao tratamento com EG foi semelhante aos diagramas de raios X obtidos por Hinsinger et al. (1992) e Melo (1998) na fração argila. A presença de polímeros de Al na entrecamada, após a depleção do potássio, não causou a expansão deste mineral saturado com EG e limitou a sua expansão aos ângulos menores. Estes polímeros agem como estruturas físicas que, embora permita a substituição do potássio por outro íon na entrecamada, o rearranjo estrutural é muito similar, motivo pelo qual o pico foi próximo àquele da amostra saturada com Mg, diferentemente dos padrões de DRX encontrados por outros autores tais como Mortland et al. (1956), Doll et al. (1965), Mojallali & Weed (1978) e Rao et al. (2000) que utilizaram amostras de solos jovens, com presença predominante de minerais do tipo 2:1.

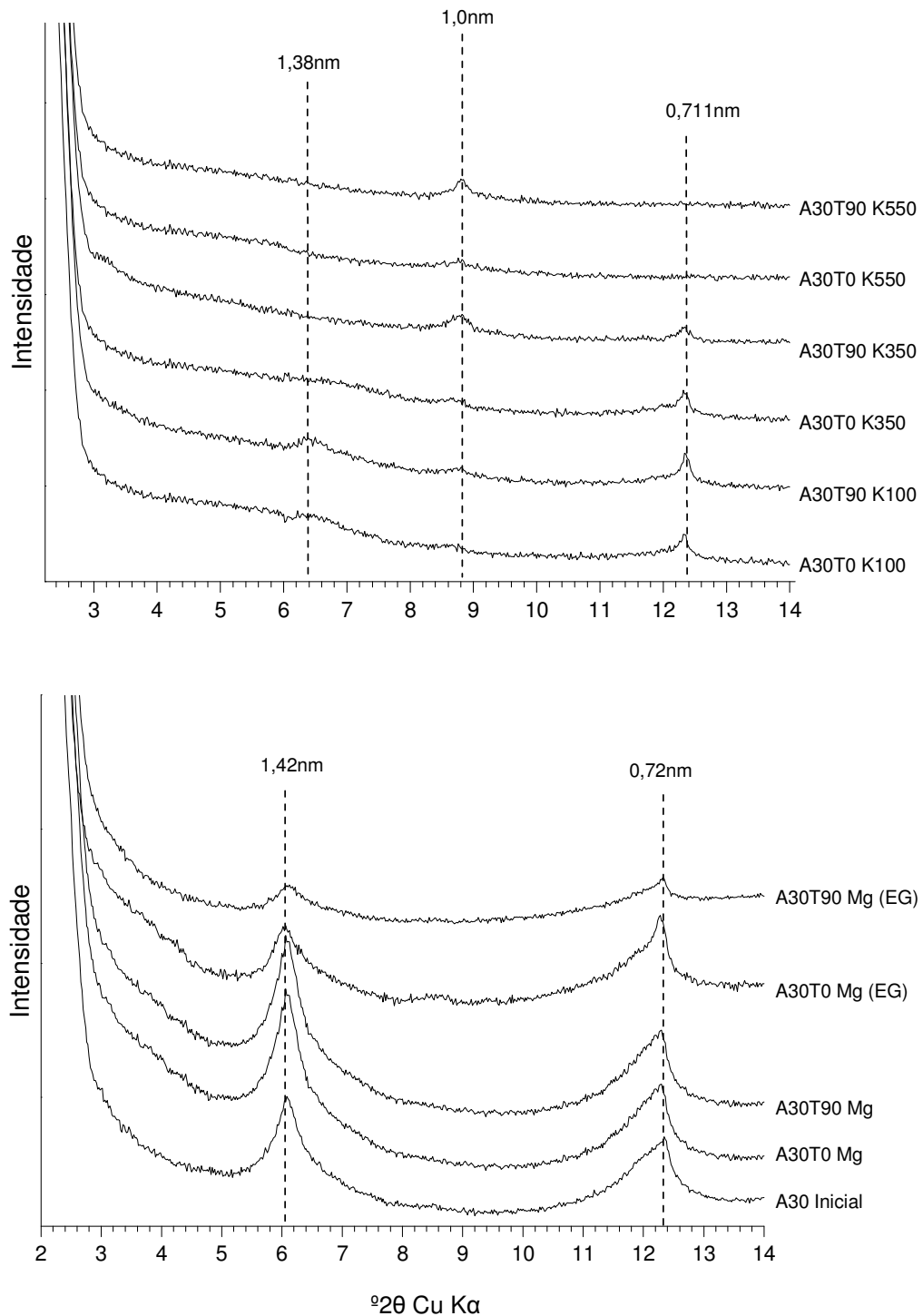


Figura III.3 - Difratogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 $^{\circ}2\theta$ da fração argila não desferrificada do Argissolo da amostra sem a adição de potássio (A30) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (A30T0) e de maior dose (A30T90) saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

b) Amostra do Argissolo coletada no experimento a campo do tratamento de maior dose potássio (A120) submetida a cultivos com adição de potássio (A120T90) e sem adição de potássio (A120T0).

As amostras A120T0 e A120T90 (Figura III.4) tiveram o padrão de comportamento semelhante aos picos $d = 1,42$ nm das amostras A30T0 e A30T90 (Figura III.3). Assim, o longo histórico de cultivos a campo acarretou em alterações em maior intensidade que as detectadas por DRX nos cultivos em casa de vegetação. A baixa quantidade de minerais ílíticos presente neste solo, e o elevado tempo de cultivos a campo causaram um alto impacto nesta fração. O cultivo de plantas com a adição de potássio, em solos com minerais do tipo 2:1 com potássio na sua estrutura, é preservado (A120T90) e quando submetido a cultivos sucessivos sem a adição do elemento (A120T0) tende ao esgotamento, causando modificação na mineralogia deste mineral.

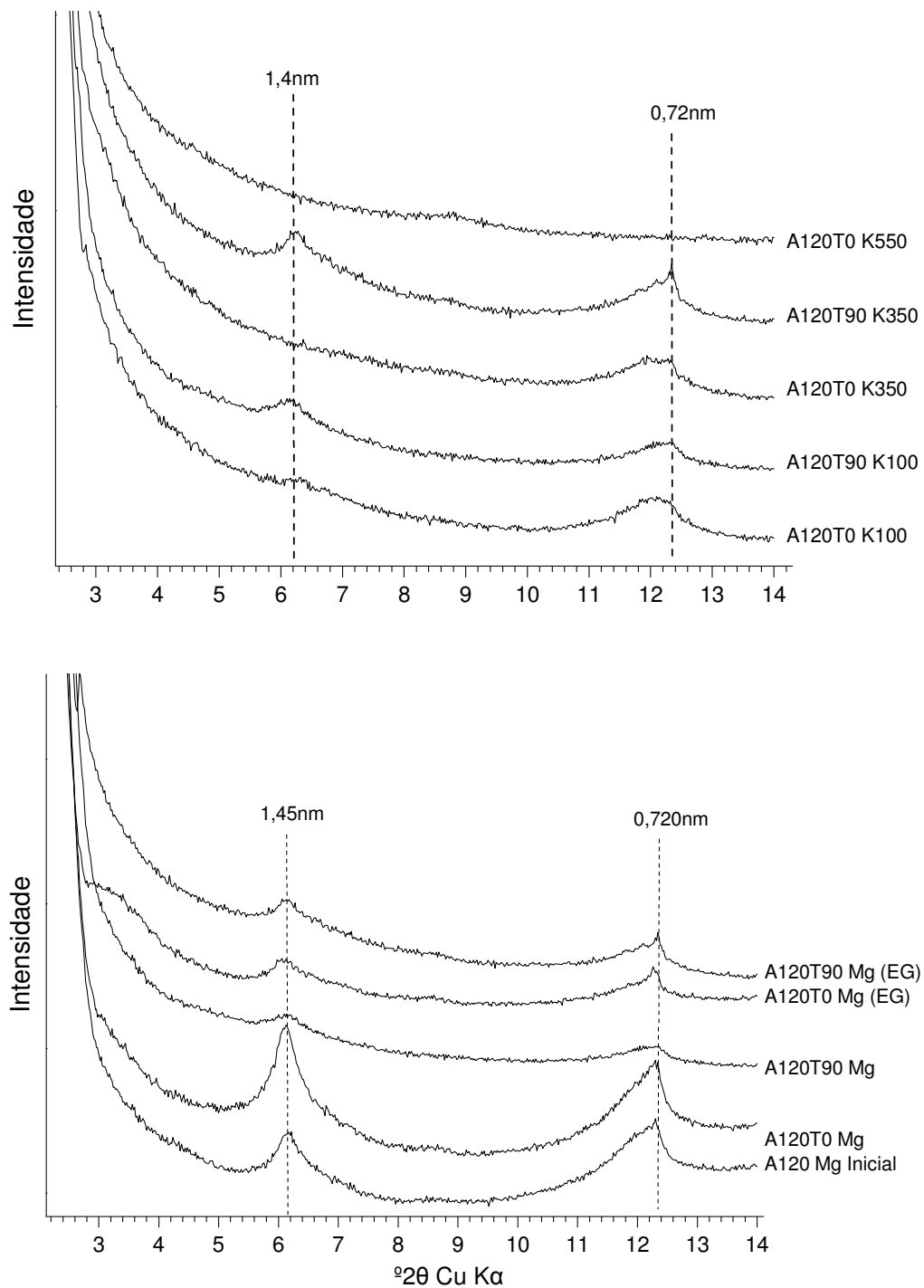


Figura III.4 - Difrátogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 $^{\circ}2\theta$ da fração argila não desferrificada do Argissolo da amostra com alta adição de potássio (A120) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (A120T0) e de maior dose (A120T90) saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

O teor de potássio total da fração argila submetida à fluorescência de raios X na amostra A30T0 foi de 5,98 g kg⁻¹ de potássio enquanto a amostra A120T90 o valor foi de 8,89 g kg⁻¹. A diferença entre as amostras foi de 2,91 g kg⁻¹. Este valor é superior ao recuperado pelas plantas (estudo II) que foi de 0,5 g kg⁻¹. Assim, atribui-se à diminuição do potássio total do solo aos cultivos realizados no experimento a campo antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação (Tabela III.4). A contribuição de potássio da fração argila detectada por esta análise, decorrente da absorção pelas plantas, justifica o impacto dos cultivos sem adição de potássio ocorrida nos difratogramas de raios X (Figura III.2, Figura III.3 e Figura III.4).

Tabela III.5 - Teores de SiO₂, Al₂O₃, FeO₂, SO₃, TiO₂, K₂O, CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila decorrente de cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação da amostra sem adição de potássio (A30T0) e da amostra que recebeu a maior dose (A120T90) no Argissolo.

Elemento ¹	Após os cultivos	
	A30T0	A120T90
	----- g kg ⁻¹ -----	
SiO ₂	232,65	210,3
Al ₂ O ₃	100,93	119,5
FeO ₂	95,60	98,8
SO ₃	12,13	12,2
TiO ₂	12,41	8,30
K ₂ O	5,98	8,89
CaO	7,30	5,90
MnO	1,20	0,60

¹ Não foi determinado o MgO.

O estresse provocado pelos cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação sem adição de potássio é limitado apenas aos minerais que contêm o elemento na sua estrutura, como o interestratificado illita-esmectita. No entanto, os cultivos a campo causaram modificações na mineralogia e culminaram em alterações pouco perceptíveis nos DRX após os cultivos em casa de vegetação. No entanto, a alta capacidade de suprimento de potássio deste solo nos cultivos sucessivos (estudo II) sugere que o fornecimento do elemento também seja oriundo da fase estrutural, associada à presença de feldspatos potássicos na fração silte.

Como nesta fração não foi realizada a leitura de DRX após os cultivos sucessivos para a comparação, sua contribuição ficou subtraída desta análise.

Verifica-se que o impacto dos cultivos sobre a mineralogia da fração argila do solo é irreversível, com impacto nos minerais do tipo 2:1 que contém potássio na entrecamada.

3 - Efeito dos cultivos sucessivos no Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a fertilização potássica

Efeitos dos cultivos a campo

Os DRX utilizados para detectar alterações na mineralogia do Latossolo foram os referentes as amostras L60 e L380. Não foram identificadas alterações nos picos $d = 1,44$ e $d = 0,72$ nm entre os difratogramas de raios X independente do tratamento químico para a eliminação dos óxidos (Apêndice N). Desta maneira optou-se pela apresentação dos DRX das amostras desferrificadas (Figura III.5, Figura III.6 e Figura III.7).

Os DRX da fração argila apresentam picos característicos da presença de caulinita ($d = 0,72$ nm) e vermiculita com hidróxi-Al ($1,42$ nm) (Figura III.5). O tratamento aplicado à amostra L60, na condição normal e saturado com Mg, produziu o mesmo comportamento que a amostra L380, indicando que não ocorreu alteração na mineralogia do solo com o cultivo de plantas neste solo. No Latossolo, pelo alto grau de intemperismo e ausência de minerais como as illitas, o cultivo de plantas com estresse em potássio não alterou a mineralogia do solo. Isto ficou evidente após a análise química do solo (Tabela III.7). A quantidade de potássio total na amostra L60 foi de $0,28 \text{ g kg}^{-1}$ e na amostra L380 foi de $1,3 \text{ g kg}^{-1}$. Esta diferença pode ser atribuída à alta quantidade de potássio nas formas trocáveis e não trocáveis no solo com alta fertilização potássica durante o experimento de campo (24 anos de cultivo). Na amostra L380 os teores trocáveis chegaram a 380 mg kg^{-1} e 180 mg kg^{-1} nas formas não trocáveis (estudo II), indicando que a reserva estrutural deste solo é baixa. O aquecimento das amostras A30T0 e A30T90, saturadas com potássio a temperatura de $550 \text{ }^\circ\text{C}$ (Apêndice M) não produziu o fechamento a $d = 1,01$ nm, devido a provável formação de polímeros de Al entrecamadas, não ocorrendo pico neste ângulo.

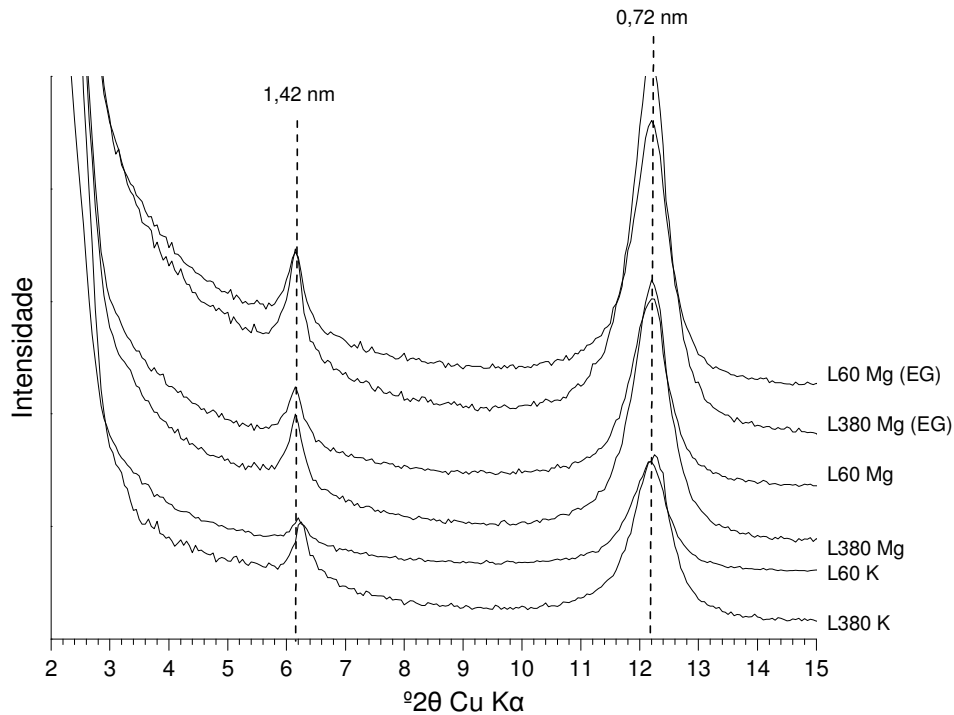


Figura III.5 - Difratoigramas de raios X entre os ângulos 2 e 15 $^{\circ}2\theta$ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada na camada de 0-10 cm da amostra sem adição de potássio (L60) e da maior dose de potássio (L380) no campo, tratadas com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

No Latossolo, a área dos picos com o cultivo sucessivo de plantas não foi alterada, independente da fertilização potássica (Tabela III.6). Isso demonstra que a presença de minerais do tipo 2:1 na fase $d = 1,42$ nm não apresenta potássio entrecamada que possa ser absorvido pelas plantas e alterar a posição do pico diagnóstico do argilomineral decorrente do cultivo de plantas. Como não foi coletada uma amostra deste solo em ambiente natural, ao longo dos 24 anos de cultivo pode ter sido removido o potássio das ilitas. Como Silva et al. (1995) encontrou pequenas quantidades de minerais iliticos neste mesmo Latossolo em uma coleta de solo realizada em 1993 e os cultivos desde então pode ter influenciado a mineralogia do solo, mesmo no tratamento com alta adição de potássio. Os cultivos sucessivos em casa de vegetação, mesmo com fertilização potássica, não tiveram alterações perceptíveis nos DRX.

Tabela III.6 - Área do pico do espaçamento $d = 1,4$ nm da fração argila coletada na testemunha (L60) e no tratamento de maior dose de adição de fertilizantes potássicos (L380) no experimento de campo do Latossolo.

Tratamentos	L60	L380
	----- cm^{-3} -----	
EG	0,9	1
MG	0,8	1,08
K	0,6	0,8
K100	0,42	1
K350	0,2	0
K550	0	0

Tabela III.7 - Teores de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_2 , SO_3 , TiO_2 , K_2O , CaO e MnO determinados por fluorescência de raios X da fração argila de amostras coletas no tratamento testemunha (L60) e do tratamento que recebeu a maior dose de fertilizantes potássicos (L380) no experimento de campo do Latossolo.

Elemento ¹	Amostras	
	L60	L380
----- g kg^{-1} -----		
SiO_2	159,27	155,43
Al_2O_3	120,58	119,57
FeO_2	177,23	179,05
SO_3	8,91	3,45
TiO_2	10,22	12,53
K_2O	0,28	1,30
CaO	1,16	0,94
MnO	1,63	1,77

¹ Não foi determinado o MgO

A análise de fluorescência de raios X encontrou o Fe como cátion dominante, que indica o maior grau de intemperismo deste solo comparado ao Argissolo. No entanto, nota-se que a quantidade de potássio total no Latossolo (Tabela III.7) também foi inferior ao encontrado no Argissolo (Tabela III.5), o que confirma a maior capacidade de suprimento neste solo verificado no estudo II.

Efeitos nos cultivos sucessivos em casa de vegetação

a) Amostra de Latossolo coletada no experimento a campo no tratamento testemunha (L60) submetida a cultivos com adição de potássio (L60T90) e sem adição de potássio (L60T0)

Os DRX da amostra L0 indicaram a presença de picos $d = 1,42$ nm e $d = 0,72$ nm (Figura III.6). O pico $d = 0,72$ nm referente a caulinita, não sofreu modificação com os cultivos sucessivos em casa de vegetação, tanto nas amostras com e sem adição de potássio L60T0 e L60T90. O mesmo comportamento foi identificado no pico $d = 1,42$ nm, sendo que não foi afetado com a adição de potássio no solo. O estresse químico aplicado ao solo durante os cultivos a campo (L60) e submetido a cultivos sucessivos com adição de potássio não causou mudanças nos argilominerais evidenciados nos DRX. Também, nas amostras sem adição de potássio não foram identificadas quaisquer alterações decorrentes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação.

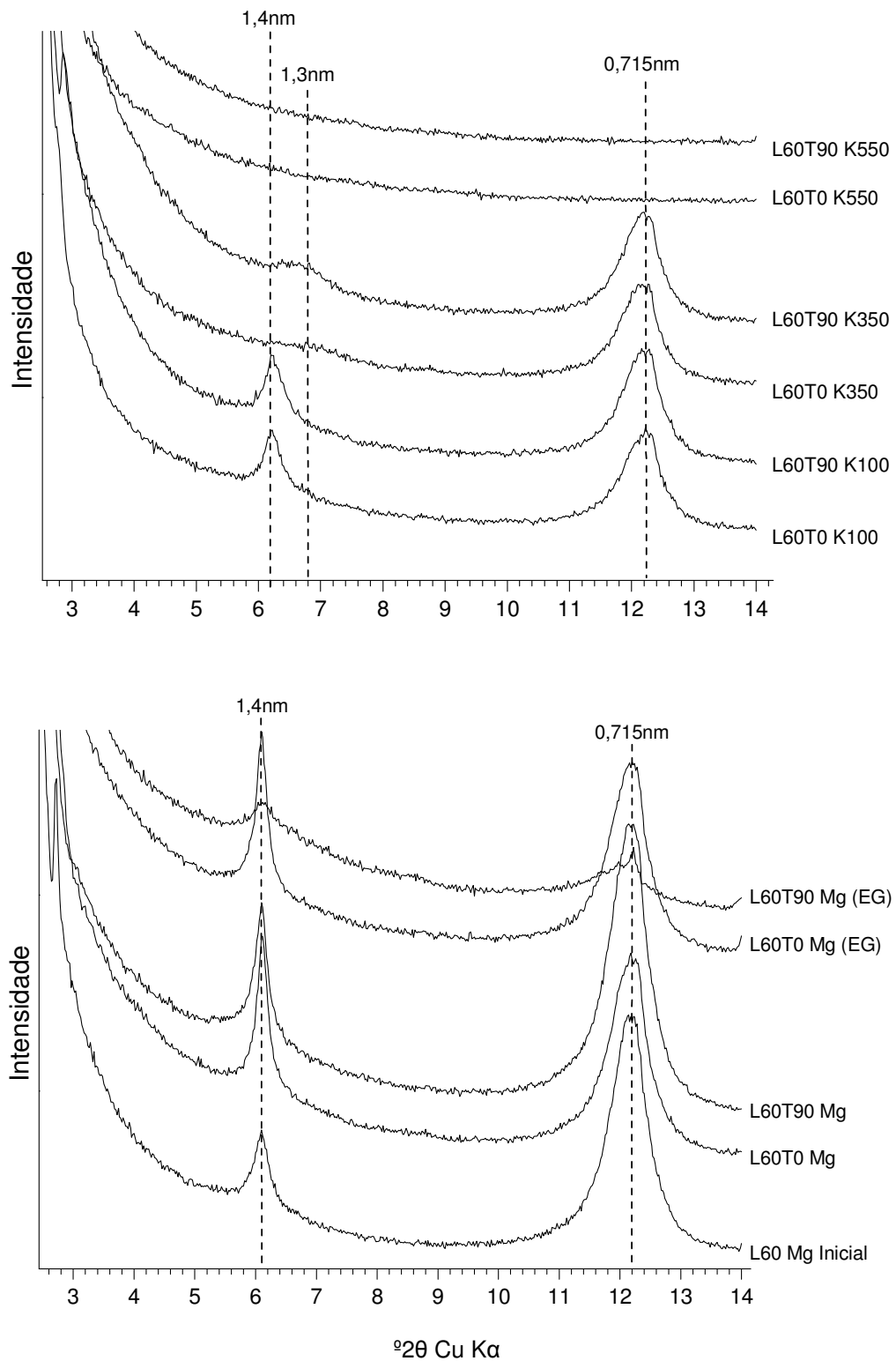


Figura III.6 - Difratogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 $^{\circ}2\theta$ da fração argila desferrificada do Latossolo da amostra sem adição de potássio (L60) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (L60T0) e de maior dose (L60T90) saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

b) Amostra do Latossolo coletada no experimento de campo da parcela com alta dose de potássio (L380) submetida a cultivos em casa de vegetação com adição de potássio (L380T0) e sem adição de potássio (L380T90)

As amostras do Latossolo submetidas aos cultivos no tratamento T90 (L380T90) não produziram alterações nos argilominerais susceptíveis de serem perceptíveis nos DRX para os picos da caulinita ($d = 0,72$ nm) e vermiculita com hidróxi-Al entrecamada ($d = 1,4$ nm). Mesmo no tratamento EG, não houve alteração da posição do pico em direção aos pequenos ângulos, como também encontrado por Melo (1998) na fração argila fina em Latossolos do Rio Grande do Sul. Assim, os dados adquiridos por DRX não confirmam a hipótese de alteração da mineralogia do Latossolo com os cultivos sucessivos de plantas. Como a reserva de potássio total neste solo é baixa, assim como o elevado grau de intemperização, os minerais do tipo 2:1 presentes neste solo apresentam baixa capacidade de adsorver potássio na entrecamada, o que foi confirmado pela análise de fluorescência de raios X (Tabela III.5). Melo (1998) detectou em Latossolos do Rio Grande do Sul a expansão do pico de $d = 1,4$ nm e $1,90$ nm na fração argila grossa. Mesmo com o aumento do tempo de saturação com EG de 24 horas para 7 dias não foi detectado expansão do pico $d = 1,4$ nm. As áreas dos picos no Latossolo apresentaram o mesmo comportamento independente da adição de potássio, comprovando que não ocorreram modificações perceptíveis por DRX com o cultivo de plantas. Assim, a contribuição de potássio estrutural ocorrida no estudo II neste solo está associada provavelmente à fração grosseira que contém minerais com potássio na sua estrutura suprindo a demanda das plantas durante cultivos sucessivos (Apêndice H).

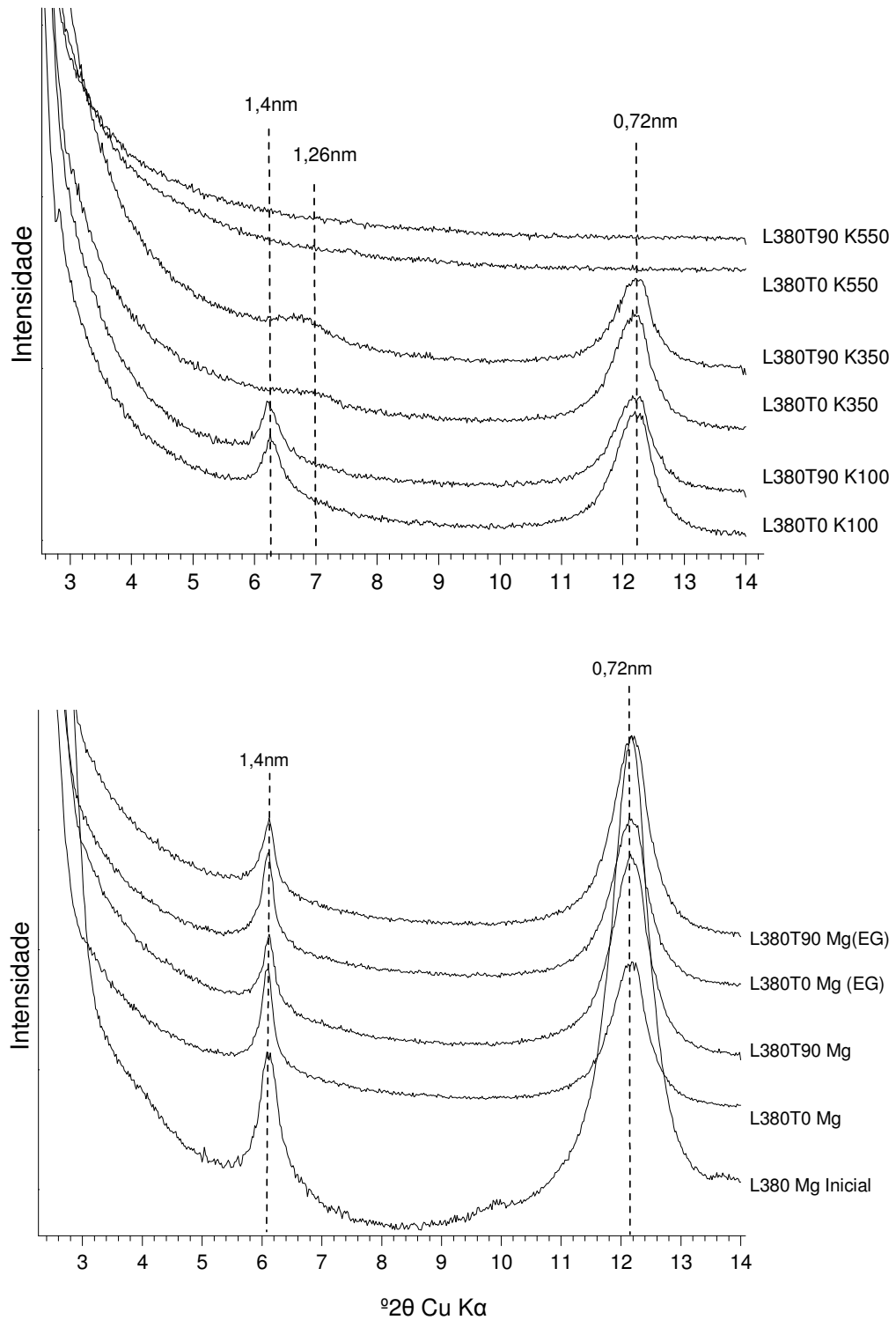


Figura III.7 - Difratoogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 $^{\circ}2\theta$ da fração argila desferrificada do Latossolo da com alta dose de potássio (L380) antes e após cultivos sucessivos em casa de vegetação, submetida ao tratamento sem adição de potássio (L380T0) e de maior dose (L380T90) saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).

Tabela III.8 - Área do pico do espaçamento $d = 1,4$ nm da fração argila coletada na testemunha (L60) do Latossolo e no tratamento de maior dose de adição de fertilizantes potássicos (L380) e submetida a cultivos sucessivos em casa de vegetação nas amostras sem adição de potássio (L60T0 e L380T0) e da maior dose de potássio (L60T90 e L380T90) no Latossolo.

Tratamentos	L60		L380	
	L60T0	L60T90	L380T0	L380T90
	----- cm ³ -----			
EG	0,72	0,9	0,84	0,72
MG	0,82	0,9	0,77	0,72
K	-	-	-	-
K100	1,17	1,4	1,45	1,45
K350	0,02	0,042	0,48	0,76
K550	0	0	0	0

Tabela III.9 - Teores de SiO₂, Al₂O₃, FeO₂, SO₃, TiO₂, K₂O, CaO e MnO do Latossolo determinados por fluorescência de raios X da fração argila após os cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação das amostras sem adição de potássio (L60T0) e da maior dose de potássio (L380T90).

Elemento ¹	Amostras	
	L60T0	L380T90
	----- g kg ⁻¹ -----	
SiO ₂	152,01	158,64
Al ₂ O ₃	110,24	119,91
FeO ₂	190,67	172,53
SO ₃	12,29	13,27
TiO ₂	20,95	9,61
K ₂ O	0,29	0,94
CaO	2,44	2,45
MnO	2,15	1,08

¹ Não foi determinado o MgO

Como a difração de raios X é considerada uma análise semi-quantitativa (Fanning et al., 1989) e a baixa quantidade de minerais do tipo 2:1 neste solo, pelas incertezas da técnica, necessita-se de técnicas mais precisas para verificar tais alterações na mineralogia nos solos altamente intemperizados. Assim a contribuição do potássio nas formas não trocáveis e estruturais, detectado no estudo II, é

decorrente da intemperização das frações grosseiras, que possibilitaram importantes taxas de suprimento de potássio às plantas em ambiente com alto estresse como os que ocorrem em cultivos em vasos.

5.4 CONCLUSÕES

O cultivo de plantas no Argissolo sem adição de potássio causou a diminuição das camadas ilíticas associada à diminuição da intensidade do pico $d = 1,01$ nm. A adição de potássio no solo preservou o elemento na estrutura deste mineral verificada pela manutenção das camadas ilíticas a $d = 1,01$ nm. No Latossolo não houve alteração perceptível com as técnicas utilizadas da mineralogia da fração fina, mesmo decorrente de cultivos sucessivos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A forma atual de predição de disponibilidade baseada em modelos, como Mitscherlich e Cate-Nelson, ou equações algébricas, com os quais se estabelece classes de suficiência não tem apresentado resultados satisfatórios que validem esta adoção. A resposta das culturas parece correlacionar-se mais com propriedades e características dos solos, do que com os teores construídos por adubações corretivas e de manutenção. Assim, o nível de suficiência para cada solo parece ser o seu teor original e as doses adubação podem ser estabelecidas a partir da exportação de cada espécie cultivada, para manter o teor inicial. Tal proposição deve ainda ser validada com mais estudos, especialmente considerando o potássio ciclado, que não é adição, mas transferência de potássio para a superfície do solo, sem perder de vista que as exigências entre as espécies não são iguais, e os solos tem diferentes capacidades de suprimento, que dependem muito mais de suas características mineralógicas do que do histórico das fertilizações potássicas. A predição da sua disponibilidade por extratores, como o Mehlich-1, são boas referências de curto prazo, por isso, esta estimativa dever ser, no mínimo, anual e servir de base para a predição da adubação no ciclo seguinte, com vista a espécie a ser cultivada.

7. REFERÊNCIAS

BARBER, S. Mecanismos de absorção de potássio pelas plantas. In: YAMADA et al. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 1982. p. 213-247.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 12, p. 223-226, 1993.

BORTOLUZZI, E. C.; POLETO, C. Metodologias para estudos de sedimentos: ênfase na proporção e na natureza mineralógica das partículas. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.). **Qualidade de Sedimentos**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 83-140.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER D. S.; 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**, v. 29, n. 3, p. 327-335, 2005.

BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Interestratificado caulinita-esmectita em um argissolo desenvolvido a partir de rocha sedimentar do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1291-1300, 2007.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 569-571, 2005.

CAREY, P. L.; METHERELL, A. K. Rates of release of non-exchangeable potassium in New Zealand soils measured by a modified sodium tetraphenyl-boron method. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 185-197, 2003.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 977-982, 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPT, 1995. 224p.

_____. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

COX, A. E.; JOERN, B. C.; ROTH C. B. Nonexchangeable ammonium and potassium determination in soils with a modified sodium tetraphenylboron method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 114-120, 1996.

COX, A. E.; JOERN, B. C. Release kinetics of nonexchangeable potassium in soils with a modified using sodium tetraphenylboron. **Soil Science**, v. 162, n. 8, p. 588-598, 1997.

DOLL, E. C.; MORTLAND, M. M.; LAWTON, K.; ELIIS, B. G. Release of potassium from soil fractions during cropping. **Soil Science Society Proceedings**, v. 29, p. 699-702, 1965.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA/CNPS, 2006. 412p.

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESORKY, M. A. Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 551-634.

FERNANDES, D. M.; ROSSETTO, C. A. V.; ISHIMURA, I; ROSOLEM, C. A. Nutrição da soja e formas de potássio no solo em função de cultivares e adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 405-410, 1993.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de Nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 115-152.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B.; Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G.; BERWANGER, A. L. Alterações em propriedades químicas no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27., 2006, **Anais...** Bonito: SBCS, 2006.

GOMMERS, A.; THIRY, Y.; DELVAUX, B. Rhizospheric Mobilization and Plant Uptake of Radiocesium from Weathered Soils: I. Influence of Potassium Depletion. **Journal Environmental Quality**, v. 34, p. 2167-2173, 2005.

HINSINGER, P.; JAILLARD, B.; DUFEY, J. E., Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 977-982, 1992.

HINSINGER, P.; JAILLARD, B. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. **Journal Soil Science**, v. 44, n. 3, p. 525-534, 1993.

HUNTER, A. A.; FITTS, J. W. **Estudos de interpretação de teste de solo: ensaio de campo**. Internacional Soil Fertility Evaluation & Improvement, 1969. 42p. (Boletim técnico n° 5)

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.3, p. 1003-1010, 2007.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em Argissolo com histórico de adubação potássica**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LANTMANN, A. F.; CASTRO, C.; WIETHOLTER, S. O potássio na cultura do trigo In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005, p.723-744.

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005, p. 22-32.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MARTIN, H. W.; SPARKS, D. L. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. **Communications on Soil Science and Plant Analysis**, v. 16, p. 133-162, 1985.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MELLO, J. W. V. de; KAMINSKI, J. Relações cálcio:magnésio em corretivos da acidez e dose de potássio no solo: I. efeito sobre o rendimento da matéria seca e acumulação de Ca, Mg e K na aveia. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 20, p. 113-124, 1990.

MELO, G. W. **Mineralogia, cinética e disponibilidade de potássio em solos intemperizados do Rio Grande do Sul**. 1998. 138 f. Tese, (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 597-603, 2004.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 2, p. 375-382, 1993.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 281-298.

MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, n. 2-3, p. 55-61, 1977.

MIELNICZUK, J.; SELBACH, P. Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n. 2, p. 115-120, 1978a.

_____ Efeito de cultivos sucessivos sobre os parâmetros de potássio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n. 2, p. 120-125, 1978b.

MILANI, M.; SEVERINO, L. S. **Cultivo da mamona**. In: Sistemas de produção, Teresina: Embrapa, 2006. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/index.html. acesso em 25 de out. de 2006.

MOHR, W. Análises de solos para fins de assistência aos agricultores: sua técnica e interpretação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1950, **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p. 185-215.

_____. Teor e fornecimento de potássio dos solos do Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., 1959, **Anais ...** Piracicaba: SBCS, 1959.

MOJALLALI, H.; WEED, S. B. Weathering of micas by mycorrhizal soybean plants. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 367-372, 1978.

MOODY, P. W.; BELL, M. J. Availability of soil potassium and diagnostic soil tests. **Australian Journal Soil Research**, v. 44, n. 3, p. 265-275, 2006.

MORTLAND, M. M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. Alteration of biotite to vermiculite by plant growth. **Soil Science**, v. 82, p. 477-481, 1956.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 1, p. 37-42, 1991.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A. E.; BEATTY, M. T. Potassium removed from some Southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 35, n. 4, p. 763-767, 1971.

PAL, D. K.; SRIVASTAVA, P.; DURGE, S. L.; BHATTACHARYYA, T. Role of weathering of fine-grained micas in potassium management of Indian soils. **Applied Clay Science**, v. 20, n. 1-2, p. 39-52, 2001a.

PAL, Y.; GILKES, R. J.; WONG, M. T. F. Soil factors affecting the availability of potassium to plants for Western Australian soil: a glasshouse study, **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, n. 3, p. 611-625, 2001b.

PATELLA, J. F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento de trigo em algumas propriedades químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 1, p. 31-35, 1980.

PERNES-DEBUYSER, A.; PERNES, M.; VELDE, B.; TESSIER, D. Soil mineralogy evolution in the INRA 42 plots experiment (Versailles, France). **Clay and Clay Minerals**, v. 51, n. 5, p. 577-584, 2003.

PRATT, P. F. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. **Soil Science**, v. 71, p.107-117, 1951.

PRATT, P. F. Potassium. In: BLACK, C.A. **Methods of Soil Analysis**. Madison: ASA, 1965. v. 2, p. 1022-1030.

RAO, C. S.; RAO, A. S.; RUPA, T. R. plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. **Soil Science**, v. 165, n. 7, p. 578-586, 2000.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 32p. (Boletim Técnico, 1)

RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; PELLEGRINI, J. B. R. **Desafios da fertilidade do solo: modelo e interdisciplinaridade**. Boletim Informativo da SBCS, v. 32, p. 28-36, 2007.

RESENDE M.; CURI M.; KER J. C.; REZENDE S. B. **Mineralogia de Solos: Interpretação e Aplicações**. Lavras: Ed. UFLA. 2005. 192p.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; RIBEIRO, D. B. O. Formas de potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 2, p. 121-125, 1988.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 9, p.1045-1054, 1993.

ROUSE, R. D.; BERTRAMSON Y. B .R. Potassium availability in several Indiana Soils: Its nature and methods of evaluation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 14, p. 113-123, 1949.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo: Makron Books Ltda, 1994. 1268p.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 57-62, 1998a.

_____ Resposta da soja à adubação potássica em Latossolo húmico distrófico num período de doze anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 49-55, 1998b.

SCHMITZ, G. W.; PRATT, P. F. Exchange and nonexchangeable potassium as indexes to yield increases and potassium adsorption by corn in the greenhouse. **Soil Science**, v. 76, p. 345-353, 1953.

SILVA, J. R. J.; MEURER, E. J. Disponibilidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 2, p. 137-142, 1988.

SILVA, D. N.; MEURER, E. J.; KAMPF, N.; BORKERT, C. M. Mineralogia e formas de potássio em dois latossolos do estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 433-439, 1995.

SIQUEIRA, O. J. F.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I., PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1987. 100p.

SINGH, B.; GOULDING, K. W. T. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil of the Broadbalk continuous wheat experiment at Rothamsted. **European Journal Soil Science**, v. 48, p. 651-659, 1997.

SONG, S. K.; HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 383-390, 1988.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, nº 5)

UFRGS. Laboratório de Solos dos Cursos de Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia e Veterinária. **Recomendações de adubação**. Porto Alegre: 1968. 3p. (mimeografado)

VEDUIN, J. V. R. **Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso**. 1994. 43f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 1994.

VELDE, B.; PECK, T. Clay minerals changes in the Morrow experimental plots, University of Illinois. **Clay and Clay Minerals**, v. 50, p. 364-370, 2002.

VIDOR, C.; FREIRE, J. R. J. Calibração de análises do solo para a cultura da soja (*Glycine max Merril*). **Agronomia Sulriograndense**, v. 5, p. 63-72, 1971.

WEED, S. B.; DAVEY, C. B.; COOK, M.G. Weathering of mica by fungi. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 702:706, 1969.

WELCH, L. F.; SCOTT, A. D. Availability of Nonexchangeable Soil Potassium to Plants as Affected by Added Potassium and Ammonium. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, p. 102-104, 1961.

WHITTING, L. D.; ALLARDICE W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986, p. 331-362.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A - Matéria seca de raízes das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação para as diferentes doses de potássio adicionadas no Argissolo.

Solo	Dose aplicada mg kg ⁻¹	Cultivo											DMS ¹	CV, %
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
		Matéria seca de raízes												
A30	0	-	-	5,3	3,3	0,9	2,6	0,8	2,9	1,8	0,8	1,2	0,8	12,5
	330	-	-	5,6	3,4	1,4	3,3	1,3	3,1	1,1	1,0	1,4	0,4	19,2
	940	-	-	4,8	3,2	0,7	3,2	1,0	3,9	1,3	0,7	0,9	0,4	17,8
A120	0	-	-	5,3	3,1	1,0	3,3	2,1	3,4	1,6	1,1	1,0	0,8	20,0
	330	-	-	4,8	2,9	0,8	3,5	2,2	3,9	1,1	0,8	1,5	0,3	29,9
	940	-	-	5,5	3,1	0,8	3,2	0,8	3,7	1,4	0,7	1,8	0,2	14,7

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha = 0,05$).

APÊNDICE B - Matéria seca de raízes das plantas usadas no experimento de cultivos sucessivos em casa de vegetação para as diferentes doses de potássio adicionadas no Latossolo.

Solo	Dose aplicada mg kg ⁻¹	Cultivo								DMS ¹	CV, %
		1	2	3	4	5	6	7	8		
		Matéria seca de raízes									
L60	0	2,8	0,8	3,6	1,2	3,5	1,6	0,9	0,8	0,3	15,2
	180	2,9	0,9	3,4	1,9	4,1	1,3	0,9	1,2	0,5	16,6
	540	2,8	0,9	3,3	2,1	4,0	1,5	0,9	1,0	0,3	16,5
L380	0	3,0	0,9	3,7	2,2	4,0	1,7	0,9	1,5	0,4	17,9
	180	3,0	0,8	3,5	2,3	4,1	1,7	1,0	1,5	0,4	17,9
	540	3,1	0,9	3,5	1,9	4,3	1,3	1,0	1,1	0,3	17,1

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha = 0,05$).

APÊNDICE C - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraídos por Mehlich-1 e as adições de fertilizantes potássicos nos solos (Argissolo e Latossolo) submetidas a cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Solo	Cultivo	Parâmetro da regressão		
		b_0	B_1x	R^2
Argissolo Vermelho distrófico típico				
A30	1 ¹	13,02	1,690	0,98
	2 ¹	36,26	2,842	0,99
	3 ¹	20,65	1,754	0,88
	4 ¹	6,56	1,234	0,84
	5 ¹	-3,64	1,668	0,89
	6 ¹	-7,96	1,971	0,85
	7 ¹	2,19	-0,009	0,59
	8 ¹	10,82	0,466	0,88
	9 ¹	11,30	1,196	0,82
	10 ¹	2,82	1,809	0,92
	11 ¹	0,07	1,826	0,90
A120	1 ¹	86,08	1,809	0,98
	2 ¹	58,88	3,261	0,99
	3 ¹	53,07	1,785	0,87
	4 ¹	14,41	1,868	0,96
	5 ¹	9,95	1,679	0,97
	6 ¹	-0,67	2,558	0,91
	7 ¹	-8,05	2,827	0,91
	8 ¹	0,49	1,788	0,91
	9 ¹	11,37	1,870	0,92
	10 ¹	5,85	2,235	0,96
	11 ¹	-6,33	2,753	0,93
Latossolo Vermelho distrófico típico				
L60	1 ^{ns}			
	2 ¹	35,45	0,607	0,89
	3 ¹	23,07	0,299	0,81
	4 ¹	22,18	0,240	0,73
	5 ^{ns}			
	6 ¹	25,34	0,509	0,93
	7 ¹	12,41	1,145	0,97
	8 ¹	7,11	1,452	0,96
	L380	1 ^{ns}		
2 ¹		245,07	0,935	0,45
3 ^{ns}				
4 ¹		251,11	1,334	0,79
5 ¹		159,69	0,700	0,52
6 ¹		114,65	1,708	0,86
7 ¹		58,46	2,231	0,98
8 ¹		14,34	2,558	0,96

¹ significativo ao nível de 5 % de probabilidade; ^{ns} = não significativo.

APÊNDICE D - Teores de potássio acumulado na parte aérea das plantas submetidas a cultivos sucessivos em casa de vegetação no Argissolo e a adição de fertilizantes potássicos.

Solo	Dose aplicada mg kg ⁻¹	Cultivo											Total	DMS ¹	CV, %	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
Argissolo Vermelho distrófico típico																
A30	0	39	33	59	17	15	5	12	27	35	17	8	265 ²	3,3	12,5	
	330	134	143	166	37	80	30	18	30	74	48	67	827	16,1	19,2	
	940	155	152	190	54	113	63	56	154	125	79	46	1187	21,0	17,8	
A120	0	124	123	30	29	25	16	18	27	39	18	10	458 ³	9,3	20,0	
	330	175	175	203	52	99	80	51	51	61	57	75	1080	31,6	29,9	
	940	172	175	144	56	68	66	56	211	150	110	59	1268	19,0	14,7	
Latossolo Vermelho Distrófico típico																
L60	0	-	-	-	49	39	37	18	39	23	27	10	242 ⁴	9,1	13,5	
	180	-	-	-	45	59	89	59	43	68	57	74	495	16,7	14,8	
	540	-	-	-	71	59	113	117	61	110	100	117	748	35,6	24,0	
L380	0	-	-	-	58	69	181	210	250	136	79	39	1022 ⁵	40,3	15,6	
	180	-	-	-	35	68	179	284	232	182	107	121	1208	48,1	17,2	
	540	-	-	-	63	64	228	231	238	170	122	127	1243	35,1	10,7	

¹ Médias na linha com diferenças menores que o DMS não diferem entre si pelo teste de DMS ($\alpha=0,05$), ² $\hat{Y} = 361+9,166x$ ($R^2=0,90$), ³ $\hat{Y} = 574,25+8,051x$ ($R^2=0,80$), ⁴ $\hat{Y} = 272,89+5,05x$ ($R^2=0,92$), ⁵ $\hat{Y} = 1048,85+2,12x$ ($R^2=0,51$)

APÊNDICE E - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio acumulados na parte aérea das plantas e as adições de fertilizantes potássicos nos solos (Argissolo e Latossolo) submetidas a cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Solo	Cultivo	Parâmetro da regressão		
		b_0	b_1x	R^2
			ABS	
A30	1 ¹	59,2258	0,9714	0,66
	2 ¹	124,9262	0,4111	0,59
	3 ¹	84,8462	1,4311	0,62
	4 ¹	18,2627	0,3631	0,82
	5 ¹	29,4886	0,9958	0,82
	6 ¹	7,0224	0,4203	0,88
	7 ¹	8,5735	0,4612	0,91
	8 ¹	6,6236	1,8070	0,85
	9 ¹	40,0740	0,8541	0,85
	10 ¹	22,8606	0,5347	0,82
	11 ¹	28,6178	0,2698	0,17
A120	1 ¹	124,9262	0,4111	0,58
	2 ¹	128,4526	0,4667	0,59
	3 ¹	71,1096	1,1253	0,71
	4 ^{ns}			
	5 ¹	47,1677	0,3553	0,17
	6 ¹	32,5418	0,3887	0,28
	7 ¹	27,4088	0,2907	0,41
	8 ¹	10,2343	2,1693	0,90
	9 ¹	41,9413	1,3172	0,83
	10 ¹	22,6291	0,9588	0,93
	11 ¹	31,0205	0,4039	0,28

¹ significativo ao nível de 5 % de probabilidade; ^{ns} = não significativo.

APÊNDICE F - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraído por HNO₃, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF e as adições de fertilizantes potássicos no Argissolo submetido a cultivos sucessivos em casa de vegetação.

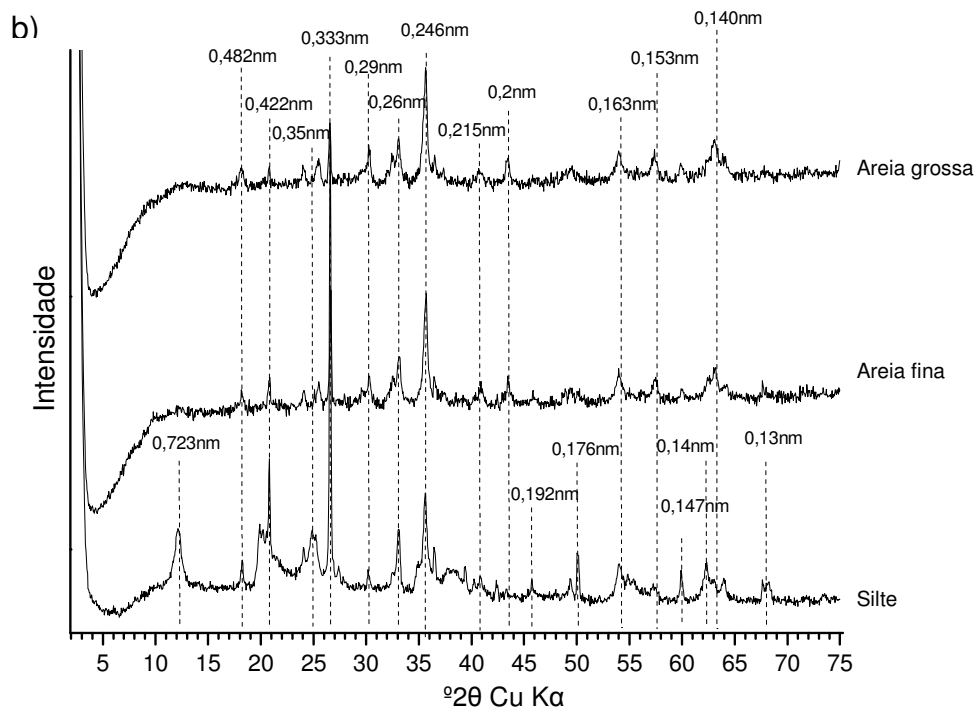
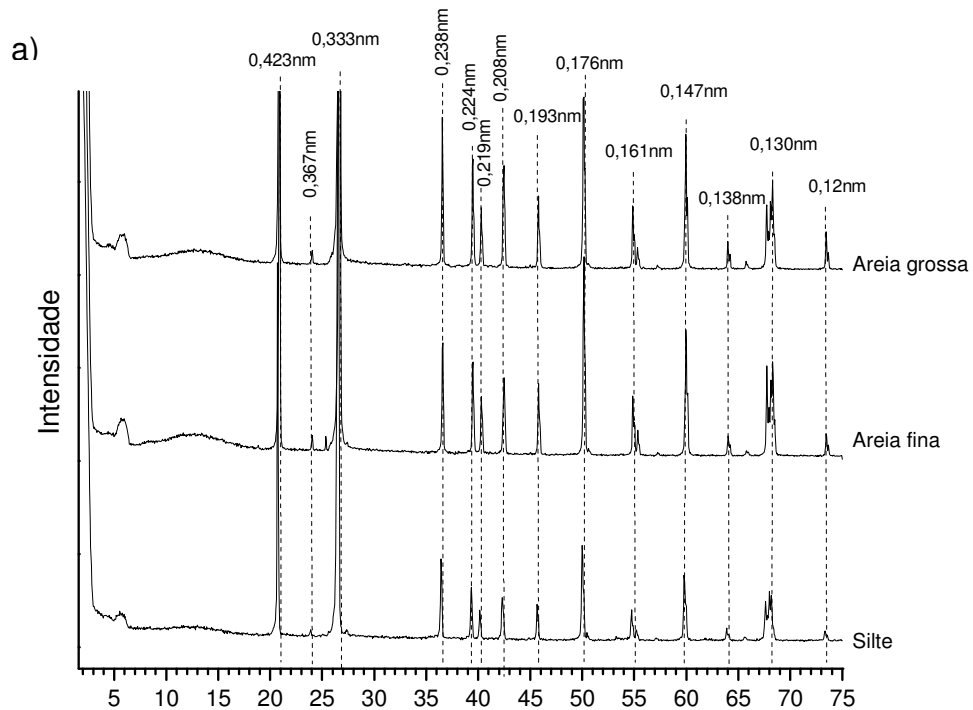
Teor Inicial	Cultivo	Parâmetro da regressão							
		b ₀	B ₁ x	R ²					
mg kg ⁻¹			HNO ₃						
			5 ¹		38,2977	2,3302	0,95		
			11 ¹		21,7582	2,9732	0,96		
						NaTPB 1h			
			5 ¹		4,6598	2,0438	0,90		
			11 ¹		10,8075	2,6314	0,95		
						NaTPB 24h			
						HF			
						5 ¹	806,5539	2,1901	0,84
						11 ¹	850,2132	1,1846	
							HNO ₃		
						5 ¹	43,8917	3,6739	0,97
						11 ¹	45,4855	3,8845	0,95
			NaTPB 1h						
		5 ¹	27,4684	2,2318	0,95				
		11 ¹	16,5433	3,1226	0,93				
			NaTPB 24h						
		5 ¹	72,0476	1,6683	0,92				
		11 ¹	21,2449	2,8324	0,94				
			HF						
		5 ¹	935,1195	3,0780	0,70				
		11 ¹	880,4193	2,3987	0,68				

¹ significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

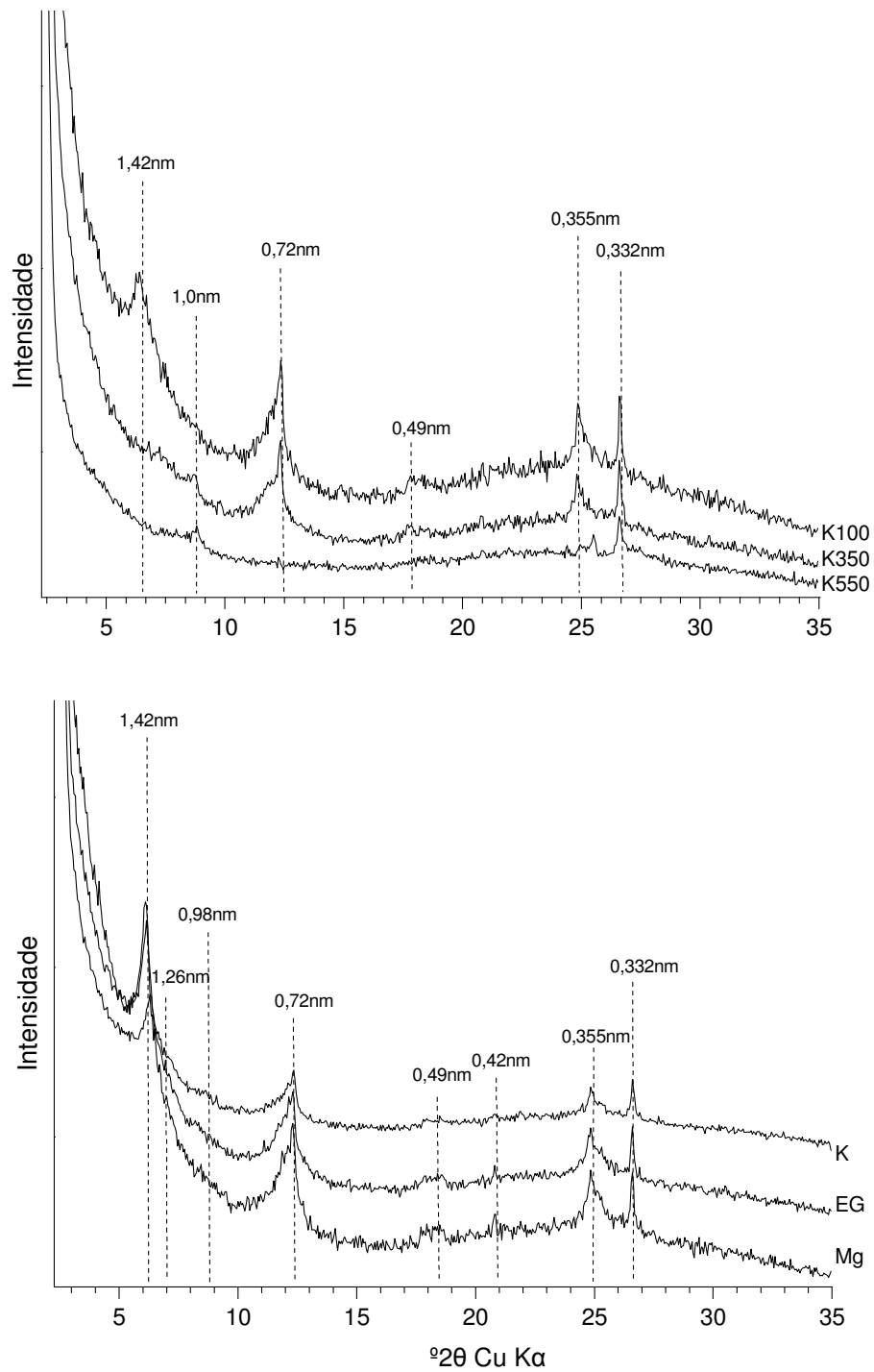
APÊNDICE G - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre os teores de potássio extraído por HNO₃, NaTPB 1h, NaTPB 24h e HF e as adições de fertilizantes potássicos no Latossolo submetido a cultivos sucessivos em casa de vegetação.

Teor inicial	Cultivo	Parâmetro da regressão		
		b ₀	B ₁ x	R ²
mg kg ⁻¹	L60	4 ¹	HNO ₃	0,70
			8 ¹	0,99
		4 ¹	NaTPB 1h	0,60
			8 ¹	0,90
		4 ¹	NaTPB 24h	0,43
			8 ¹	0,92
	4 ¹	HF	0,62	
		8 ¹	0,18	
	L380	4 ¹	HNO ₃	0,86
			8 ¹	0,98
		4 ¹	NaTPB 1h	0,89
			8 ¹	0,96
4 ¹		NaTPB 24h	0,84	
		8 ¹	0,99	
4 ^{ns}		HF	-	
		8 ¹	0,89	

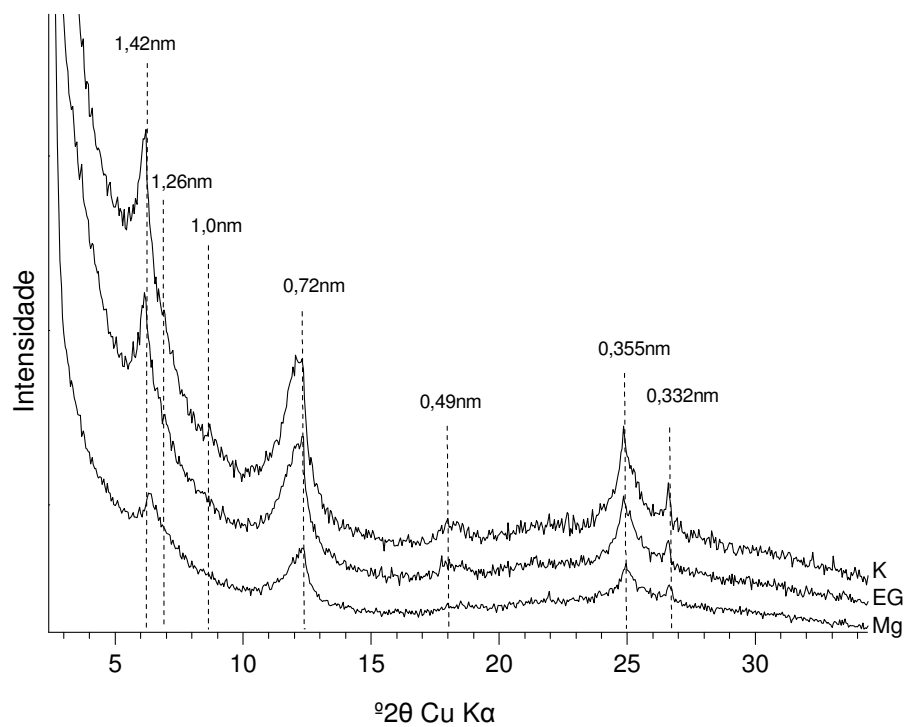
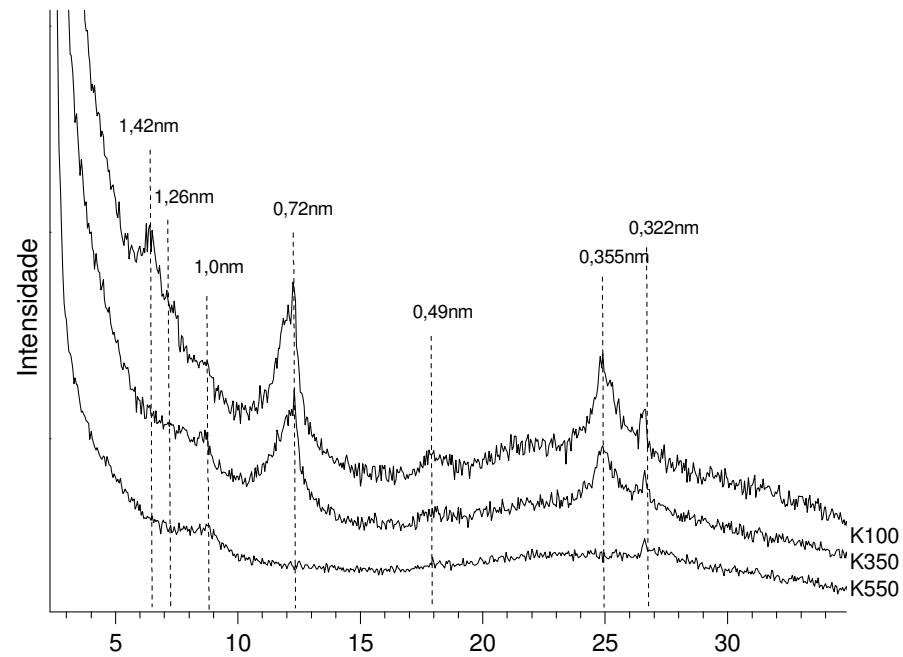
¹ significativo ao nível de 5 % de probabilidade; ^{ns} = não significativo.



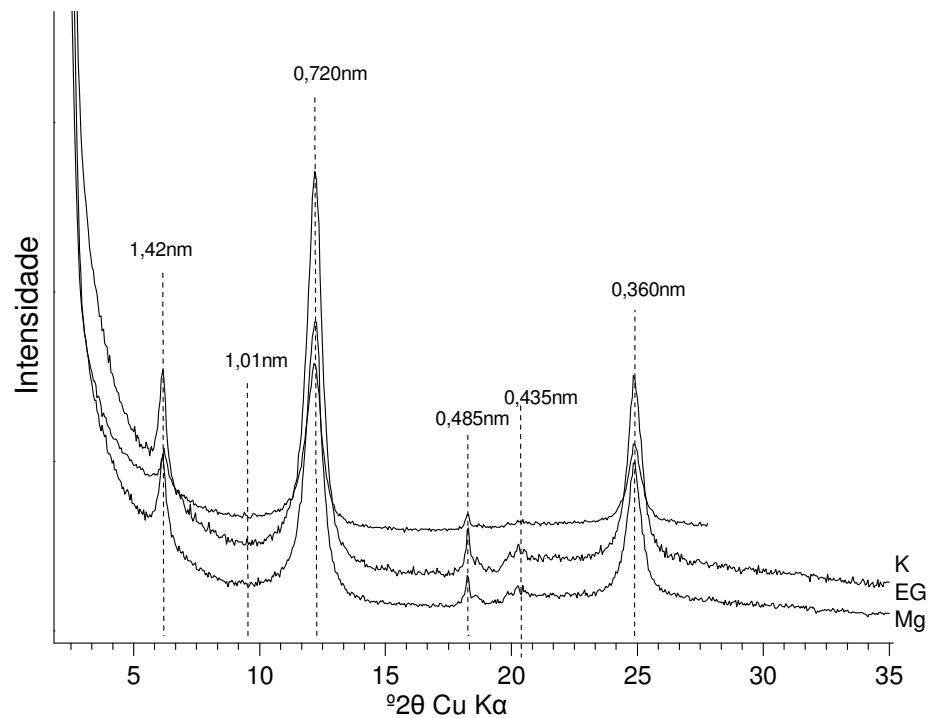
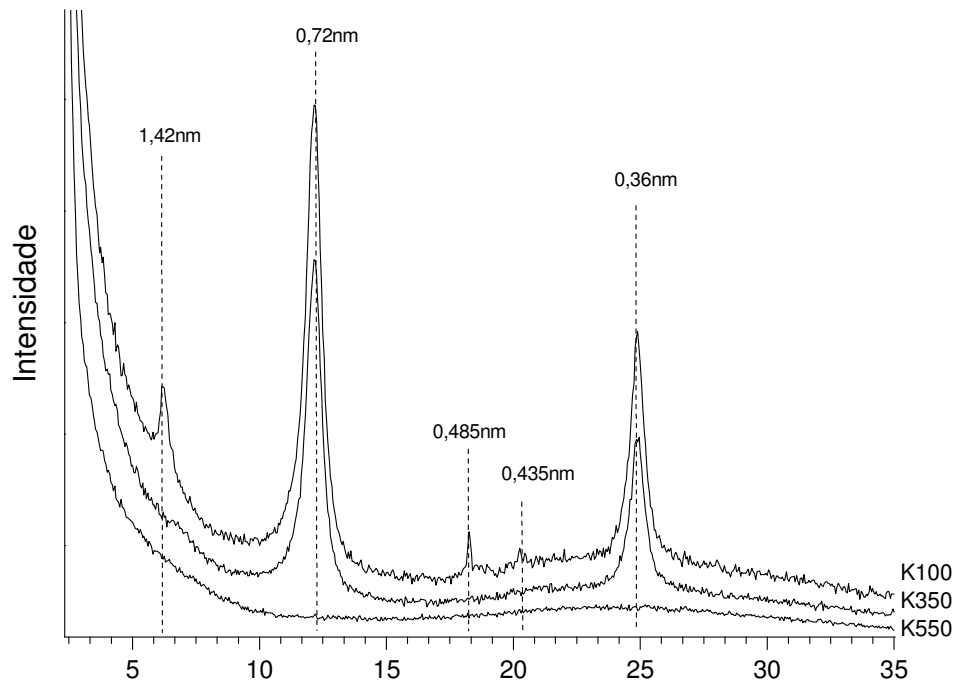
APÊNDICE H - Difratogramas de raios X da fração da fração areia grossa, areia fina e silte, entre os ângulos 2 e 75° de 2θ , obtidos sob condição normal (25 °C) a partir de amostras em pó. a) Argissolo e b) Latossolo.



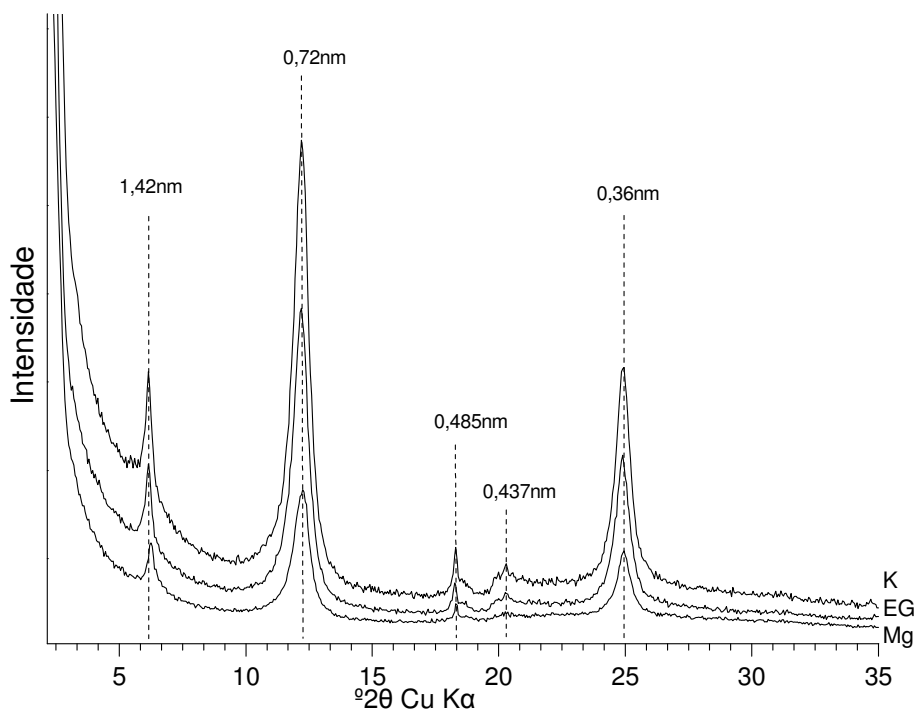
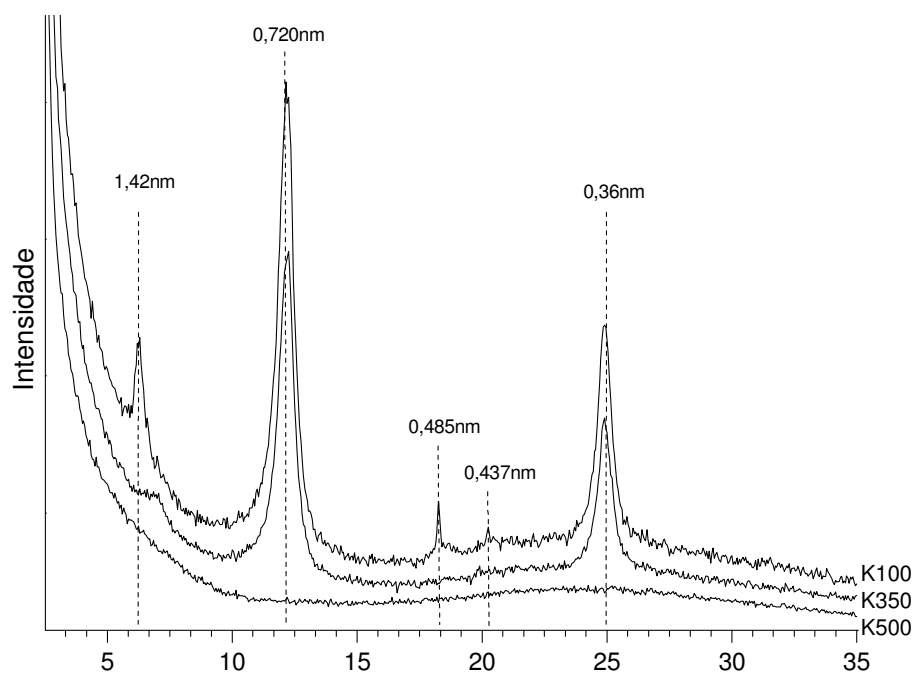
APÊNDICE I - Difratomogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 $^{\circ}2\theta$ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletado no tratamento sem adição de potássio (A30) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturadas com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).



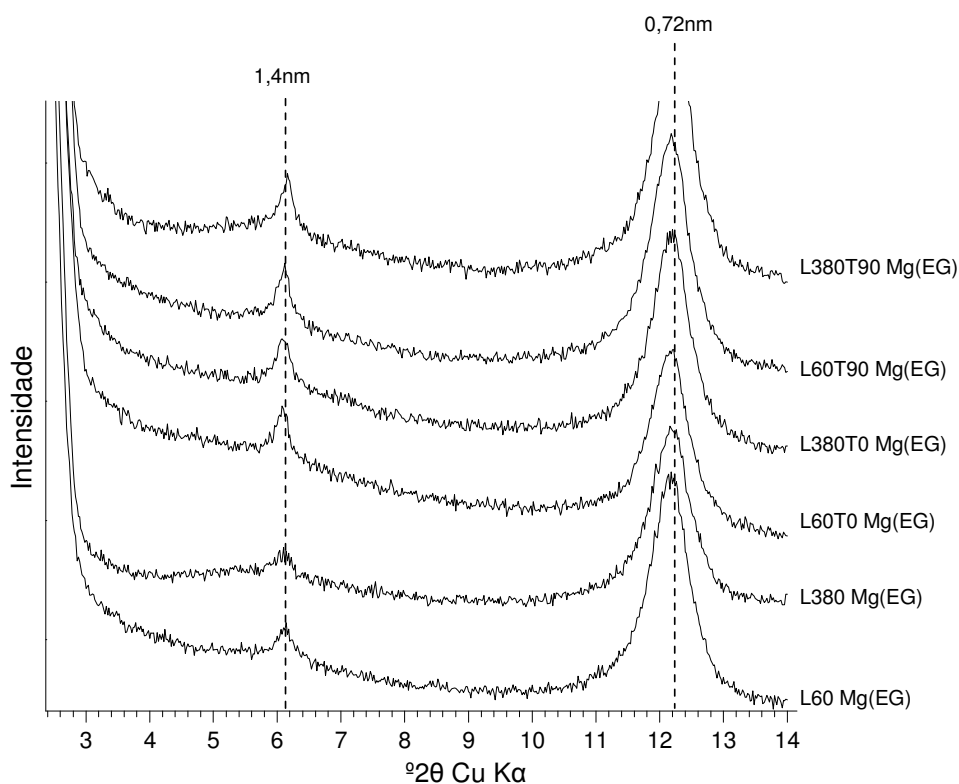
APÊNDICE J - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 $^{\circ}2\theta$ da fração argila não desferrificada do Argissolo coletada no tratamento que recebeu a maior dose de potássio (A120) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).



APÊNDICE L - Difratogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 $^{\circ}2\theta$ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada no tratamento sem adição de potássio (L60) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).



APÊNDICE M - Difratogramas de raios X entre os ângulos 2 e 35 $^{\circ}2\theta$ da fração argila desferrificada do Latossolo coletada no tratamento que recebeu a maior dose de potássio (L380) antes dos cultivos sucessivos em casa de vegetação, saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG) e potássio (K).



APÊNDICE N - Difractogramas de raios X entre os ângulos 2 e 14 °2θ da fração argila não desferrificada do Latossolo coletada no tratamento sem adição de potássio (L60) e coletada após os cultivos sucessivos em casa de vegetação no tratamento sem adição de potássio (L60T0) e da maior dose de potássio (L60T90) saturada com magnésio (Mg), Etileno glicol (EG).