

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

**RECUPERAÇÃO DO POTÁSSIO ADICIONADO EM  
SOLOS COM DIFERENTES TEORES E O EFEITO NA  
DISPONIBILIDADE ÀS PLANTAS**

**Dissertação de Mestrado**

**Wagner Capitanio Dierings**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**PPGCS/UFSM, RS**

**Dierings, Wagner C.**

**Mestre**

**2012**

# **RECUPERAÇÃO DO POTÁSSIO ADICIONADO EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES E O EFEITO NA DISPONIBILIDADE ÀS PLANTAS**

por

**Wagner Capitanio Dierings**

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  
2012**

**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

**RECUPERAÇÃO DE POTÁSSIO ADICIONADO EM  
SOLOS COM DIFERENTES TEORES E O EFEITO  
NA DISPONIBILIDADE ÀS PLANTAS**

Elaborado por  
**WAGNER CAPITANIO DIERINGS**

Como requisito parcial para obtenção de grau em  
**MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

---

**Prof. Dr. João Kaminski**  
(Presidente/Orientador) CCR-UFSM

---

**Dr. George Wellington Bastos de Melo**  
(EMBRAPA-CNPUV)

---

**Prof. Dr. Diovane Freire Moterle**  
(IFRS)

Santa Maria, 30 de maio de 2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dierings, Wagner Capitano  
RECUPERAÇÃO DE POTÁSSIO ADICIONADO EM SOLOS COM  
DIFERENTES TEORES E O EFEITO NA DISPONIBILIDADE ÀS  
PLANTAS / Wagner Capitano Dierings.-2012.  
53 f. ; 30cm

Orientador: João Kaminski  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2012

1. Fertilidade do solo 2. Adubação potássica 3. Nível  
de suficiência 4. Disponibilidade de potássio 5.  
Recuperação de potássio I. Kaminski, João II. Título.

À minha Noiva  
Patrícia Stangherlin

Aos meus Pais  
Jacir Jacó Dierings  
Eloar Teresinha Capitanio Dierings

**Dedico este trabalho.**

## **Agradeço!**

- A Deus pela graça da vida em sua plenitude.
- Aos meus pais Jacir e Eloar, pelo amor, criação, ensinamentos, bons exemplos, incentivo, e pela ciência na importância da boa educação e do conhecimento.
- A minha noiva Patrícia, pelo amor, companheirismo, carinho, estímulo, compreensão, abdicção, e exemplo de determinação.
- Aos meus sogros Antônio e Elva, pela hospitalidade, amizade, confiança, e exemplo de amor à vida.
- Ao meu orientador Professor Dr. João Kaminski, pela receptividade, amizade, confiança, acessibilidade, paciência, empenho e pela espontaneidade em compartilhar sua vivência e seu vasto conhecimento adquirido em muitos anos dedicados à pesquisa e ao ensino.
- Ao professor Danilo Rheinheimer dos Santos, pela oportunidade, confiança e dedicação ao ensino e à pesquisa.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo aprendizado, pela dedicação e qualidade do ensino.
- Ao coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela acessibilidade, seriedade, e pelo empenho em resolver problemas.
- Aos funcionários do Departamento de Solos, e do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela presteza e solicitude dedicadas ao público.
- Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela amizade, ajuda, e aprendizagem mútua.
- Aos colegas, bolsistas e voluntários de iniciação científica do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, pela convivência, disposição, auxílio nas atividades, conversas enriquecedoras, incentivo, e troca de conhecimentos.
- Aos membros da comissão examinadora, pela disponibilidade e contribuições.
- Aos meus avós, tios, primos e amigos, pela amizade, preocupação, estímulo, momentos de descontração e ajuda.
- À Universidade Federal de Santa Maria, pela estrutura e excelência.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo zelo em qualidade.
- A CAPES e á CNPQ, pela concessão de bolsas de estudo, e fomento de projetos.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Centro de Ciências Rurais  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **Recuperação do potássio adicionado em solos com diferentes teores e o efeito na disponibilidade às plantas**

Autor: Wagner Capitanio Dierings

Orientador: João Kaminski

Santa Maria, 30 de maio de 2012

A sustentabilidade da produção é amplamente difundida e discutida dentro dos sistemas produtivos, a utilização dos recursos da cadeia produtiva do setor agrícola, principalmente insumos, necessita de avaliações constantes, uma vez que seus impactos sócio-econômicos e ambientais podem ser irreversíveis. O potássio é o segundo nutriente em termos de exigência pelas culturas, em países como o Brasil torna – se evidente, a crescente demanda desse elemento, porém, mais de 90% da matéria prima para a fabricação de fertilizantes potássicos é importada. Devido à grande variabilidade de solos existentes, e às diferentes propriedades físico-químicas dos minerais fertilizantes em relação ao meio, os parâmetros para recomendação de fertilizantes baseiam-se em propriedades físicas e químicas do solo, e níveis de suficiência, dentro dos quais é possível quantificar e qualificar a capacidade de liberação de nutrientes do solo para as plantas. Vários experimentos com potássio têm observado resposta agronomicamente significativa apenas nas doses similares a quantidade exportada pelas culturas. O presente trabalho tem como objetivo melhorar e maximizar o aproveitamento do potássio adicionado, de maneira que venha a contemplar aspectos técnicos e econômicos, e garantir uma produtividade satisfatória integrada à restrição do uso indiscriminado de fertilizantes potássicos, desta forma, comprovar ou descartar as seguintes hipóteses: 1) O potássio adicionado é recuperado pelas plantas de tal forma, a fixação deste elemento pelo solo não ocorre em níveis significativos. 2) A adição de doses de  $K_2O$  sobre teores mais elevados já existentes no solo aumenta a disponibilidade de potássio para as plantas, estimulando a absorção acima dos limites suficientes para determinada produção. 3) Os níveis críticos apontados como base para recomendação são desnecessários, e a adição de potássio pode se basear apenas na necessidade das culturas para determinadas produtividades. O trabalho constituiu-se de dois experimentos. O primeiro ocorreu no campo, com dois cultivos sucessivos de soja e trigo, sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA 2006), localizado junto ao departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, com histórico de fertilização potássica a partir de 1991, e o segundo transcorreu em casa de vegetação, e teve como base, amostras de solos coletadas na área do primeiro experimento, e amostras de um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006) oriundo da Embrapa/Soja Londrina, PR, Brasil, também com histórico de adubação potássica, desde 1983. Em ambos os experimentos as unidades experimentais variam, quanto ao teor inicial de potássio no solo, e a quantidade de  $K_2O$  adicionada.

**Palavras Chave:** Adubação potássica, níveis de suficiência, disponibilidade de potássio.



## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Centro de Ciências Rurais  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **Recovery of added potassium in soils with different levels and the effect on availability to plants**

Author: Wagner Capitanio Dierings

Advisor: João Kaminski

Santa Maria, May 30, 2012

The sustainability of production is widespread and discussed within the productive systems, resource utilization of the productive chain of the agricultural sector, mainly inputs, requires constant evaluations, since their socio-economic and environmental impacts may be irreversible. Potassium is the second nutrient requirement in terms of the cultures, in countries such as Brazil becomes evident, the growing demand for this element, however, more than 90% of the raw material for the manufacture of potash fertilizers is imported. Because to the large variability of existing soils, and different physicochemical properties of the minerals fertilizers in relation with the environment, parameters for fertilizer recommendations are based on physical and chemical properties of the soil, and sufficiency levels, within which it is possible to quantify and qualify the ability to release soil nutrients for plants. Several experiments with potassium, agronomically significant response is observed only at doses similar to the amounts exported by crops. This Work aims to improve and maximize the utilization of potassium added, so that will include technical and economic aspects, productivity and ensure a satisfactory integrated restricting the indiscriminate use of potash fertilizers, thus confirm or discard the following hypotheses. 1) Is added potassium recovered plants so, the fixing of this element into soil does not at significant levels. 2) Addition of  $K_2O$  doses of higher levels existing in the soil increase the availability of potassium for plants stimulating the absorption enough above the limits for a given production. 3) The critical levels indicated as basis for recommendation are unnecessary; the addition of potassium can be based only on the need for certain crop yields. The study consisted of two experiments, so first occurred in the field, with two successive crops of soybean and wheat, on a Typic Hapludalf (EMBRAPA, 2006), located next to the department of soils, Federal University of Santa Maria (Universidade Federal de Santa Maria UFSM), in Santa Maria, RS, Brazil, with a history of potassium fertilization from 1991, the second were held in a greenhouse, and was based, soil samples collected in the area of the first experiment, and samples of an Typic Oxisol (EMBRAPA, 2006), coming from the Embrapa/Soy (Embrapa/soja) Londrina, PR, Brazil, also with a history of potassium fertilization from 1983. In both experiments the experimental units vary, as the initial content of potassium in the soil, and the amount of  $K_2O$  added.

**Keywords:** potassium fertilization, sufficiency levels, potassium availability.

## Lista de Tabelas Estudo I e Estudo II

Tabela 1 – I - Teores de Kt (Mehlich-1) dentro de cada nível antes da implantação das culturas de soja e trigo.....	22
Tabela 2 – I - Produtividade de grãos de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	25
Tabela 3 – I - Quantidade de potássio no tecido folhar de plantas de soja e trigo em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	28
Tabela 4 – I - Quantidade de potássio exportado nos grão de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	29
Tabela 5 – I - Teores de Kt (Mehlich-1) após os cultivos de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	30
Tabela 6 – II - Teores de Kt (Mehlich-1), e Knt (HNO <sub>3</sub> 1mol.l <sup>-1</sup> fervente) de amostras de um Argissolo e um Latossolo submetidas a tratamentos com diferentes doses de K <sub>2</sub> O.....	36
Tabela 7 – II - Produção de matéria seca da parte aérea de aveia no 1º e 2º cortes em um Argissolo e num Latossolo, com diferentes teores de Kt (Mehlich-1), submetidos á aplicação de 0 e 132 mg.kg <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	39
Tabela 8 – II - Acumulação de potássio na parte aérea de aveia no 1º e 2º cortes em um Argissolo e num Latossolo, com diferentes teores de Kt (Mehlich-1), submetidos á aplicação de 0 e 132 mg.kg <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O.....	40
Tabela 9 – II - Produção total de matéria seca, e acumulação total de potássio na parte aérea de plantas de aveia após dois cortes.....	41
Tabela 10 – II - Teores de Kt (Mehlich – 1) e Knt (HNO <sub>3</sub> 1mol.l <sup>-1</sup> fervente) no Argissolo e no Latossolo após o cultivo de Aveia.....	44

## Lista de Figuras e Quadros Estudo I e Estudo II

Figura 1 – I - Croqui referente à disposição do experimento de campo, com delineamento experimental em blocos ao acaso (DBA), com parcelas subdivididas. ....	21
Figura 2 – I - Estabelecimento do nível de suficiência de Kt no solo para culturas comerciais de soja e trigo, pela equação de Mitsterlich. (Rend. Relativo% X Kt Mehlich-1 mg.kg <sup>-1</sup> ). *(p<0,05).....	24
Figura 3 - I (a e b) - Estabelecimento do nível crítico (NC), e da produtividade máxima das culturas de soja e trigo através da equação polinomial de 2º grau. (Produtividade kg.há <sup>-1</sup> X Kt Mehlich-1 mg.kg <sup>-1</sup> ). *(p<0,05). ....	27
Figura 4 – I (a e b) - Determinação dos teores críticos (TC) de potássio no tecido folhar (TF) das culturas de soja e trigo (Rend. Relativo % X K no TF g.kg <sup>-1</sup> ). *(p<0,05).....	29
Figura 5 – II - Gráficos da produção de matéria seca da parte aérea de aveia, em função dos teores de Kt (Mehlich-1) no Argissolo, e no Latossolo.....	42
Figura 6 – II - Gráficos da acumulação de potássio no tecido folhar de aveia, em função dos teores de Kt (Mehlich-1) no Argissolo e no Latossolo.....	43
Quadro 1 – II - Atributos químicos e composição textural dos solos .....	37

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESES E OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	Hipóteses .....	16
2.2	Objetivo Geral .....	16
2.3	Objetivos Específicos .....	16
<b>3</b>	<b>ESTUDO I</b> .....	<b>17</b>
	<b>Produtividade de soja e trigo em um Argissolo com teores deficientes e suficientes de potássio submetido à adubação</b> .....	<b>17</b>
3.1	Introdução .....	18
3.2	Materiais e Métodos .....	20
3.3	Resultados e Discussão .....	23
3.4	Conclusão .....	31
<b>4</b>	<b>ESTUDO II</b> .....	<b>32</b>
	<b>Recuperação de potássio em solos com alta e baixa disponibilidade</b> .....	<b>32</b>
4.1	Introdução .....	33
4.2	Materiais e Métodos .....	35
4.3	Resultados e Discussão .....	38
4.4	Conclusão .....	45
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, a sustentabilidade da produção é um assunto amplamente difundindo e discutido dentro dos sistemas produtivos, em virtude desse contexto o desenvolvimento de trabalhos que visem a otimização do uso de recursos cíclicos ou internos na cadeia produtiva, tornam-se de suma importância, já que através destes estudos podemos comparar a viabilidade destes sistemas em relação a outros, que necessariamente são abertos e dependentes de recursos externos, e aqueles que em certos aspectos podem ser mais sustentáveis, porém ainda utilizam, em várias situações de forma precipitada, recursos que podem tornar menos viáveis seus meios de produção, como ocorre constantemente no setor agrícola.

A utilização de insumos na produção agrícola do Brasil, principalmente fertilizantes, é uma questão relativamente genérica. Ainda que, se identifiquem atributos altamente correlacionados com o comportamento dos elementos nutrientes no sistema solo-planta, a grande variabilidade de ambientes (solo, clima, relevo e vegetação), somada à diversidade dos sistemas de cultivo, acabam por dificultar recomendações específicas para cada condição. Assim, geralmente adotam-se doses de segurança, muitas vezes constituídas por quantidades excessivamente altas, que oneram maiores custos, sem a obtenção de repostas que sejam economicamente e tecnicamente viáveis.

Dentre os elementos minerais essenciais no desenvolvimento das plantas, o potássio ( $K^+$ ), é o segundo nutriente em termos de exigências pelas culturas, e em países como o Brasil, onde a agricultura é cada vez mais intensiva e técnica, torna – se evidente a crescente demanda desse elemento no sistema produtivo. Porém, para satisfazer essa exigência, é necessário importar mais de 90% de toda a matéria prima para a fabricação de fertilizantes potássicos (Lopes, 2005), uma vez que, as principais reservas mundiais encontram-se no exterior em países como Rússia, e Canadá (U.S. Geological Survey, 2012), resultando em custos mais elevados relacionados à utilização do nutriente.

Além das contrariedades econômicas e mercadológicas, que circundam a viabilidade da adubação potássica, outro fator adverso, e sem dúvida o principal motivador da realização de inúmeros trabalhos, inclusive deste, encontra-se na dificuldade de estimar e interpretar de forma clara, o comportamento do elemento

potássio no solo em relação às plantas, visto que trabalhos realizados com tal objetivo geralmente necessitam de longos períodos de monitoramento e avaliação. Estudos desenvolvidos sobre diferentes classes de solos, com predominâncias minerais distintas, devido a fatores pedogenéticos atuantes, demonstram também comportamentos distintos na dinâmica do potássio.

Acreditava-se que em solos altamente intemperizados, como os que ocorrem na maioria das áreas agriculturáveis do Brasil, o fornecimento de potássio às plantas fosse completamente dependente de adições via adubação, visto que as reservas encontradas nos solos são baixas (Van Raij, 1981). A prática de cultivos sucessivos, com doses variáveis de fertilizantes tem demonstrado que os solos apresentam diferentes capacidades de suprimento em potássio ao longo do tempo. O suprimento de potássio possui uma estreita relação com a composição mineral do solo, e interfere significativamente sobre a quantidade de fertilizantes utilizadas, porém, a adsorção de íons catiônicos no solo é regida basicamente pela sua capacidade de troca de cátions (CTC).

A predição de doses de adubação potássica baseada em procedimentos analíticos, tem como princípio, satisfazer a demanda das culturas pelo nutriente, de tal forma que garantam sua máxima produtividade, para tanto, é importante considerar também aspectos intrínsecos e específicos a cada condição de solo. Atributos como: mineralogia, CTC, e teores pré existente do nutriente no solo, são determinantes para recomendações adequadas de fertilizantes, pois interferem sobre a recuperação do potássio adicionado.

Por tanto, devido à grande variabilidade de solos existentes, e das diferentes propriedades físico-químicas dos minerais fertilizantes, em relação ao meio, se estabeleceu como parâmetro básico para recomendação de adubação, além das propriedades físicas e químicas do solo, níveis de suficiência, dentro dos quais é possível quantificar e qualificar a capacidade de liberação de nutrientes do solo para as plantas, porém, para o potássio, a análise de dados de vários experimentos, demonstram resposta agronomicamente significativa, apenas naquelas doses similares a quantidade exportada pelas culturas, embora muitos autores insistam em criar classes de disponibilidade sem a devida validação experimental.

O presente trabalho consiste da elaboração de dois estudos referentes à fertilização potássica. O estudo I aborda sobre a resposta das culturas à adubação potássica, e a validação do nível de suficiência em potássio, de um Argissolo

Vermelho distrófico típico, com histórico relativamente longo de fertilização potássica, utilizando-se dois cultivos sucessivos de soja e trigo, sob sistema de plantio direto e adição de  $K_2O$  na base. O estudo II trata da capacidade de recuperação pelas plantas, do potássio adicionado, em um Argissolo Vermelho distrófico típico, e num Latossolo Vermelho distrófico típico, submetidos a um cultivo de aveia e dois cortes sucessivos.

## 2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

### 2.1 Hipóteses

O potássio adicionado é recuperado pelas plantas de tal forma, a fixação deste elemento pelo solo não ocorre em níveis significativos.

A adição de doses de  $K_2O$  sobre teores mais elevados já existentes no solo aumenta a disponibilidade de potássio para as plantas, estimulando a absorção acima dos limites suficientes para determinada produção.

Os níveis críticos apontados como base para recomendação são desnecessários, e a adição de potássio pode se basear apenas na necessidade das culturas para determinadas produtividades.

### 2.2 Objetivo Geral

Melhorar e maximizar o aproveitamento do potássio, de tal maneira a contemplar aspectos técnicos, econômicos, e garantir uma produtividade satisfatória integrada à restrição do uso indiscriminado de fertilizantes potássicos.

### 2.3 Objetivos Específicos

Determinar a produtividade, e absorção de potássio pelas culturas, a partir de diferentes teores iniciais no solo.

Estudar a recuperação de potássio em solos com diferentes características, e exauridos por cultivos sucessivos.



### 3 ESTUDO I

## PRODUTIVIDADE DE SOJA E TRIGO EM UM ARGISSOLO COM TEORES DEFICIENTES E SUFICIENTES DE POTÁSSIO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO

### RESUMO

As recomendações de adubação potássica para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ainda que, utilize parâmetros como o potássio extraível, e a CTC a pH 7,0 para melhor definir as condições de disponibilidade desse nutriente, se depara com algumas incertezas, sobre a aferição das doses de adubação, a partir dos níveis de suficiência adotados. Os íons  $K^+$  mantêm uma dinâmica constante no solo, na qual as diferentes formas ocorrentes podem se sobrepor, e de tal maneira, atenuar o efeito da adubação potássica sobre as culturas. O presente estudo teve como objetivo, avaliar o efeito da adição de  $K_2O$  sobre a produtividade das culturas de soja e trigo, quando os teores de potássio extraível no solo pela solução de Mehlich-1 (Kt), variavam entre as faixas de disponibilidade baixo, médio e suficiente. O trabalho foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria-RS, Brasil, sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico. Foram usadas duas doses de  $K_2O$  (0 e  $50 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) aplicadas junto ao sulco de semeadura das culturas sobre as parcelas principais cujo solo continha diferentes teores de Kt. O teor crítico de Kt Mehlich-1 para  $CTC_{7,0}$  de  $6,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  é de aproximadamente  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , assim, a dose proposta referente à adubação corretiva torna-se desnecessária quando o Kt no solo superar este teor, sendo que doses de manutenção equivalentes as quantidades exportadas pelas culturas são suficientes para atingir produtividades satisfatórias.

**Palavras - Chave:** potássio no solo, potássio extraível, teor crítico, adubação corretiva.

### 3.1 Introdução

Usualmente as recomendações de adubação potássica fundamentam-se em resultados de análises de solo, nos quais os teores de potássio encontrados são interpretados de forma comparativa, com vistas, a qualificá-los dentro de diferentes faixas de disponibilidade, em relação a um valor limitante denominado nível de suficiência.

A partir do ano de 2004, com objetivo de melhor equalizar, e aferir as doses de fertilizantes potássicos recomendadas, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), com base em estudos realizados por Silva & Meurer, (1988) e Meurer & Anghinoni, (1993) agregou ao sistema de recomendação, a classificação dos solos segundo sua capacidade de troca de cátions em pH 7,0 ( $CTC_{7,0}$ ), criando-se assim três diferentes classes, e atribuindo a cada uma delas um respectivo nível de suficiência. A CTC do solo é o atributo físico-químico básico relacionado às reações e à dinâmica de íons catiônicos no meio. (Van Raij, 1969; Bortoluzzi et al., 2009)

O nível de suficiência ou nível crítico é um parâmetro geral adotado para identificar o teor de um determinado nutriente no solo, acima do qual a produtividade ou a responsividade das culturas não compensa o investimento para superar essa condição, sendo assim, a adição de fertilizantes sobre esse nível, é orientada unicamente pela necessidade das culturas em função da expectativa de produtividade, e da exportação do nutriente via grãos ou matéria seca. O nível crítico de potássio é um valor estimado, em que, com teores de potássio disponíveis no solo acima desse valor, as plantas apresentam baixa ou nula probabilidade de resposta à adubação potássica, assim, a dose de fertilizante é inversamente proporcional aos teores de potássio disponíveis no solo (Cate & Nelson, 1973). Apesar de, na visão de muitos, ainda predominar o conceito de uma relação linear entre a produtividade das culturas e a adição de fertilizantes.

A adubação de correção baseada em faixas de disponibilidade, e necessária segundo a CQFS-RS/SC, (2004) para corrigir os níveis de potássio disponível (Kt Mehlich-1) no solo, nem sempre se mostra uma alternativa plenamente viável, haja vista, que muitas vezes as doses recomendadas unicamente para elevar os teores de Kt, são suficientes para garantir uma produtividade satisfatória das culturas, de tal

maneira, as doses de manutenção e reposição sugeridas pelo manual, podem representar perdas de fertilizante no sistema, ou induzir o consumo de luxo pelas plantas, conforme observaram Vidor & Freire, (1971); Patella, (1980); Borkert et al., (1993); Scherer, (1998); Brunetto et al., (2005); Moterle, (2008); Kaminski, (2010).

O íon potássio ( $K^+$ ) compõem a estrutura de muitos minerais formadores do solo (Bortoluzzi et al. 2005; Curi et al., 2005; Barré et al., 2008). A contribuição de frações de potássio não determináveis por extratores como: Mehlich-1, Acetato de  $NH_4^+$  e Resina Trocadora de Íons (RTI), comumente utilizados nos laboratórios de rotina para mensurar a disponibilidade do potássio às plantas, é apontada por muitos autores como uma importante fonte de potássio em curto, médio e longo prazo (Veduin, 1994; Silva et al., 1995; Meurer et al., 1996; Melo et al., 2004; Bortoluzzi et al., 2005; Kaminski et al., 2007; Moterle, 2008). A predominância mineralógica, a CTC, e a concentração de  $K^+$  na solução, são os principais aspectos relacionados com o poder tamponante de potássio, e a sustentabilidade da produção vegetal pelos solos. (Sharpley 1990; Faria et al., 2012).

Solos abundantes em minerais primários micáceos e feldspáticos, e argilominerais 2:1 como a Ilita, Vermiculita e Esmeclita – hídrico-Al, embora possam possuir uma menor CTC, devem apresentar maiores quantidade de potássio não trocável (Knt), porém acessíveis às plantas (Melo et al., 2004; Bortoluzzi et al., 2005; Moterle 2008; Faria et al., 2012). Essas reservas podem ser quantificadas por métodos químicos com maior capacidade de extração (Cox et al., 1996) e pelo cultivo sucessivo de plantas (Oliveira et al., 1971; Mielniczuk & Selbach, 1978; Nachtigall & Valh 1991; Kaminski et al., 2007).

Por outro lado, solos com constituição mineralógica, predominantemente por óxidos e argilominerais 1.1, podem apresentar CTC elevada, também em função do maior conteúdo de matéria orgânica, porém, a capacidade de suprimento em potássio, indicada pelo Kt, pode ser reduzida drasticamente nos cultivos iniciais, quando não há devida reposição (Curi et al., 2005), o que reforça a idéia da necessidade de adubação corretiva. Moterle, (2008) e Faria et al., (2012) observaram maior capacidade suprimento do Argissolo sobre o Latossolo, ao longo de cultivos sucessivos.

Apesar da adoção de procedimentos cada vez mais criteriosos, para avaliar a capacidade do solo em disponibilizar potássio para as plantas, o sistema ainda se depara com dificuldades, pois o suprimento de nutrientes é dependente de um

processo dinâmico no solo, pelo qual as diferentes formas ocorrentes podem se sobrepor. (Oliveira et al. 1971; Mielniczuk & Selbach 1978; Meurer & Anghinoni 1993; Veduin, 1994 e Kaminski et al. 2007).

Por isso, há ainda a necessidade de se conduzir estudos para melhor compreender a dinâmica da disponibilização de potássio, em função das características dos solos, e agregar aos resultados de análises usuais, outros atributos representativos da interação entre esse nutriente e os constituintes do solo, como sugere (Wiethölter, 2007), a fim de, recomendarem-se doses de fertilizante cada vez mais adequadas às diferentes condições de solos, e sistemas de cultivo.

Este estudo teve como objetivo, avaliar o efeito da adição de  $K_2O$  sobre a produtividade das culturas de soja e trigo, quando os teores de potássio extraível no solo pela solução de Mehlich-1 (Kt), variavam entre as faixas de disponibilidade baixo, médio e suficiente.

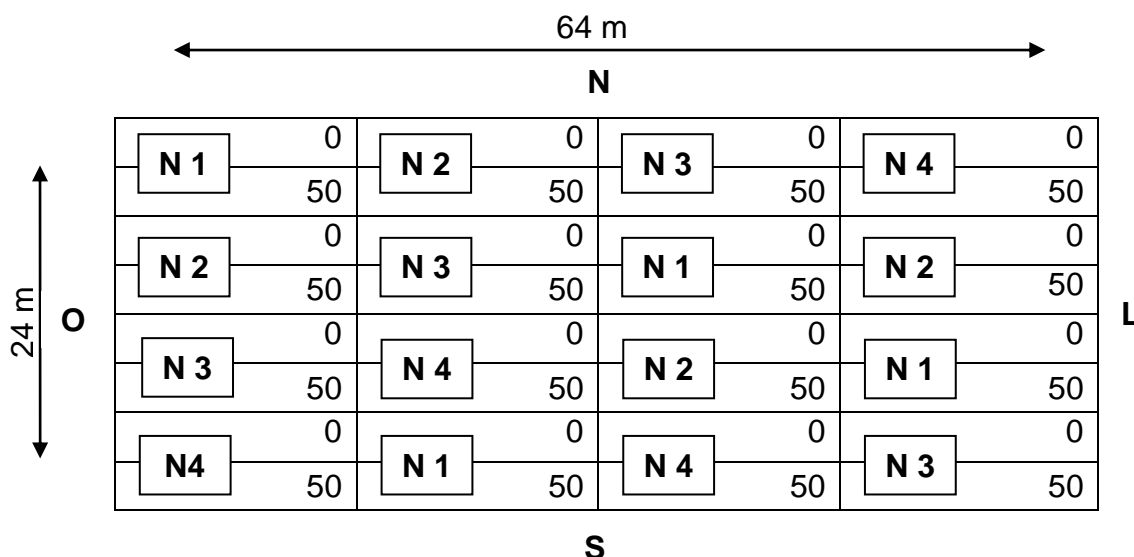
### 3.2 Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido junto à área experimental do Departamento de Solos vinculado ao Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no município de Santa Maria-RS, Brasil, situada a  $29^{\circ}43'11''S$  e  $53^{\circ}42'18''O$ , e com elevação aproximada de 87 m em relação ao nível do mar. A classificação climática dessa região é segundo Köppen, (1928) Cfa, com uma precipitação pluviométrica média de 1700 mm ano.

O experimento foi instalado sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), de substrato arenítico, cujas características de fertilidade química são: pH em  $H_2O$  5,3;  $H+Al$   $3,4 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Matéria orgânica  $17 \text{ g.kg}^{-1}$ ; K trocável  $0,12 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Ca + Mg trocáveis  $3,2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; P disponível  $34,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; CTC efetiva  $3,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $CTC_{7,0}$   $6,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; saturação por bases 49% e teor de argila  $180 \text{ g.kg}^{-1}$  composta de Caulinita, interestratificados do tipo Ilita-Esmectita (Bortoluzzi et al. 2005) e Caulinita-Esmectita (Bortoluzzi et al. 2007).

O estudo foi realizado em parcelas subdivididas (Figura 1 - I), as parcelas principais foram compostas por quatro níveis (N1, N2, N3 e N4) de potássio no solo, referentes à quantidades de Kt extraíveis por Mehlich-1 (Tabela 1 - I), oriundas da

adição de diferentes doses de  $K_2O$  em experimentos antecedentes (Veduin, 1994; Kist, 2005; Moterle 2008).



**Figura 1 – I** - Croqui referente à disposição do experimento de campo, com delineamento experimental em blocos ao acaso (DBA), com parcelas subdivididas. **N** (Norte), **S** (Sul), **L** (Leste), **O** (Oeste).

A subdivisão correspondeu a duas doses de  $K_2O$  (0 e 50 kg.ha<sup>-1</sup>), aplicadas junto ao sulco de semeadura das culturas, no plantio de cada cultivo, sobre as mesmas subparcelas (Figura 1 - I). No 2º cultivo os teores iniciais de Kt diferiam entre as subparcelas em cada nível (Tabela 1 - I), devido aos tratamentos 0 e 50 kg.ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  aplicados no 1º cultivo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições (Figura 1 - I).

As dimensões das parcelas principais eram de 6 X 16 m, logo foram divididas em duas subparcelas de 3 X 16 m (Figura 1 - I), a semeadura realizou-se no sentido longitudinal da parcela, e a largura da semeadora foi compatível com a menor distância de cada subparcela (Figura 1 - I). A avaliação do efeito dos tratamentos utilizou como principal parâmetro a produtividade de grãos de duas culturas: Soja (*Glycine Max. cv. Fundacep 59*) e Trigo (*Triticum aestivum, L. cv. Fendacep 300*), observada em dois cultivos sucessivos. O teor de potássio no tecido folhar, a quantidade de potássio exportada via grãos, e os teores de Kt remanescentes no solo após os cultivos, foram avaliados em caráter secundário.

**Tabela 1 – I - Teores de Kt (Mehlich-1) dentro de cada nível antes da implantação das culturas de soja e trigo.**

	K <sub>2</sub> O kg.ha <sup>-1</sup>	N1	N2	N3	N4
		-----Kt Mehlich-1 mg.kg <sup>-1</sup> -----			
<b>Soja</b>	<b>0</b>	27 B	36 B	54 M	70 A
	<b>50</b>	27 B	36 B	54 M	70 A
<b>Trigo</b>	<b>0</b>	23 B	32 B	46 M	52 M
	<b>50</b>	31 B	46 M	54 M	61 A

As letras B (Baixa), M (Média) e A (Alta) referem-se às classes de disponibilidade Kt (Mehlich-1) no solo para CTC<sub>7,0</sub> de 6,7 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, conforme classificação CQFS-RS/SC, (2004).

O cultivo da soja ocorreu durante o verão 2010 – 2011, e do trigo no inverno de 2011, ambos foram semeados sob o sistema de plantio direto, a densidade de plantas atendeu as recomendações técnicas indicadas para cada cultura e cultivares (CCGL Fundacep, 2011; CCGL Fundacep, 2011). Os tratos culturais comuns aos dois cultivos foram o tratamento de sementes, e aplicações de herbicidas, inseticidas e fungicidas sobre a parte aérea das plantas.

Um sistema de aporte hídrico complementar foi utilizado sobre a cultura da soja, com vistas a manter uma precipitação média de aproximadamente 8 mm/dia durante todo o seu ciclo, já a cultura do trigo, recebeu duas doses de 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N aplicadas em cobertura, sobre dois momentos fenológicos distintos, que foram, início da alongação do colmo, e início do florescimento. A adubação com parte do N para o trigo, e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para ambas as culturas, foram aplicadas junto ao sulco de semeadura simultaneamente ao plantio.

O ponto amostral utilizado para a colheita de grãos, de 13,2 m<sup>2</sup> para soja e 5,1m<sup>2</sup> para trigo, localizou-se no centro de cada subparcela. Após a colheita, a limpeza e a determinação da umidade, o material foi pesado. As massas de grãos encontradas foram convertidas em kg.há<sup>-1</sup>, com padronização da umidade em 13 e 14% para soja e trigo respectivamente.

O solo foi coletado em cada parcela principal, antes da implantação do experimento, as amostras eram compostas por seis subamostras retiradas em pontos representativos dentro das parcelas, e homogeneizadas. Após cada cultivo realizou-se a coleta do solo nas subparcelas, coletando-se duas subamostras em pontos eqüidistantes dentro da área de colheita. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 0,10 m, utilizando-se pá de corte, no sentido

transversal às linhas de semeadura com 0,9 m de largura, abrangendo o espaço entre 3 linhas de semeadura da soja, e aproximadamente 5 linhas do trigo.

A coleta de folhas foi casualizada dentro de cada subparcela, a amostragem realizou-se durante o florescimento pleno das culturas, coletaram-se folhas com pecíolo do terço superior das plantas de soja, e plantas inteiras de trigo, cada amostra era composta por trinta subamostras.

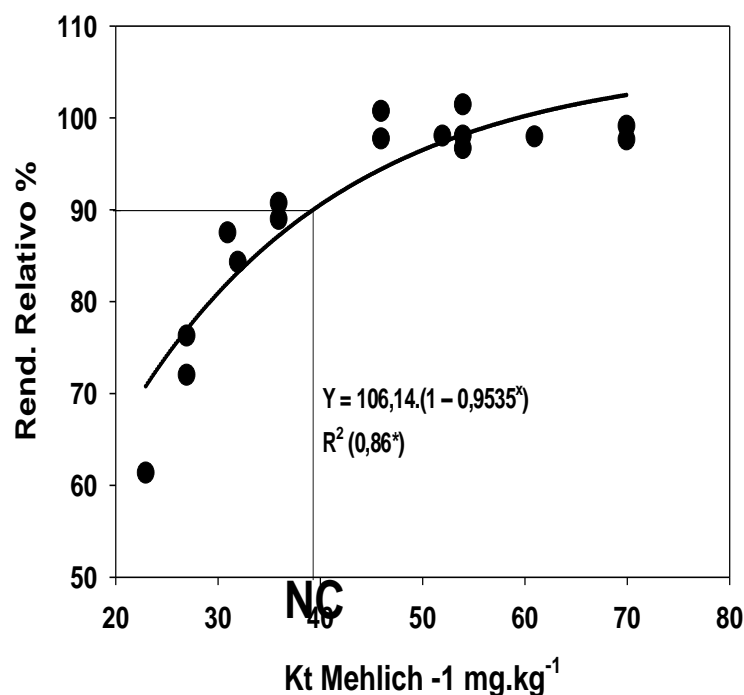
As amostras de solo foram secadas em estufa de ar forçado, a 45°C, moídas e peneiradas em malhas de 2 mm, para determinação do Kt pela solução de Mehlich-1 conforme Tedesco et al., (1995), as amostras de tecido vegetal (folhas e grãos), foram submetidas a secagem em estufa de ar forçado a 65°C, e moídas. Após, realizou-se digestão sulfúrica para extração e determinação do potássio segundo Tedesco et al., (1995).

Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas por teste de Tukey com 5% de significância. Utilizou-se a análise de regressão para as variáveis, rendimento relativo e produtividade, em função das quantidades de potássio no tecido folhar (TF), e dos teores de Kt Mehlich-1 no solo, tolerando-se probabilidade menor que 5% ( $p < 0,05$ ).

O rendimento relativo (**RR**) foi obtido usando a equação:  $RR = (rt / rm) \times 100$ , onde **rt** é o rendimento do tratamento, e **rm** é o rendimento máximo obtido pela cultura. Os resultados do rendimento relativo foram ajustados utilizando o modelo exponencial de Mitscherlich, em que  $Y = a (1 - b^x)$  (Figura 2 - I), onde se determinou o nível de suficiência em função do teor de Kt no solo. Os teores críticos de Kt no solo, para cada cultura, foram estimados por equação polinomial de 2º grau (Figuras 3 – I a e b), também foram determinados os teores críticos de potássio no tecido folhar em cada cultura (Figuras 4 – I a e b).

### 3.3 Resultados e Discussão

A  $CTC_{7,0}$  do solo utilizado para o experimento é de  $6,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  ( $5,1 < CTC < 15$ ), logo, o nível crítico para essa categoria de solo é de  $60 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ , segundo CQFS–RS/SC, (2004), assim, quando os teores se encontram abaixo desse limite recomenda-se adubação corretiva.



**Figura 2 – I** - Estabelecimento do nível de suficiência de Kt no solo para culturas comerciais de soja e trigo, pela equação de Mitsterlich. (Rend. Relativo% X Kt Mehlich-1 mg.kg<sup>-1</sup>). \*(p<0,05).

Neste trabalho encontrou-se um teor crítico de aproximadamente 40 mg.kg<sup>-1</sup> (Figura 2 - I), corroborando o resultado encontrado por Brunetto et al., (2005), que definiu como nível crítico para esse solo, o teor de 42 mg.kg<sup>-1</sup> de potássio extraível por Mehlich-1, utilizando o mesmo modelo matemático. Borkert et al., (1993) indicaram o teor de 40 mg.kg<sup>-1</sup> de Kt por Mehlich-1, como nível de suficiência de um Latossolo Roxo distrófico com CTC<sub>7,0</sub> de 13,8 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, no estado do Paraná - Brasil.

A determinação dos níveis de suficiências de Kt no solo pode apresentar variações em função da equação ajustada ao modelo matemático, e dos parâmetros utilizados. O modelo de Mitsterlich (Figura 2 - I) utiliza uma equação exponencial, e o estabelecimento do teor crítico de Kt no solo, independe do número de cultivos, e das culturas avaliadas. Para tanto, é necessário converter as produtividades absolutas em rendimentos relativos (RR%) para cada cultura.

As doses de 0 e 50 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, apesar de equivalerem a (0, 47 e 67) % das doses recomendadas para uma produtividade de soja de 2000 kg.há<sup>-1</sup> para



classes de disponibilidade de Kt baixas e médias (Tabela 1 - I), conforme CQFS-RS/SC, (2004), propiciaram, em todos os tratamentos, uma produtividade superior ao valor preconizado (Tabela 2 - I), não necessitando de correção até o nível de suficiência. A aplicação de 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, possibilitou uma produtividade superior a 3000 kg.há<sup>-1</sup> de soja (Tabela 2 - I), quando o teor de Kt no solo enquadrava-se na faixa média de disponibilidade (Tabela 1 - I). Segundo CQFS-RS/SC, (2004), nessa condição haveria necessidade de uma dose duas vezes maior que a quantidade aplicada no tratamento para a obtenção dessa produtividade.

**Tabela 2 – I** - Produtividade de grãos de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Cultivos	K <sub>2</sub> O Kg.ha <sup>-1</sup>	PRODUTIVIDADE				CV%
		N1	N2	N3	N4	
		-----kg.ha <sup>-1</sup> -----				
Soja	0	2051 b	2535 b	2755 b	2824 b	2,63
	50	2417 a	2875 a	3107 a	3094 a	
Trigo	0	1879 b	2590 b	3215 a	3070 a	4,16
	50	2807 a	3239 a	3307 a	3164 a	

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si por Tukey a 5% de probabilidade.

A produtividade de trigo superou 3000 kg.ha<sup>-1</sup> quando os teores de Kt no solo situavam-se na classe média de disponibilidade (Tabela 1 - I e 2 - I), as doses de 0 e 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicadas nos tratamentos, equivalem a (0 e 83)% em relação ao recomendado pela CQFS-RS/SC, (2004), para tal produtividade dessa cultura. Para classes baixas, em relação à disponibilidade de potássio (N1 e N2), (Tabelas 1 - I) a adição de 0 e 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O possibilitaram uma produtividade de grãos de trigo superior a 2000 kg.há<sup>-1</sup>, (Tabela 2 - I) mesmo equivalendo a (0 e 62 )% das doses preconizadas pela CQFS-RS/SC, (2004).

Quando da semeadura das culturas da soja e do trigo, as classes de disponibilidade de Kt no solo dentro dos níveis, estavam classificados conforme a CQFS-RS/SC, (2004) como baixas, médias e altas ou suficientes (Tabela 1 - I), assim seriam recomendadas, além de doses de manutenção comum às três classes, doses de correção, requeridas quando os teores de Kt no solo correspondem às

classes de disponibilidade baixas e médias, e ainda a aplicação de uma dose correspondente ao adicional de produtividade.

Porém, os teores de Kt no solo situados no limite inferior da classe de disponibilidade média, estimada pela CQFS-RS/SC, (2004), são suficientes para a obtenção de produtividades satisfatórias, sem a necessidade de transpor esse valor para níveis mais elevados (Figura 2 - I), corroborando com resultados obtido por Brunetto et al., (2005); Moterle, (2008); Kaminski et al., (2010).

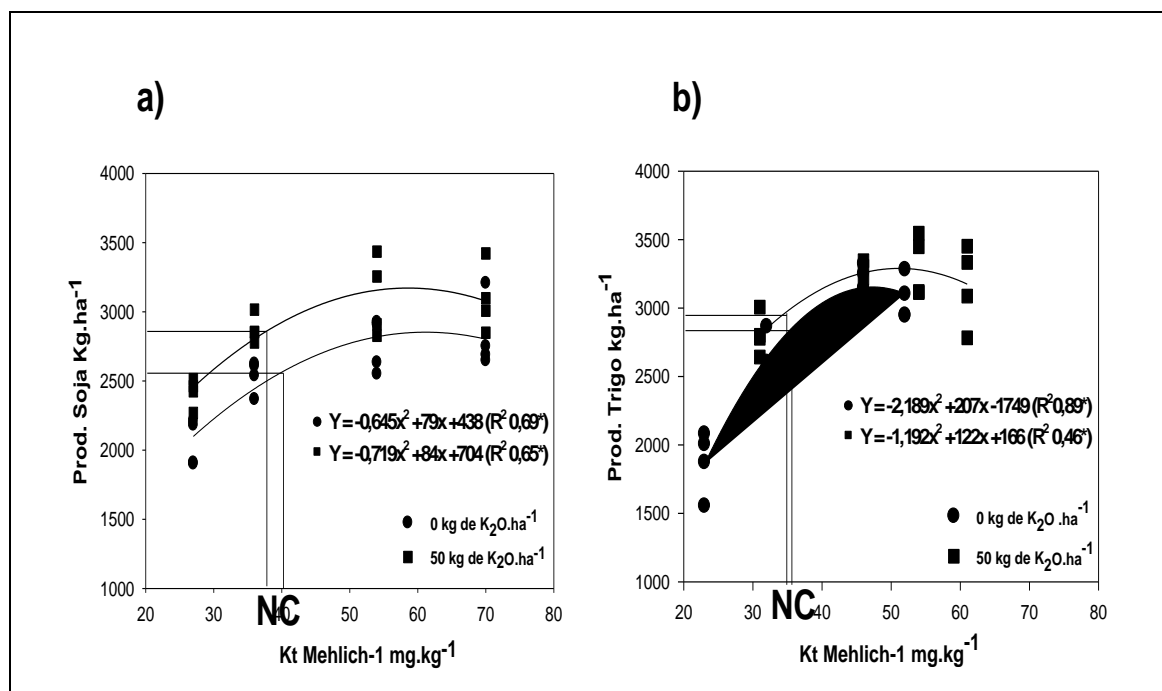
Observou-se resposta significativa de produtividade, à adição de 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em todos os níveis de potássio no solo para a soja (Tabela 2 - I), já a produtividade de trigo diferiu significativamente apenas em (N1 e N2) (Tabela 2 - I).

A produtividade máxima das culturas foi obtida com adição de 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para teores de Kt no solo de 59 e 51 mg.kg<sup>-1</sup> para soja e trigo respectivamente (Figuras 3 – I a e b). Os teores de Kt Mehlich-1 em torno de 39 mg.kg<sup>-1</sup> para a soja e 35 mg.kg<sup>-1</sup> para o trigo, foram suficientes para uma produtividade relativa a 90 % da produtividade máxima (Figuras 3 – I a e b).

A dose de 50 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O não propiciou uma produtividade satisfatória quando os teores encontravam-se abaixo destes níveis (Figuras 3 – I a e b). Portanto a utilização de quantidades adicionais à exportada para a recuperação dos teores de Kt no solo, se justificaria para áreas esgotadas por cultivos com adubação insuficiente, ou sem adubação potássica. De acordo com Rosolém et al., (1988) e Fernandez et al., (1993) embora, haja contribuição considerável de formas de Knt, no suprimento às plantas, solos com baixos teores de Kt, quando não devidamente adubados, acarretam em prejuízo na produtividade das culturas.

Os tratamentos que não receberam a aplicação de fertilizante potássico apresentaram uma progressão de produtividade de grãos em função do teor de Kt no solo semelhante àqueles onde se aplicou fertilizante, principalmente na cultura da soja, (Figura 3 – 1 a), segundo Bataglia & Mascarenhas, (1977) as maiores taxas de absorção de potássio em soja ocorrem no estágio vegetativo da cultura. Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) foram significativos a 5% de probabilidade, indicando a dependência da produtividade de grãos, em relação aos teores de Kt no solo, (Figuras 3 – I a e b), porém na cultura do trigo observou-se um acentuado decréscimo no valor de R<sup>2</sup> para a adição de 50 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 3 – I b), possivelmente devido à rápida absorção de potássio dessa espécie, em condições de maiores concentrações do nutriente na solução, também observado por Kosourov

et al., (1999) e Roshani e Narayanasamy, (2010), o volume do sistema radicular, e a taxa de absorção radicular (Barber, 1982), são parâmetros que definem a absorção do nutriente.



**Figura 3 – I (a e b) - Estabelecimento do nível crítico (NC), e da produtividade máxima das culturas de soja e trigo através da equação polinomial de 2º grau. (Produtividade kg.há<sup>-1</sup> X Kt Mehlich-1 mg.kg<sup>-1</sup>). \*(p<0,05).**

Mesmo que a CTC desse solo apresente um maior potencial de cargas para a adsorção de K<sup>+</sup> em relação ao teor crítico para as culturas, a realização de diversos trabalhos a exemplo deste, não confirmam a necessidade de preencher todos esses grupos funcionais para que só então ocorra uma liberação líquida de potássio suficiente para garantir altas produtividades, mitigando o efeito do solo como “dreno” em relação a este nutriente.

Desta maneira a diferença existente entre o nível de suficiência e a capacidade máxima de adsorção de K<sup>+</sup> pelo solo, pode representar um estoque desnecessário deste elemento, e bem mais propenso a perdas, a final o solo não é o local mais indicado para a armazenagem de fertilizantes. Em um levantamento da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul ainda em 2001, Rheinheimer et al., (2001), já destacavam que até 60% das amostras apresentavam teores de Kt acima do nível de suficiência. Segundo o estudo de Martinazzo, (2006), 91 % das áreas de

plântio direto do planalto, que adotam o sistema de recomendação da CQFS-RS/SC (2004), apresentam teores de potássio acima do nível de suficiência.

A acumulação de potássio pelas plantas, avaliada através da quantidade presente no tecido folhar, aumentou similarmente à produtividade e acompanhou a adição de  $K_2O$ , (Tabela 3 - I), pois a capacidade de absorção desse nutriente pelas plantas é adaptável à sua disponibilidade no solo, assim solos com altos teores têm alta absorção, mas isso não significa aumento do potencial de produção (Epstein et al., 1963; Gerloff & Gabelman 1983; Marschner, 1998; Duncan & Baligar, 1990, Sherer, 1998).

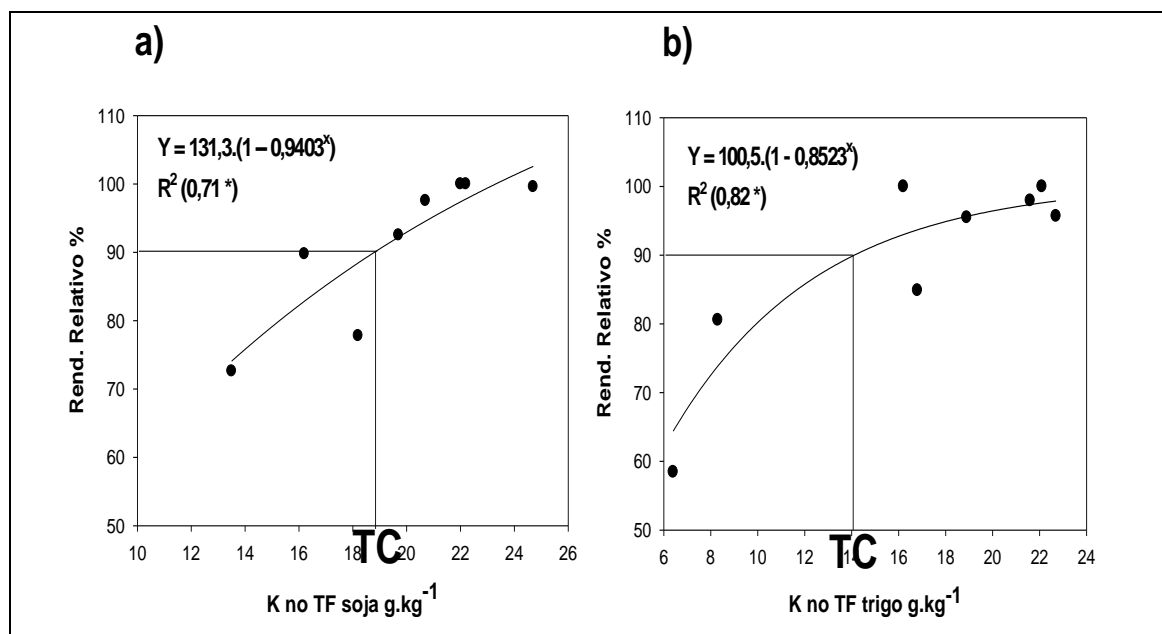
**Tabela 3 – I** - Quantidade de potássio no tecido folhar de plantas de soja e trigo em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50  $kg.há^{-1}$  de  $K_2O$ .

	$K_2O$ $kg.ha^{-1}$	K NO TECIDO FOLHAR				CV%
		N1	N2	N3	N4	
		----- $g.kg^{-1}$ -----				
Soja	0	13,5 b	16,2 b	20,7 a	22,2 b	4,34
	50	18,2 a	19,7 a	22,0 a	24,7 a	
Trigo	0	6,4 b	8,3 b	16,2 b	18,9 b	9,15
	50	16,8 a	21,6 a	22,1 a	22,7 a	

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si por Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores críticos de potássio no tecido folhar de soja e trigo foram 19 e 14  $g.kg^{-1}$  respectivamente (Figuras 4 – I a e b). Segundo Sacramento e Rosolém, (1998), plantas bem nutridas com potássio apresentam maior eficiência de absorção, e a eficiência na conversão de nutriente em matéria seca, é mais notória em plantas deficientes em potássio.

Por isso, a resposta de produtividade em relação à acumulação de potássio segue uma progressão não linear (Figuras 4 – I a e b), sendo possível também o estabelecimento de níveis de suficiência, acima dos quais o consumo de potássio por parte das plantas não garante um proporcional aporte produtivo, caracterizando o “consumo de luxo” (Marschner, 1998; Gommers et al., 2005; Meurer, 2006), porém esses teores são volúveis em função da presença de outros elementos, e características específicas de cada cultivar (Bataglia & Dechen, 1986; Borkert et al., 1993).



**Figura 4 – I (a e b)** - Determinação dos teores críticos (TC) de potássio no tecido folhar (TF) das culturas de soja e trigo (Rend. Relativo % X K no TF g.kg<sup>-1</sup>). \*= (p<0,05).

As exportações de potássio pelos grãos das referidas culturas, foram proporcionais à produtividade, assim, as quantidades de 21 e 4 g.kg<sup>-1</sup> para soja e trigo respectivamente se mantiveram independente dos teores de Kt do solo (Tabela 4 - I). Mascarenhas et al., (1983) observaram variação na quantidade de potássio exportado por grãos de soja em diferentes cultivares.

**Tabela 4 – I** - Quantidade de potássio exportado nos grão de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

	K <sub>2</sub> O Kg.ha <sup>-1</sup>	K EXP. GRÃOS				CV%
		N1	N2	N3	N4	
		-----kg.ha <sup>-1</sup> -----				
Soja	0	43,8 b	51,1 b	57,5 b	58,7 b	3,93
	50	53,2 a	60,9 a	65,9 a	65,7 a	
Trigo	0	7,3 b	10,0 b	13,0 a	12,3 a	6,52
	50	11,2 a	12,8 a	13,0 a	12,6 a	

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si por Tukey a 5% de probabilidade.

A proporção entre o potássio no tecido folhar e o potássio exportados pela massa de grãos (Tabelas 3 - I e 4 - I), considerando uma relação entre produção de matéria seca e produtividade de grãos igual para as duas culturas, pode indicar que os resíduos culturais do trigo apresentam maior capacidade de reciclagem deste nutriente em relação à cultura da soja.

O Kt apresentou incremento com adição de 50 kg.há<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, quando este se encontrava abaixo do nível de suficiência de 40 mg.kg<sup>-1</sup>, já para os teores acima deste nível os acréscimos no banco de Kt foram mais brandos ou inexistentes (Tabelas 1 - I e 5 - I), dessa forma, podemos inferir que acima de um determinado teor de Kt, quase todo, ou todo o potássio aplicado, desconsiderando perdas no sistema, seria aproveitado pelas plantas, concordando com resultados obtidos por Moterle, (2008) que observou invariabilidade dos teores de Kt, após os cultivos, mesmo aplicando doses variáveis de K<sub>2</sub>O. Kaminski et al., 2010 constataram que o conteúdo de Kt no solo permaneceu constante quando a quantidade de potássio adicionada coincidiu com o exportado pelas culturas, no entanto a manutenção do equilíbrio e da disponibilidade dependem das reservas de potássio no solo.

**Tabela 5 – I - Teores de Kt (Mehlich-1) após os cultivos de soja e trigo, em quatro níveis de potássio no solo, e adição de 0 e 50 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.**

	K <sub>2</sub> O Kg.ha <sup>-1</sup>	Kt MEHLICH-1				CV%
		N1	N2	N3	N4	
		-----mg.kg <sup>-1</sup> -----				
Soja	0	23	32	46	52	7,41
	50	31	46	54	61	
Trigo	0	23	31	44	48	12,19
	50	40	49	56	60	

Para o tratamento 0 kg.há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, os teores de Kt após os cultivos não apresentaram grandes depleções, comparados às quantidades de potássio exportadas pelas culturas (Tabelas 5 – I e 4 - I), provavelmente devido à reposição oriunda das reservas de potássio não determináveis através do extrator Mehlich-1. Conforme Kaminski et al., (2007) a absorção de potássio pelas plantas desencadeia um processo contínuo de depleção do Knt ocorrentes no solo, embora seja mais acentuada quando os teores de potássio disponíveis são mais baixos. Bortoluzzi et

al., (2005); Bortoluzzi et al., (2007); Moterle, (2008) observaram forte influência dos atributos mineralógicos desse solo, em relação a sua capacidade em suprimento de potássio ao longo dos cultivos.

### **3.4 Conclusão**

O teor crítico de Kt Mehlich-1 para  $CTC_{7,0}$  de  $6,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  é de aproximadamente  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , assim, a dose proposta referente à adubação corretiva torna-se desnecessária quando o Kt no solo superar este teor, sendo que doses de manutenção equivalentes as quantidades exportadas pelas culturas são suficientes para atingir produtividades satisfatórias.

## 4 ESTUDO II

### RECUPERAÇÃO DE POTÁSSIO EM SOLOS COM ALTA E BAIXA DISPONIBILIDADE

#### RESUMO

A disponibilidade do potássio às plantas é controlada basicamente por diferentes estados de energia físico química. Sítios de adsorção específicos em relação aos  $K^+$  ocorrem predominantemente junto às estruturas entre camadas de argilominerais 2:1. Convencionalmente, a literatura refere-se aos  $K^+$ , em estado difuso, e em equilíbrio entre quatro diferentes frações no solo, classificadas em função diferentes forças de ligação dos  $K^+$ , e a capacidade extrativa dos métodos empregados. A fração de potássio dita trocável (Kt) é o parâmetro usualmente adotado para medir a capacidade de fornecimento imediato de potássio pelo solo, embora o acumulado no tecido vegetal geralmente supere os teores de Kt medidos, evidenciando a contribuição de formas não trocáveis (Knt). Solos cultivados de maneira intensa e sucessiva, sem devidas reposições de  $K_2O$ , tendem a minimizar sua reserva natural de potássio, e conseqüentemente disponibilizar complexos de troca com alta afinidade, a ponto de reterem  $K^+$  adicionados via fertilizantes com elevada energia, e estabelecer níveis de competição com as plantas pelo nutriente. O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de recuperação de potássio pelas plantas, em dois solos submetidos a um cultivo de aveia, com diferentes teores disponíveis desse nutriente. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em um Argissolo Vermelho distrófico típico e um Latossolo Vermelho distrófico típico, avaliou-se produção de matéria seca da parte aérea das plantas, acumulação de potássio no tecido folhar, e teores de Kt e Knt antes e após o cultivo. O potássio adicionado ao solos foi recuperado pela aveia, mantendo os teores originais do solo, mesmo quando as quantidades iniciais são insuficientes, indicando que não há forte mecanismo no solo para fixação de potássio.

**Palavras Chave:** Potássio no solo, fixação de potássio; recuperação de potássio



## 4.1 Introdução

A cinética do potássio no solo, bem como, a taxa de liberação desse nutriente às plantas, é controlada basicamente por diferentes estados de energia físico química entre ligações dos íons de potássio ( $K^+$ ) às partículas negativamente carregadas do solo (Sparks, 1987; Syers, 1998), características moleculares como: raio iônico, valência iônica e energia de solvatação, somadas às propriedades do meio como: quantidade e qualidade das cargas negativas disponíveis, concentração de  $K^+$  em solução, e competição entre íons pelas cargas das partículas, são condicionantes sobre a dinâmica do potássio no solo (Woodruff, 1955; Sparks & Huang, 1985; Sposito, 1994). Sítios de adsorção específicos em relação aos  $K^+$ , ocorrem predominantemente junto às estruturas entre camadas de argilominerais 2:1 (Ilita, Vermiculita, Esmectita e minerais interestratificados) (Song & Huang, 1988; Velde & Peck, 2002; Bortoluzzi et al., 2005), por isso, a composição mineral é um atributo relevante quando se trata de potássio no solo.

O potássio está naturalmente presente na estrutura de minerais primários micáceos e feldspáticos, argilominerais 2:1 como Ilita, e interestratificados como Ilita Esmectita (Bortoluzzi et al., 2005; Curi et al., 2005; Barré et al., 2008). O material de origem, e os processos intempéricos naturais ou antrópicos aos quais esse material é submetido no decorrer da pedogênese, são aspectos primordiais, e consideráveis em relação à presença, e o provável comportamento desse elemento no solo (Martins et al., 2004; Melo et al., 2004; Jeffrey et al., 2012). O grau de desenvolvimento dos solos é determinante em relação à existência e a diversidade de minerais de argila silicatados, solos agrícolas sob intensos e sucessivos cultivos apresentam variações entre os tipos de filossilicatos. (Bortoluzzi et al., 2005; Moterle, 2008; Barré et al., 2008).

Convencionalmente, a literatura refere-se aos  $K^+$  em estado difuso, e em equilíbrio entre quatro diferentes frações no solo que são: potássio da solução ( $K_s$ ), potássio trocável ( $K_t$ ), potássio não trocável ( $K_{nt}$ ) e potássio estrutural ( $K_e$ ). Essa classificação é devida principalmente a diferentes forças de ligação dos  $K^+$ , e a capacidade extrativa dos métodos empregados (Mortland, 1961; Tessier et al., 1979). O parâmetro básico, usualmente adotado para medir a capacidade de fornecimento imediato de potássio, é o  $K_t$  no solo, por se considerar que essa fração é a mais

contributiva sobre a absorção das plantas, e também, por ser um método indireto para avaliar a situação das demais formas desse elemento no solo.

O potássio acumulado nos tecidos vegetais, em geral, supera os teores de Kt previamente medidos, evidenciando a contribuição do Knt, em curto a médio prazo, no suprimento às plantas. (Nachtigall e Vahl, 1991; Rosolém et al., 1993; Martins et al., 2004; Kaminski et al., 2007, Faria et al., 2012), a tal ponto, de não obter-se resposta significativa à adubação potássica, quando os teores de Kt no solo são inferiores aos limites considerados suficientes, (Mengel e Busch, 1982; Rosolém et al., 1993; Brunetto et al., 2005; Moterle, 2008; Kaminski et al., 2010). Kaminski et al., (2007) observaram depleção dos teores de Knt, após cinco cultivos, mesmo com a adição freqüente de  $K_2O$ . As plantas mantêm dois mecanismos altamente eficientes que controlam a absorção de potássio, para altas e baixas concentrações na solução do solo (Epstein et al., 1963; Maathuis e Sanders, 1996; Fu e Luan, 1998).

Apesar da presença substancial de potássio na estrutura de muitos minerais formadores do solo (Ke), (Saduskay et al., 1987; Rubio e Sotres, 1997; Castilhos e Meurer, 2001) a sua disponibilidade relativamente lenta, faz com que a acessibilidade das plantas a essa forma de potássio seja restrita à escalas insuficientes para sua demanda imediata (Sparks, 1986; Meurer et al., 1996; Kaminski et al., 2007), mas em longo prazo sua contribuição sobre as formas de potássio disponíveis pode ser expressiva.

A mobilização do  $K^+$  no solo ocorre predominantemente por difusão (Barber, 1974; Ruiz et al., 1999), cujo fluxo direciona-se a favor dum gradiente de concentração (Gommers et al., 2005). A subtração do potássio da solução (Ks), causada pela absorção das plantas, é compensada pela liberação de  $K^+$  adsorvidos. A cinética da difusão é inversamente proporcional às forças de ligação entre os  $K^+$  e as partículas carregadas do solo, fatores como temperatura e umidade exercem influência sobre esse fenômeno. (Barber, 1974; Vargas, 1982; Ruiz, 1999; Sposito, 1994; Oliveira, 2004; Fernandes, 2006). A mineralogia, a eficiência das plantas em absorver potássio, e a concentração do Kt, são características que interferem na direção e velocidade das reações, e na taxa de liberação do Knt. (Sparks, 1987; Mitsios e Rowell, 1989; Badraoui et al., 1992; Simonsson et al., 2007).

A dinâmica do potássio no solo, sobre tudo, em cultivos com adubação suficientemente equilibrada, é voltada ao abastecimento da solução com  $K^+$ , e conseqüentemente a absorção desse nutriente pelas plantas. Solos cultivados de

maneira intensa e sucessiva, sem devidas reposições de  $K_2O$ , tendem a minimizar as formas disponíveis de potássio, o grau de esgotamento, e o tempo para isso acontecer dependem principalmente da constituição mineral dos solos. Moterle, (2008) e Faria et al. (2012) observaram que um Argissolo apresentou maior capacidade de suprimento de potássio que um Latossolo.

Cargas negativas, presentes nos espaços entrecamadas de argilominerais 2:1 expansíveis, possuem elevada afinidade físico química por  $K^+$ , devido à suas características moleculares serem compatíveis com a dimensão, e o potencial energético desses espaços (Barshad, 1951; Kittrick, 1966). A taxa de fixação de  $K^+$  é afetada por variáveis como, o pH, a CTC, a saturação por  $K^+$ , e o tamanho das partículas (Zhang et al., 2009). Melo et al., (2004) e Bortoluzzi et al., (2007), constataram em um Latossolo basáltico, e num Argissolo arenítico, ambos em região subtropical, no sul do Brasil, a presença de hidróxi-Al entrecamadas, o que interfere sobre a fixação e/ou liberação de  $K^+$  nesses solos.

A presença de sítios específicos em relação à adsorção de íons  $K^+$  no solo está atrelada à mineralogia, mas a disponibilidade desses sítios depende dentre vários fatores, da concentração de  $K^+$  na solução. Teores baixos no solo podem propiciar a fixação do potássio adicionado via fertilizantes. Badraoui et al., (1988); observaram fixação de 25 a 30 % do potássio adicionado. Velde & Peck, (2002) atribuíram a fixação de  $K^+$  a um processo denominado ilitização. Porém, o potencial de fixação de  $K^+$ , pelos solos é relativo à demanda das plantas. Barré et al. (2008) e Faria et al. (2012) concluíram que o poder de fixação de  $K^+$  pelo solo, é insuficiente à demanda das plantas. O  $K^+$  recentemente fixado é mais rapidamente mobilizado que o  $K^+$  nativo fixado (Badraoui et al., 1992)

O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de recuperação de potássio pelas plantas, em dois solos submetidos a um cultivo de aveia, com diferentes teores disponíveis desse nutriente.

## 4.2 Materiais e Métodos

O experimento foi desenvolvido entre os meses de julho e outubro de 2011, em casa de vegetação localizada junto à área experimental do Departamento de Solos, vinculado ao Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa

Maria (UFSM), Santa Maria, RS – Brasil. Foram utilizadas amostras de um Argissolo Vermelho distrófico típico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006).

As amostras coletadas nos anos de 2005 e 2006 provinham de experimentos de campo conduzidos em um Argissolo na área experimental do Departamento de Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS – Brasil, e num Latossolo junto à EMBRAPA soja, Londrina, PR – Brasil, ambos relativamente antigos, e com variações das doses de  $K_2O$  aplicadas nos tratamentos. Durante o ano de 2006, até meados de 2007, as amostras transcorreram um ensaio de casa de vegetação, onde foram submetidas a vários cultivos sucessivos, e tratamentos com e sem adição de  $K_2O$ .

Os teores iniciais de Kt e Knt das amostras coletadas no campo na profundidade de 0 a 0,10 m eram respectivamente: (A)  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $43 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; (B)  $140 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $90 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o Argissolo, (C)  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $51 \text{ mg.kg}^{-1}$ , (D)  $380 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $179 \text{ mg.kg}^{-1}$  no Latossolo. A e C representam as parcelas testemunhas em relação à adição de  $K_2O$ , e B e D, as que receberam maior dose acumulada de fertilizante potássico até a data da coleta sendo  $1380 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $K_2O$  para o Argissolo e  $3200 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $K_2O$  para o Latossolo. Após o experimento em casa de vegetação, onde se procederam sucessivamente 13 cultivos no Argissolo, e 10 cultivos no Latossolo, cujos tratamentos, constituíam-se da adição de 0 e  $90 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $K_2O$  (Moterle 2008), o conteúdo de Kt e de Knt das amostras eram os seguintes:

**Tabela 6 – II** - Teores de Kt (Mehlich-1), e Knt ( $\text{HNO}_3$   $1 \text{ mol.l}^{-1}$  fervente) de amostras de um Argissolo e um Latossolo submetidas a tratamentos com diferentes doses de  $K_2O$ .

<b>ARGISSOLO</b>	<b>Kt</b>	<b>Knt</b>	<b>LATOSSOLO</b>	<b>Kt</b>	<b>Knt</b>
<b>13 cultivos</b>	<b>-----mg.kg<sup>-1</sup>-----</b>		<b>10 cultivos</b>	<b>-----mg.kg<sup>-1</sup>-----</b>	
A <sup>1</sup> 0 <sup>2</sup>	13	30	C0	20	32
A90	42	47	C90	137	46
B0	17	48	D0	31	34
B90	79	77	D90	200	64

<sup>1</sup> Letras representam a identificação das amostras de campo, <sup>2</sup> Algarismos representam tratamentos do experimento em casa de vegetação.

Além dos diferentes teores de potássio (Kt e Knt) os demais atributos relativos à fertilidade foram:

**Quadro 1 – II - Atributos químicos e composição textural dos solos**

Solos	pH (H <sub>2</sub> O)	Argila	Silte	Areia	C	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTC <sub>7,0</sub>	P
		-----g.kg <sup>-1</sup> -----				-----cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> -----				mg.kg <sup>-1</sup>
<b>Argissolo</b>	5,6	157	240	603	8	1,9	2,8	1,3	6,1	7,5
<b>Latossolo</b>	6,1	820	140	40	26	2,5	10,1	2,5	15,3	9,4

Para a determinação de CTC<sub>7,0</sub> utilizou-se os teores médios de Kt, obtidos na Tabela 6 - II

As unidades experimentais (ue) foram constituídas por vasos com capacidade de 1dm<sup>-3</sup>, preenchidos com amostras contendo 1,125 kg de solo para o Argissolo e 0,875 kg de solo para o Latossolo.

Os tratamentos compuseram-se por doses de 0 e 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, adicionadas sobre amostras de solos contendo diferentes teores de potássio (Tabela 6 - II). Para isso utilizou-se delineamento experimental bi fatorial (4X2) com 4 repetições. As variáveis observadas após a realização do cultivo de aveia foram produção de matéria seca, acumulação de potássio na parte aérea das plantas, e teores de Kt e Knt remanescentes no solo.

A adição de K<sub>2</sub>O consistiu em 0,1dm<sup>-3</sup> de solução de KCl 0,0492 molar. Para os tratamentos onde não houve adição de potássio cada vaso recebeu 0,1 dm<sup>-3</sup> de água destilada, após esse procedimento as amostras foram incubadas durante sete dias, para homogeneizar e atingir o equilíbrio iônico no meio, para tanto os solos mantiveram-se umedecidos a 80% da capacidade de campo.

As sementes de aveia (*Avena sativa L.*) foram distribuídas em número de 10 por vaso, após a emergência das plântulas houve desbaste manual deixando-se 4 plantas. Durante o desenvolvimento da cultura além da correção diária da umidade do solo, também foram adicionados 90 mg de N por vaso distribuídos em três aplicações no decorrer do cultivo. As plantas de aveia foram submetidas a dois cortes durante o cultivo, sendo que o período entre cada corte foi de 42 dias observando o estágio vegetativo da cultura.

A parte aérea (colmos e folhas) das plantas de aveia coletadas em cada corte foram lavadas e secas em estufa com ar forçado a 65° C, até atingirem massa

constante para serem pesadas, após foram maceradas e processadas para determinação da quantidade de potássio no tecido vegetal, por digestão sulfúrica, conforme Tedesco et al., (1995).

Após o 2º corte das plantas, os solos foram retirados dos vasos, destorroados, peneirados e secados em estufa com ar forçado a 45°C, em seguida determinou-se o Kt por Mehlich-1 conforme Tedesco et al., (1995), e Knt por HNO<sub>3</sub> 1 mol.l<sup>-1</sup> fervente (Pratt, 1965). Os procedimentos estatísticos adotados foram comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância, e análise de regressão para a produção de matéria seca e acumulação de potássio no tecido vegetal, em função dos teores de Kt Mehlich -1 no solo tolerando-se significância inferior a 5%, ( $p < 0,05$ ).

### 4.3 Resultados e Discussão

A produção de matéria seca de aveia no 1º corte foi proporcionalmente maior que no 2º, em ambos os solos (Tabela 8 - II), as maiores diferenças foram observadas nos tratamentos sem adição de K<sub>2</sub>O, principalmente onde os teores de Kt no solo eram baixos sendo, 13 mg.kg<sup>-1</sup> no Argissolo e 20 e 31 mg.kg<sup>-1</sup> no Latossolo. Ainda que as plantas possuam um eficiente sistema de absorção (Epstein et al., 1963), em condições de baixa disponibilidade (2º corte), a cinética, e a taxa de liberação de K<sup>+</sup> do solo foram limitantes sobre seu desenvolvimento (Meurer et al., 1996; Kaminski et al., 2007). A adição de 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, propiciou uma produção de matéria seca equânime entre o 1º e o 2º corte, mesmo com variação dos teores de Kt no solo (Tabela 8 - II). Isso também foi percebido quando os teores de Knt, no solo eram mais elevados, como na amostra B0, que apesar de conter 17 mg.kg<sup>-1</sup> de Kt, apresentava 48 mg.kg<sup>-1</sup> de potássio classificado como não trocável (Knt) (Tabela 6 - II), mas acessível às plantas, a ponto de manter uma maior paridade na produção de matéria seca entre os cortes (Tabela 8 - II), porém, não suficiente para uma produção de matéria seca total satisfatória (Tabela 10 - II).

**Tabela 7 – II** - Produção de matéria seca da parte aérea de aveia no 1º e 2º cortes em um Argissolo e num Latossolo, com diferentes teores de Kt (Mehlich-1), submetidos á aplicação de 0 e 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Adição K <sub>2</sub> O (mg.kg <sup>-1</sup> )		-----Kt Argissolo (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				CV %
		13	42	17	79	
Cortes		-----Produção de MS (g.vaso <sup>-1</sup> )-----				
0	1º	1,27(63)	2,12(59)	1,37(56)	1,82(55)	11,05
	2º	0,75(37)	1,45(41)	1,07(44)	1,45(45)	
132	1º	2,62(54)	2,00(54)	2,15(53)	1,72(53)	9,58
	2º	2,20(46)	1,70(46)	1,87(47)	1,52(47)	
		-----Kt Latossolo (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
		20	137	31	200	
		-----Produção de MS (g.vaso <sup>-1</sup> )-----				
0	1º	1,47(62)	2,85(52)	2,07(63)	2,42(51)	6,60
	2º	0,90(38)	2,67(48)	1,22(37)	2,35(49)	
132	1º	3,15(53)	2,85(54)	3,12(54)	2,52(53)	8,07
	2º	2,75(47)	2,42(46)	2,70(46)	2,27(47)	

Valores entre parênteses representam produção de matéria seca relativa (%) em cada corte

Embora, a acumulação de potássio tenha sido relativamente maior antes do 1º corte (Tabela 9 - II), a produção de matéria seca, não acompanhou a absorção de potássio pelas plantas nas mesmas proporções (Tabelas 8 – II e 9 - II), logo no 2º corte, apesar de uma diminuição considerável no conteúdo de potássio na parte aérea das plantas, a produção de matéria seca não sofreu uma redução tão acentuada, assim pode-se inferir que, as plantas de aveia quando em condição de alta disponibilidade (1º corte), absorvem potássio acima de sua necessidade para determinada produção, o que caracteriza, “consumo de luxo” desse nutriente (Oliveira et al., 1971; Marschner, 1998; Gommers et al., 2005; Meurer, 2006; Kaminski 2007). Isso pode ser evidenciado principalmente no tratamento onde houve adição de 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para ambos os solos (Tabelas 8 - II e 9 - II).

**Tabela 8 – II** - Acumulação de potássio na parte aérea de aveia no 1º e 2º cortes em um Argissolo e num Latossolo, com diferentes teores de Kt (Mehlich-1), submetidos á aplicação de 0 e 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

		-----Kt Argissolo (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
		13	42	17	79	
Adição K <sub>2</sub> O (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cortes	----Acumulação de K no TF (mg.vaso <sup>-1</sup> )----				CV %
0	1º	6,3(70)	43,3(71)	7,2(54)	56,4(68)	15,57
	2º	2,8(30)	16,8(29)	6,1(46)	26,2(32)	
132	1º	75,3(73)	83,1(70)	68,7(67)	70,1(67)	11,66
	2º	27,3(27)	35,8(30)	33,2(33)	34,4(33)	
		-----Kt Latossolo (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
		20	137	31	200	
		----Acumulação de K no TF (mg.vaso <sup>-1</sup> )----				
0	1º	6,8 (61)	84,6(72)	10(60)	88,8(71)	9,15
	2º	4,3 (39)	31,0(28)	6,8(40)	38,7(29)	
132	1º	64,9(64)	128,6(71)	79,6(73)	117,8(71)	14,55
	2º	37,2(36)	48,6 (29)	29,2(27)	51,2(29)	

Valores entre parênteses representam acumulação de K na matéria seca relativa (%) em cada corte

O efeito significativo da adição de 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O sobre a produção total de matéria seca da parte aérea (Tabela 10 - II), foi observado quando o Kt correspondia aos teores 13 e 17 mg.kg<sup>-1</sup> (A0 e B0) e 20 e 31 mg.kg<sup>-1</sup> (C0 e D0), cujas amostras apresentavam histórico de vários cultivos sucessivos sem adição de potássio (Tabela 6 - II). Isso indica que mesmo em solos exauridos, com teores relativamente baixos de Kt, a recuperação do potássio adicionado, superou o poder de fixação do solo, a ponto de possibilitar um aumento significativo na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de aveia. Faria et al., (2012) observaram reversibilidade entre as formas de potássio nos solos, porém insuficiente à demanda de potássio pelas plantas. As amostras A90, B90, C90 e D90, cujos teores de Kt eram respectivamente 42, 79, 137 e 200 mg.kg<sup>-1</sup>, e correspondiam a tratamentos com adição de potássio em experimentos antecedentes (Tabela 6 - II), não apresentaram diferenças significativas para a adição de K<sub>2</sub>O (Tabela 10 - II).

A produção de matéria seca acompanhou os teores de Kt no solo nos tratamentos sem adição de K<sub>2</sub>O, e evoluiu de forma quadrática (Figura 5 - II), o que



evidencia a presença de um determinado teor de potássio disponível, acima do qual, a adição de  $K_2O$  com vistas a elevar as quantidades de Kt, não resulta em ganho satisfatório de produção. Sartain, (2002) observou que o teor de  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Kt foi suficiente para garantir um ótimo crescimento de grama bermuda (*Cynodon dactylon*).

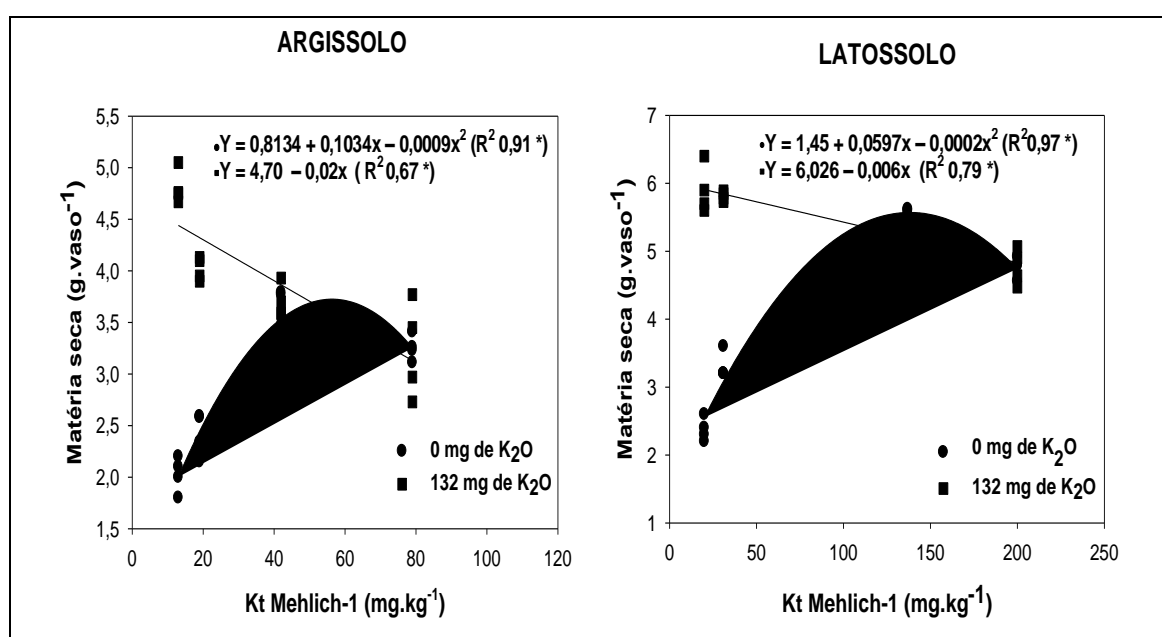
**Tabela 9 – II -** Produção total de matéria seca, e acumulação total de potássio na parte aérea de plantas de aveia após dois cortes.

		-----Kt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
		13	42	17	79	
Adição K <sub>2</sub> O (mg.kg <sup>-1</sup> )		-----MS (g.vaso <sup>-1</sup> )-----				CV %
Argissolo	0	2,0 b	3,6a	2,4b	3,2a	7,18
	132	4,8 a	3,7a	4,0a	3,2a	
		-----K na MS (mg.vaso <sup>-1</sup> )-----				
Argissolo	0	9,0 b	60 b	13 b	82 b	9,01
	132	102 a	119 a	102 a	104 a	
		-----Kt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
		20	137	31	200	
Adição K <sub>2</sub> O (mg.kg <sup>-1</sup> )		-----MS (g.vaso <sup>-1</sup> )-----				CV %
Latossolo	0	2,4 b	5,5 a	3,3 b	4,8 a	5,94
	132	5,9 a	5,3 a	5,8 a	4,8 a	
		-----K na MS (mg.vaso <sup>-1</sup> )-----				
Latossolo	0	11 b	116 b	17 b	128 b	9,83
	132	102 a	177 a	109 a	169 a	

Médias nas colunas seguidas da mesma letra, não diferem entre si por Tukey 5%.

A adição de  $132 \text{ mg.kg}^{-1}$  propiciou decréscimo na produção de matéria seca, à medida que os teores de Kt no solo aumentaram (Tabela 10 - II). Isso possivelmente ocorreu em função de um desbalanço iônico causado pelo excesso de  $K^+$  na solução, em detrimento a outros cátions como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Mortvedt e Khasawneh, 1986; Marschner, 1998; Andreotti et al., 2000). Segundo Castro & Meneghelli (1989), o índice 0,20 para a relação  $K/(Ca+Mg)^{0,5}$  é o limite a partir do qual as adubações potássicas vão apresentando respostas progressivamente

menores. As concentrações de potássio no tecido atingiram  $32 \text{ g.kg}^{-1}$  no Argissolo, e  $35 \text{ g.kg}^{-1}$  no Latossolo, superiores aos teores de 21 e  $17 \text{ g.kg}^{-1}$ , relativos às maiores produções de matéria seca observadas neste experimento (Tabela 10 - II). Sherer, (1998) observou em condição de alta relação K/Mg, efeito depressivo do potássio em folhas de soja, em relação ao magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). A produção máxima de matéria seca em função do teor de Kt no solo foi de  $3,8 \text{ g.vaso}^{-1}$  para o Argissolo, e de  $5,3 \text{ g.vaso}^{-1}$  no Latossolo, para teores de Kt no solo de 57 e  $149 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o Argissolo e Latossolo respectivamente (Figura 5 - II).

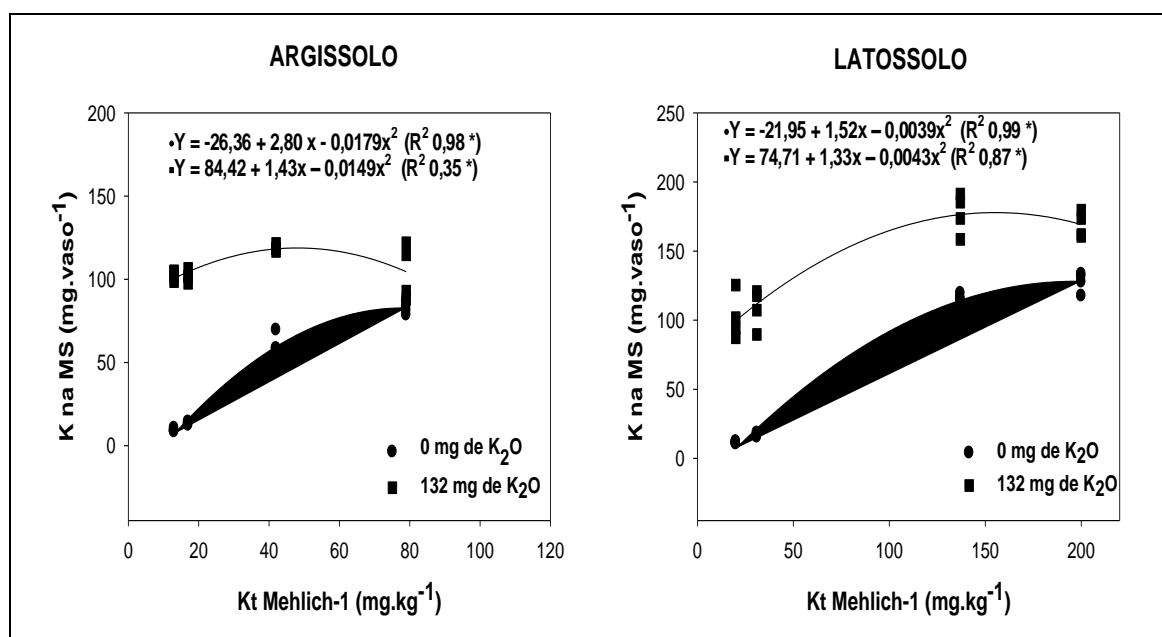


**Figura 5 – II** - Gráficos da produção de matéria seca da parte aérea de aveia, em função dos teores de Kt (Mehlich-1) no Argissolo, e no Latossolo.

A acumulação de potássio na parte aérea das plantas diferiu significativamente entre os tratamentos 0 e  $132 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para todos os teores de Kt, em ambos os solos, (Tabela 10 - II), e apresentou uma progressão quadrática em função dos teores de Kt no solo. As quantidades máximas absorvidas nos tratamentos 0 e  $132 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  foram respectivamente  $83$  e  $119 \text{ mg.vaso}^{-1}$  no Argissolo, e  $126$  e  $177 \text{ mg.vaso}^{-1}$  no Latossolo (Figura 6 - II).

O potássio acumulado na parte aérea das plantas correlacionou-se significativamente ( $p < 0,05$ ) com os teores de potássio disponíveis no solo, porém os coeficientes de determinação foram inferiores no tratamento onde houve a adição de

132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo que o Argissolo apresentou um R<sup>2</sup> de 35%, menor em relação ao Latossolo que foi de 87% (Figura 6 - II). Isso possivelmente explica-se pela maior capacidade de troca de cátions (CTC<sub>7,0</sub>) do Latossolo (Tabela 7 - II), que interfere sobre a taxa de disponibilização de potássio para as plantas (Zubillaga e Conti, 1994; Wiethölter, 2007).



**Figura 6 – II** - Gráficos da acumulação de potássio no tecido folhar de aveia, em função dos teores de Kt (Mehlich-1) no Argissolo e no Latossolo.

Os teores de Kt após o cultivo de aveia, apresentaram depleções de 65% nas amostras A90 e B90, e 80% em C90 e D90 no tratamento 0 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabelas 6 – II e 11 - II). O tratamento 132 mg.kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O não propiciou incremento significativo do Kt, e as amostras A90, B90, C90 e D90, mesmo contendo teores elevados de potássio disponível, sofreram depleções sendo maiores no Latossolo (Tabelas 6 - II e 11 - II), já para as amostras A0, B0, C0 e D0 os teores de Kt após o cultivo mantiveram-se próximos dos teores originais do solo, mesmo com adição de K<sub>2</sub>O, indicando que não há forte mecanismo no solo para sua fixação de forma irreversível.

Pela diferença entre os teores de Kt (Mehlich-1), e Knt (HNO<sub>3</sub> 1 mol.l<sup>-1</sup> fervente) antes e após o cultivo (Tabelas 6 - II e 11 - II), e o potássio acumulado na parte aérea das plantas (Tabela 10 - II), observou-se que, no tratamento 0 mg.kg<sup>-1</sup>

de  $K_2O$ , a quantidade de potássio absorvida pelas plantas no Argissolo, foi em torno de 32% maior que o decréscimo dos teores de potássio determináveis por esses métodos, apontando uma provável contribuição de formas de potássio não acessadas por esses extratores, corroborando com dados de Kaminski et al.,(2007) que observaram em um Argissolo, que a solução extratora de Tetrafenilborato de sódio (Na – TFBO) extraiu aproximadamente 20% a mais que o  $HNO_3$  1mol.l<sup>-1</sup> fervente.

**Tabela 10 – II** - Teores de Kt (Mehlich – 1) e Knt ( $HNO_3$  1mol.l<sup>-1</sup> fervente) no Argissolo e no Latossolo após o cultivo de Aveia.

<b>ARGISSOLO</b>					
<b>K<sub>2</sub>O Adicionado (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>A0</b>	<b>A90</b>	<b>B0</b>	<b>B90</b>	<b>CV %</b>
	-----Kt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
<b>0</b>	11 a	14 b	13 a	31 b	15,92
<b>132</b>	15 a	33 a	17 a	76 a	
	-----Knt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
<b>0</b>	26 b	37 b	43 b	74 b	6,24
<b>132</b>	34 a	55 a	55 a	79 a	
<b>LATOSSOLO</b>					
	<b>C0</b>	<b>C90</b>	<b>D0</b>	<b>D90</b>	
	-----Kt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
<b>0</b>	14 a	28 a	19 a	38 b	22,33
<b>132</b>	26 a	37 a	27 a	92 a	
	-----Knt (mg.kg <sup>-1</sup> )-----				
<b>0</b>	23 a	33 a	27 a	36 b	14,27
<b>132</b>	29 a	40 a	22 a	54 a	

Médias nas colunas seguidas da mesma letra, não diferem entre si por Tukey 5%.

No Latossolo para o tratamento 0 mg.kg<sup>-1</sup> de  $K_2O$ , a depleção do Kt Mehlich-1 e do Knt ( $HNO_3$  1mol.l<sup>-1</sup> fervente) do solo após o cultivo (Tabelas 6 - II e 11 - II), em relação à quantidade de potássio determinada na parte aérea (Tabela 10 - II), foi aproximada em C90 e D0, e superior em C0 e D90, indicando que, apesar desse solo apresentar CTC<sub>7,0</sub>, elevada comparativamente ao Argissolo (Tabela 7 - II), a

acessibilidade dos extratores aos  $K^+$  adsorvidos é maior, possivelmente em função da predominância mineralógica do Latossolo (Moterle, 2008).

A adição de  $132 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $K_2O$  propiciou um incremento significativo na absorção de potássio pelas plantas (Tabela 10 - II), sendo que no Argissolo, observou-se um pequeno aumento nos teores de Knt (Tabelas 6 - II e 11 - II), porém, a quantidade de potássio na parte aérea das plantas foi maior que 75%, em relação ao potássio adicionado, mesmo quando os teores de Kt no solo eram muito baixos (Tabela 10 - II). O potássio acumulado na parte aérea da aveia, nos tratamentos C90 e D90, cujos teores iniciais de Kt eram de 137 e 200  $\text{mg.kg}^{-1}$  (Tabela 6 - II), superou a quantidade de potássio adicionada (Tabela 10 - II), evidenciando a eficiência, dessa espécie em absorver potássio em condições de altas ofertas (Nachtigall & Vahl, 1991; Melo 1998; Kaminski et al., 2007).

Apesar da adição de  $132 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $K_2O$  observou-se depleção do Knt no Latossolo (Tabelas 7 - II e 11 - II), podendo isso, ser atribuído, à baixa capacidade de adsorção de potássio, junto às entrecamadas de argilominerais 2:1 (Melo, 1998; Moterle, 2008), assim a variação de teores de Knt é mais dependente da concentração de  $K^+$  na solução, e reações de trocas catiônicas, do que, da presença de sítios de adsorção específica nesses solos. Faria et al., (2012) observaram em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, que a adoção de sistemas de cultivo com adubação deficiente em potássio poderá levar ao empobrecimento ainda maior do solo se comparado a ausência de adubação com o nutriente.

#### **4.4 Conclusão**

O potássio adicionado aos solos é recuperado pela aveia, mantendo os teores originais, mesmo quando as quantidades iniciais de Kt e Knt são baixas e insuficientes, indicando que não há forte mecanismo no solo para sua fixação de forma irreversível.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A validação científica, sobre tudo a garantia de viabilidade e aplicabilidade de estudos e práticas que visem a otimização dos recursos aplicados na agricultura, são de suma importância, uma vez que as tendências apontam para sistemas produtivos cada vez mais racionais sob o ponto de vista da relação custo/benefício na utilização de insumos, e conservacionistas sob o ponto de vista ambiental.

Em virtude da grande variabilidade existente na dinâmica dos nutrientes no sistema solo – planta, e dos inúmeros fatores interferentes, o conhecimento e o detalhamento dos processos que circundam esses mecanismos, devem possibilitar o aprimoramento técnico, para recomendações de doses de fertilizantes cada vez mais adequadas para cada condição encontrada.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. B.; BULL, L. T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação de bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2437 - 2446, 2000.
- BADRAOUI, M., BLOOM, P. R.; DELMAKI, A. Mobilization of non-exchangeable K by ryegrass in five Moroccan soils with and without mica. **Reprinted from Plant and Soil**, v.140, p. 55 - 63, 1992, by permission of Kluwer Academic Publishers.
- BADRAOUI, M. Mineralogy and Potassium Availability in Soils from the Chaouia and Gharb Regions of Northwestern Morocco. **Ph. D. thesis**, Univ. of Minnesota, St. Paul, MN, 1988.
- BARBER, S. A. Mechanisms of potassium absorption by plants. In: YAMADA et al. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, p. 213 - 247, 1982.
- BARBER, S. A. Influence of plant root in the movement of ions in the soil. In: CARSON, E.W. Ed. **The root of the plant and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, p. 525 - 564, 1974.
- BARSHAD, I. Cation exchange in soils: I. Ammonium fixation and its relation to potassium fixation and to determination of ammonium exchange capacity. **Soil Science**, v. 72, p. 361 - 371, 1951.
- BARRE, P.; VELDE, B.; FONTAINE, C.; CVATEL, N.; ABBADIE, I. Minerals 2: 1 are involved in soil potassium reservoir? Add Insights or potassium removal experiments in three temperate grasslands assemblages of clay. **Geoderma**, v. 146, p. 216 - 223, 2008.
- BATAGLIA, O. C. & DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. Em: **Simpósio avançado de química e fertilidade do solo**, Piracicaba, 1986. Anais. Campinas, Fundação Cargill, p. 115 - 136, 1986.
- BATAGLIA, O. C. & MASCARENHAS, H. A. A., Absorção de nutrientes pela soja. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 36p. 1977. (**Boletim Técnico, 41**)
- 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.; RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 507 - 515, 2009.
- 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, p. 1291 - 1300, 2007.
- BORTOLUZZI, E. C.; REINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.; 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 p. 327 - 335, 2005.

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.

CASTILHOS, R. M. V. & MEURER, E. J. Cinética de liberação de potássio em Planossolo do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 31, p. 1 - 10, 2001.

CASTRO, A. F. & MENEGHELLI, N. A. As relações  $K^+ / (Ca^{2++}Mg^{2+})^{1/2}$  e  $K^+ / (Ca^{2++}Mg^{2+})$  no solo e as respostas a adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 6, p. 751 - 760, 1989.

CATE, R. B & NELSON. Discontinuous for fast models LA, interpretation and use of correlation analyses of soil and fertilizer response data. International review of soil fertility and improvement program [SI], Carolina do Norte, 1973. 77p. (**Boletim Técnico, 7**)

CCGL TEC FUNDACEP. **Cultivares de Trigo 2011**, 22p., dezembro 2010.

CCGL TEC FUNDACEP. **Cultivares de Soja 2011**, 24p., dezembro, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **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, 400p., 2004.

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.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. Em: YAMADA, T. & ROBERTS, T. L. (Ed). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, p.71 - 91, 2005.

DUNCAN, R. R. & BALIGAR, V. C. Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: BALIGAR, V.C & DUNCAN, R.R. (Eds.). **Crops as Enhancers of Nutrient Use**. San Diego, **Academic Press**, p. 3– 35, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 306p., 2006.

EPSTEIN, E.; RAINS, D. W.; AND ELZAM, O. E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 49, p. 684 – 692, 1963.

FARIA, A. F.; ALVAREZ, V. V. H., MATTIELLO, E. M.; LIMA, N. J. C., FELIX, B. N.; NOGUEIRA, P. H. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais - Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, p. 26 - 37, 2012.

FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 432 p., 2006.



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.

FU, H. and LUAN, S. At KUP1: Double affinity K<sup>+</sup> transporter of Arabidopsis. **The plant Cell**, v. 10, n. 1, p. 63 - 73, 1998.

GERLOFF, G. C., GABELMAN, W. H., Genetic basis of inorganic plant nutrition. In LAUCHLI, A., BIELESKI R.L., Eds, **Encyclopedia of Plant Physiology Springer - Verlag**, New York. Nova Série, v.15B, p. 453 – 476, 1983.

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.

JEFFREY, L. H.; CRAIG, R. C.; DANIELS, W. L. A comparison of mineralogical techniques and potassium adsorption isotherm analysis for relative dating and correlation of late Quaternary soil cronosseqüências, **Geoderma**, v. 179 – 180, p. 81 - 95, 2012.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Disponibilidade de potássio em Argissolo com histórico de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.783 – 791, 2010.

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. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 69 f., 2005, **(Tese de Mestrado)**.

KITTRICK, J. A. The free energy of formation of gibbsite and Al (OH)<sub>4</sub> from solubility measurements: **Soil Science Society of America Journal**. v. 30, p. 595 - 598, 1966.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: VerlagJustus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1928.

KOSOUROV, S. N., KUZNETSOVA, L. G., KULAEVA, O. N. Potassium uptake by wheat roots at low potassium concentrations in ambient solution. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 46 n.2 p.168 - 173, 1999.

LOPES, A. S. Reservas de minerais de potássio e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. Em: YAMADA, T. & ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 21 – 32, 2005.

MAATHUIS F. J. M. and SANDERS D. Mechanisms of potassium absorption by higher plant roots. **Physiologia Plantarum**, v. 96, p.158 - 68, 1996.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **London, Academic Press**, 889p, 1998.

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

MARTINS, R.; MELO, V. F.; SERRAT, B. M. Métodos de determinação da disponibilidade de potássio para a cultura do trigo em solos dos Campos Gerais, Estado do Paraná. **Revista Ceres** v. 51 p. 787 – 801, 2004.

MASCARENHAS, H. A. A.; NEPTUNE, A. M. L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E. A.; HIROCE, R., Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glicine max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4 p.92 - 96 1983.

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

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

MENGEL, K. and BUSCH, R. The importance of potassium buffer power on the critical potassium level in soils. **Soil Science**, 133: 27 - 32, 1982.

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

MEURER, E. J.; KAMPF, N.; ANGHINONI, I. Fontes de potássio em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p.41 – 47, 1996.

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.

MIELNICZUK, J. & SELBACH, P. 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.

MITSIOS, I. K. and ROWELL, D. L. Plant uptake of exchangeable and nonexchangeable potassium. **Potash Review, Subject 4**, Suite 6th, n. 6, p.1 - 7, 1989.

MORTLAND, M. M. The dynamics character of potassium release and fixation. **Soil Science, Maryland**, v. 91, n. 1, p.11 - 13, 1961.

MORTVEDT, J. J and KHASAWNEH, F. E. Effects of cationic relations growth responses in plants, **Soil Science**, v. 141, p. 200-207, 1986.

MOTERLE, D. F. Disponibilidade de potássio afetada por cultivos em solos com longo histórico de adubação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 108p., 2008. **(Tese de Mestrado)**

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, R. H.; ROSOLÉM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 439 – 445, 2004.

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.

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.

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

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

RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28, n. 8, p. 985 – 112, 1969.

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, 32p., 2001. (**Boletim Técnico, 1**)

ROSHANI, G. A ., and NARAYANASAMY, G. Determination of kinetic parameters for potassium uptake by wheat at different growth stages. **International Journal of Plant Production**, v. 4 n. 1 p. 33 - 40, 2010.

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.

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 p.121 - 125, 1988.

RUBIO, B. and SOTRES, F. Distribution of four major forms of potassium in soils of Galicia (N.W. Spain), **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p.1805 - 1816, 1997.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 1015 - 1018, 1999.

SACRAMENTO, L. V. S.; ROSOLEM, C. A. Eficiência de absorção e utilização de potássio por plantas de soja em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 355 - 65, 1998.

SADUSKY, M. L.; SPARKS, D. L.; NOLL, R. H.; HEDRICK, G. J. Kinetics and mechanisms of potassium release from Atlantic soils average sand. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 1460 - 1465, 1987.

SARTAIN, J. B. **Fertility considerations for sod production**. University of Florida, EDIS, 1998.

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, 1998.

SHARPLEY, A. N., Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. **Soil Science**, v. 49, p. 44–51 1990.

SIMONSSON, M.; ANDERSSON, S.; ANDRIST R,Y.; HILLIER, S.; MATTSON, L.; OBORN, I. Potassium fixation and Release, as a function of the rate of application of fertilizer and soil parent material. **Geoderma**, v. 140 p. 188 - 198, 2007.

SILVA, D. N.; MEURER, E.; KAMPF, N.; BORKET, 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**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 433 - 439, 1995.

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.

SONG, S. K. and 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.

SPARKS, D. L. Potassium dynamics in soil. New York, **Springer-Verlag**, v.6, 63p, 1987.

SPARKS, D. L. Potassium release in sandy soils. In: SPARKS, D.L., (ED). Nutrient balances and the need for potassium. **JPI Congress**, 13. Reims, p. 93 - 105, 1986.

SPARKS, D. L and HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (ED.) Potassium in agriculture. Madison: **Sociedade Americana de Agronomia**, p. 201 - 276, 1985.

SPOSITO, G. Balance and chemical kinetics in soils. New York: **Oxford University Press**, 288 p, 1994.

SYERS, J. K. Soil e plant potassium in agriculture. **The Fertilizer Society**. Proceedings, n. 411, 1998. York, U.K. 1997.

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, 174p, 1995. (**Boletim Técnico, nº 5**)

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, v. 51 p. 844 - 851, 1979.

U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries: **U.S. Geological Survey**, 198 p., 2012.

VARGAS, R. M. B. Mecanismos de suprimento de K, Ca, Mg e P às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 93p., 1982. (**Tese Doutorado**)

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

WOODRUFF, C. M. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 19, p.167 - 171, 1955.

VELDE, B. & PECK, T. Clay minerals changes in the Morrow experimental plots, University of Illinois. **Clay and Clay Minererals**, 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 Sul riograndense**, v. 5, p. 63 - 72, 1971.

WIETHOLTER, S. Bases teóricas e experimentais de fatores relacionados com a disponibilidade de potássio do solo às plantas usando o trigo como referência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31 p.1011 – 1021, 2007.

ZHANG, H.; MING G. X.; WENJU Z.; XIN, H. E. Factors affecting potassium fixation in seven soils with less than 15 years of long-term fertilization. **Boletim de Ciências Chinesa**, v. 54, n. 10, p.1773 - 1780, 2009

ZUBILLAGA, M. Y. and CONTI, M. Importance of the textural fraction and its mineralogic characteristics in the potassium contents of different Argentine soils. **Commun. Soil Science Plant Anal**, v. 25 (5&6), p.479 – 487, 1994.