

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE  
PRECISÃO**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREAS EM  
IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE  
DO SUL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Rodrigo Franco Dias**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2013**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREAS EM  
IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE  
DO SUL**

Rodrigo Franco Dias

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em  
Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau  
de

**Mestre em Agricultura de Precisão**

**Orientador: Jackson Ernani Fiorin**

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Dias, Rodrigo Franco

Diagnóstico da fertilidade do solo de áreas em  
implantação de agricultura de precisão no Rio Grande do  
Sul. / Rodrigo Franco Dias.-2013.

64 p.; 30cm

Orientador: Jackson Ernani Fiorin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2013

1. Agricultura de Precisão 2. Fertilidade do Solo 3.  
Diagnóstico I. Fiorin, Jackson Ernani II. Título.

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

---

©2013

Todos os direitos autorais reservados a Rodrigo Franco Dias de partes ou do todo deste trabalho só  
poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Rua Aparicio Borges, 945, Cachoeira do Sul, RS 96.503-551

End. Eletrônico: rodrigo@agrocampcar.com.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM AGRICULTURA DE  
PRECISÃO

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

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREAS EM  
IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE  
DO SUL**

Elaborada por  
Rodrigo Franco Dias

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Jackson Ernani Fiorin, Prof. Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Telmo Jorge Carneiro Amado, Prof. Dr.** (UFSM)

**Rosane Martinazzo, Dra.** (Embrapa Clima Temperado)

Santa Maria, 02 de setembro, 2013

## DEDICATÓRIA

Em memória de minha mãe, Economista Glaci Nídia Franco Dias por não ter a oportunidade de estar presente, mas que certamente acompanha de onde está e nos motiva a sempre seguir em frente.

Ao meu pai, Contador Paulo Sérgio Ferreira Dias, pelo exemplo de que mesmo nas dificuldades devemos manter a alegria e a disposição de ir adiante.

A minha irmã Professora Ana Paula Franco Dias, por poder contar sempre um com o outro em qualquer momento.

A minha futura esposa, Médica Veterinária M.Sc. Lenise Nascimento Flôres pela paciência, companheirismo e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin, pela disposição de orientar e discutir o trabalho sobre qualquer aspecto a qualquer hora mesmo a distância.

Ao Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado, pelos conselhos e discussões sobre o trabalho e pela ética nas relações com um tema bastante complexo.

Ao Prof. Dr. Elódio Sebem pela dedicação na coordenação do Curso de Mestrado Profissional.

Ao prof. Dr. Ênio Giotto, pela paciência na orientação para correta utilização dos softwares.

Aos colegas da 1ª turma do mestrado profissional que contribuíram muito nas discussões e no crescimento profissional.

Aos meus colegas de trabalho e clientes na Campepar Agricultura que com paciência administraram a minha ausência em busca do conhecimento.

Ao Colégio Politécnico da UFSM por disponibilizar a estrutura necessária para a execução e conclusão do curso

Aos demais professores que foram fundamentais na construção do conhecimento e formação profissional.

A Universidade Federal de Santa Maria por proporcionar o curso do mestrado profissional nos moldes a que foram desenvolvidos.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão  
Universidade Federal de Santa Maria

### DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREAS EM IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Rodrigo Franco Dias  
Orientador: Prof Dr. Jackson Ernani Fiorin  
Santa Maria, 02 de setembro de 2013

A agricultura de precisão vem se consolidando como uma técnica para melhoria dos níveis de fertilidade do solo. Inicialmente o presente trabalho procurou abordar a situação atual dos níveis de fertilidade através da análise de 105.342 amostras de solo provenientes de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul cedidos pelo CCGL Tecnologia na camada de 0 a 10 cm. Cerca de 42% das amostras apresentaram necessidade de correção da acidez do solo. O fósforo foi o elemento que necessita maior atenção na correção de solo por apresentar 61,8% das amostras em níveis abaixo do teor crítico. O potássio apresentou 72,1% das amostras acima do teor crítico sugerindo baixa resposta a aplicação nos modelos atuais. A correção com enxofre apresenta potencial de resposta a produtividade da cultura da soja. Em um segundo momento, utilizou-se os dados a fim de estudar o equilíbrio dos nutrientes no solo. Foi utilizado a  $CTC_{pH7,0}$  do solo como parâmetro dividido em classes, considerando a distribuição normal com um desvio padrão para cada classe, a fim de estudar o comportamento da saturação de bases e do potássio na saturação. Os resultados demonstraram que a saturação por bases, para atingir o pH desejado, variou conforme a  $CTC_{pH7,0}$  do solo. Solos com baixa  $CTC_{pH7,0}$  apresentam tendência de menores percentuais de saturação por bases que um solo com  $CTC_{pH7,0}$  alta. Também se verificou que a  $CTC_{pH7,0}$  do solo influencia a disponibilidade do potássio no equilíbrio de saturação. Solos com  $CTC_{pH7,0}$  acima de  $18 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  necessitam quantidades de potássio superiores a 240 ppm para atingir o teor crítico de 3% da  $CTC_{pH7,0}$ . O próximo passo foi correlacionar os teores dos elementos no solo e sua relação com os teores apresentados pelas análises foliares. Para isso foram realizados amostragens de solo em grid de 2 ha em uma área de produção de soja no município de Cachoeira do Sul, RS. Nesta área foi implantada a cultura da soja e coletadas amostras de folhas e plantas quando estas se encontravam no estágio de florescimento nos mesmos pontos onde foram retirada as amostras de solo. Também realizou-se a determinação com o equipamento Greenseeker a fim de correlacionar os resultados com as amostras de folha e solo. Os resultados das amostras de tecido de plantas inteiras de soja se correlacionam com os teores de potássio no solo e seu percentual na  $CTC_{pH7,0}$ . Apesar disso a utilização da análise foliar do 3º trifólio a partir do florescimento como parâmetro para recomendação ainda precisa ser melhor estudado, pois os resultados não deixam claras as relações entre os elementos nas folhas e estes no solo.

Palavras Chave: Agricultura de Precisão, Equilíbrio de Saturação, Troca de Cátions.

## ABSTRACT

Master Course Dissertation  
Professional Master Program in Precision Agriculture  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DIAGNOSTIC OF FERTILITY OF SOIL IN AREAS OF INSTALLATION OF PRECISION AGRICULTURE PROGRAM IN RIO GRANDE DO SUL STATE**

Author: Rodrigo Franco Dias  
Adviser: Jackson Ernani Fiorin  
Santa Maria, September 9<sup>th</sup>, 2013

This study sought to describe the current state fertility levels by analyzing 105,342 soil samples from different regions of the state of Rio Grande do Sul assigned by CGL Technology. Thus, about 42% of the samples need to correct soil acidity. Phosphorus was the element that needs more attention in the soil correction. Potassium is present in most samples above the critical level suggesting a poor response to application in current models. Correction sulfur has potential response to crop yields in soya. In a second step, we used the data to study the balance of nutrients in the soil. The data were normalized and  $CTC_{pH7,0}$  was the parameter of soil divided into classes considering the normal distribution with a standard deviation for each class. The results showed that the base saturation to achieve the desired pH varied according to  $CTC_{pH7,0}$  soil. Soils with low  $CTC_{pH7,0}$  present trend lower percentage base saturation than a soil with  $CTC_{pH7,0}$  high. It was also found that the  $CTC_{pH7,0}$  soil influences the availability of the potassium equilibrium saturation. Soils with higher  $CTC_{pH7,0}$  require larger amounts of potassium to reach the critical level of 3%  $CTC_{pH7,0}$ . The next step was to correlate the levels of elements in the soil and its relation to the levels shown by leaf analysis. For that were conducted soil sampling in grid 2 ha in an area in the municipality of Cachoeira do Sul, RS. This area was located soybean and collected samples of leaves and plants when they were in the flowering stage in the same spots where they were taken soil samples. Reading was also performed with the equipment GreenSeeker order to correlate them with samples of soil and leaves. The  $CTC_{pH7,0}$  soil, directly influences the availability of potassium in equilibrium saturation. Soils with higher cation exchange capacity tend to require larger amounts of potassium to reach the critical level of 3% of  $CTC_{pH7,0}$ . The results of tissue samples of whole plants soybean correlate with the levels of potassium in the soil and its percentage in  $CTC_{pH7,0}$ . Nevertheless the use of the analysis of the 3rd trifoliate leaf from flowering as a parameter for recommendation requires further study, as the results do not make clear the relationships between these elements in the leaves and in the soil.

Keywords: Precision Agriculture, Saturation Bases, Cation Exchange



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proposta de faixas de interpretação dos teores de fósforo no solo conforme o teor de argila e de potássio no solo conforme a capacidade de troca de cátions (CTC), extraídos pela solução de Mehlich-I .....	24
Tabela 2. Análise da variância para os dados normalizados referente ao teor de argila, pH, fósforo, potássio, matéria orgânica, CTC, saturação por bases e enxofre baseados em 105.342 análises de solo .....	25
Tabela 3. Níveis de alguns atributos de solo para interpretação de análises de solo em soja sugerido por Sfredo (2008) .....	40
Tabela 4. Coeficientes de correlação observados entre os teores de nutrientes nos tecidos foliares e plantas inteiras, comparados com os teores no solo e as leituras do Greenseeker realizadas no florescimento da cultura da soja.....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição percentual dos teores de argila no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	26
Figura 2. Distribuição percentual dos teores de matéria orgânica no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	27
Figura 3. Distribuição percentual dos valores de pH água nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	28
Figura 4. Distribuição percentual dos valores de Saturação por Bases das áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	30
Figura 5. Distribuição percentual dos teores de Fósforo no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	31
Figura 6. Distribuição percentual dos Teores de Potássio no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	32
Figura 7. Distribuição percentual dos valores de CTC <sub>(pH 7,0)</sub> no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.....	33
Figura 8. Distribuição percentual dos teores de Enxofre nas áreas com implantação de agricultura de precisão no RS.....	34
Figura 9. Curvas de regressão para Saturação de Bases. a. CTC < 9,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . b. CTC entre 9,0 e 12,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . c. CTC entre 12,0 e 15,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . d. CTC entre 15,0 e 18,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . e. CTC > 18,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	45
Figura 10. Equações de regressão para o potássio. a. CTC < 9,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . b. CTC entre 9,0 e 12,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . c. CTC entre 12,0 e 15,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . d. CTC entre 15,0 e 18,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> . e. CTC > 18,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	48
Figura 11. Mapa da área com os pontos de coleta com solo e folhas para as determinações.....	52

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo I – Resultados das amostras de solo.....	66
Anexo II – Resultados das análises de folhas (3º trifólio) em plantas de soja .....	67
Anexo III – Resultados das análises de plantas inteiras de soja.....	68

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. SITUAÇÃO ATUAL DA FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO</b>	
2.1 – Revisão de Literatura.....	15
2.2 – Material e Métodos.....	22
2.3 – Resultados e Discussão.....	24
2.4 – Conclusões .....	36
<b>3. RELAÇÕES DE POTÁSSIO E SATURAÇÃO DE BASES NA CTC DO SOLO</b>	
3.1 – Revisão de Literatura.....	37
3.2 – Material e Métodos.....	43
3.3 – Resultados e Discussão.....	44
3.4 – Conclusões .....	49
<b>4. ESTUDO DE CASO: ABSORÇÃO DE NUTRIENTES X EQUILÍBRIO DE SATURAÇÃO</b>	
4.1 – Revisão de Literatura.....	49
4.2 – Material e Métodos.....	51
4.3 – Resultados e Discussão.....	53
4.4 – Conclusões .....	54
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A agricultura vem a cada dia desafiando os profissionais a desenvolver sistemas produtivos com o objetivo de alimentar grandes populações e ao mesmo tempo ser sustentável para as gerações futuras. Muitos países já exploram a totalidade das áreas disponíveis para a agricultura. Nos chamados países em desenvolvimento, e entre eles o Brasil, a agricultura vem crescendo de forma exponencial trazendo divisas e colocando estes no mapa de importância econômica do mundo moderno por um simples fato: a necessidade de produzir alimentos. Nestes locais ainda restam grandes extensões de áreas para a atividade agrícola, mas sabe-se que os recursos naturais para a produção são escassos como os nutrientes do solo tão necessários para as altas produtividades. Em países como Estados Unidos e países da Europa onde já se atingiu praticamente a totalidade das áreas disponíveis para a agricultura, a solução encontrada foi de buscar tecnologia para aumentar a produtividade por hectare plantado.

A primeira geração de inovação aconteceu na década de 70 no Brasil onde se instalou a chamada revolução verde através do uso de insumos modernos como corretivos, fertilizantes e os primeiros defensivos. Conceição (2010) cita que em 1915 um agricultor americano gastava em média 132 horas de trabalho para obter uma produtividade de seis toneladas de alimento por hectare cultivado. Em 1950, o tempo gasto para atingir as mesmas seis toneladas reduziu para 53 horas e em 1985 com apenas 3 horas de trabalho ele obtinha o mesmo resultado mostrando que a adoção de tecnologia melhora a eficiência do trabalho.

Segundo Rabbringe & De Wit (1984 apud CONCEIÇÃO, 2001, p.8), a produção agrícola é norteadada por três tipos de fatores de produção:

- Determinantes da produtividade;
- Limitantes da produtividade;
- Fatores que reduzem a produtividade.

Os fatores determinantes são a escolha da genética da planta, o solo a luz e estabelecem o potencial produtivo da cultura. Diversas vezes o potencial não consegue ser atingido devido aos fatores limitantes como a falta de água, nutrientes como fósforo e potássio, acidez do solo, etc. As pragas, doenças e plantas daninhas

são fatores que reduzem a produção, assim a produtividade efetiva só pode ser alcançada com o equilíbrio de todos. Por esse enfoque se observa o desenvolvimento da biotecnologia agregando genes que respondem cada vez mais pela proteção e produtividade das culturas. Muitos destes tornam as plantas mais eficientes no uso dos recursos naturais com a água e os nutrientes e também na autodefesa contra pragas. Um exemplo são as tecnologias que conhecemos hoje como os genes Bt.

Outra tecnologia recente é a agricultura de precisão (AP) que pode ser vista como um sistema que visa estudar um conjunto de técnicas capazes de medir os fatores limitantes do solo, associando a variabilidade de atributos químicos relacionados à fertilidade como, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH e parâmetros físicos como, densidade, resistência à penetração, compactação, infiltração de água, e a resposta das culturas em cada ponto da lavoura, através de sensoriamento remoto, amostragem em grade ou mapas de colheita. Através do conhecimento e da interpretação destes fatores é possível realizar aplicações a taxas variadas dos elementos limitantes e corrigir o solo buscando melhores produtividades. Para que este sistema funcione corretamente a coleta de dados é extremamente importante e deve ser confiável para que a interpretação dos resultados seja mais próxima da realidade da área onde será realizado o estudo.

A agricultura de precisão vem demonstrando viabilidade na sua utilização (SCHOSSLER et al., 2011) com resposta significativa no incremento de produtividade das culturas. Para o sucesso do sistema a coleta de dados é extremamente importante seguir critérios pré estabelecidos. Atualmente as recomendações de corretivos e fertilizantes seguem o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do RS e SC (COMISSÃO..., 2004). Além disso, é uma moderna ferramenta que permite um elevado controle das intervenções de manejo, tornando-se assim uma importante ferramenta disponível aos agricultores interessados na busca por incrementos de produtividade (AMADO et al, 2007). Estudos para o aprimoramento das recomendações são necessários a fim de elevar o potencial de resposta da adubação nos projetos de agricultura de precisão. A

utilização de taxa variada para aplicação de fertilizantes é uma estratégia eficiente para a elevação dos níveis de fertilidade do solo.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi:

- Realizar um diagnóstico sobre a fertilidade dos solos nas regiões do noroeste, planalto, fronteira e depressão central do Rio Grande do Sul em áreas com implantação de agricultura de precisão;
- Identificar se há relações entre a saturação de bases, potássio, pH e CTC com o objetivo de ajustar as recomendações de potássio e calcário buscando uso otimizado da adubação e correção para áreas de AP.
- Relacionar as quantidades de nutrientes no solo através de um grid de amostragem com os teores absorvidos pelas plantas em sistemas de agricultura de precisão.

## **2. SITUAÇÃO ATUAL DA FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**

### **2.1 Revisão de Literatura**

No Estado do Rio Grande do Sul, desde 1969, foram feitos vários levantamentos de fertilidade dos solos o primeiro, em 1968 com 27.814 análises (PORTO, 1970), o segundo, em 1981, com 41.226 análises (TEDESCO et al., 1984), o terceiro, em 1988, com 58.528 análises (DRESCHER et al., 1995) de 1997 a 1999 com 168.200 análises (RHEINHEIMER et al., 2001) e Martinazzo (2006) com 140 pontos em camadas estratificadas. A avaliação conjunta dos levantamentos gerais mostra, com base nos valores dos indicadores pH, MO, P e K, que houve uma importante melhoria na fertilidade dos solos, nas regiões do Planalto Médio e do Alto Vale do Uruguai e no RS de 1968 para 1999 (NICOLODI et al., 2009). Um aspecto negativo nessas comparações gerais, no entanto, é o fato de terem sido alteradas, nesse período, as faixas de teores dos nutrientes utilizadas para interpretação dos resultados, as técnicas de amostragem, o número de sub amostras por local, a época de coleta e as regiões utilizadas nos diversos levantamentos. Por isso, os resultados destes levantamentos devem ser interpretados com prudência.

A situação da fertilidade do solo do Estado do Rio Grande do Sul é diferente entre as regiões agroecológicas estudadas. Os levantamentos demonstraram que houve uma diminuição da necessidade de calcário e que há necessidade de elaboração de fórmulas mais equilibradas em fósforo e potássio para que possam elevar os níveis de fósforo, uma vez que a necessidade de adubação de fósforo é maior do que a de potássio. Nesse ponto a agricultura de precisão pode auxiliar na correção destas distorções quanto da aplicação de matérias primas específicas como superfosfatos e cloreto de potássio em doses adequadas a necessidade de cada área. Por representar regiões heterogêneas conforme descrito acima não se encontram levantamentos específicos para áreas de agricultura de precisão como comparativo as demais áreas no estado. Neste estudo se observa absolutamente áreas com adoção de AP.

A AP tem sido estudada com mais profundidade nos últimos 12 anos no Brasil. Nesse período várias empresas de prestação de serviços foram criadas para atender a demanda crescente dos produtores por esta tecnologia. Assim os primeiros parâmetros utilizados para a obtenção das recomendações foram os manuais publicados pelas instituições de pesquisa. Algumas empresas buscam inovações e procuram desenvolver seus próprios métodos de recomendação de adubação. Estes trabalhos demandam tempo e experimentação. Um correto levantamento de dados é extremamente importante para se iniciar um projeto de sucesso.

Sch lindwein & Anghinoni (2002) demonstraram que a coleta com pá de corte apresenta menor coeficiente de variação e necessita um menor número de sub amostras comparado com o amostrador de rosca tanto para as coletas realizadas na linha como na entrelinha em mais de nove anos de estudo.

A escolha correta da ferramenta para coleta de solo também pode determinar erros na interpretação dos resultados da análise de solo. Fiorin et al. (2007)<sup>1</sup>, analisando o método de coleta, encontrou variabilidade nos teores de pH quando amostrado por diferentes métodos como pá de corte, quadriciclo com trado de rosca, quadriciclo com trado calador, calador manual e cavadeira. A pá de corte, o

---

<sup>1</sup> FIORIN et al. (2007) – Avaliação de métodos de amostragem de solo em agricultura de precisão (Comunicação Pessoal – Dados não publicados).



quadriciclo com calador e a cavadeira apresentaram resultados semelhantes. Os autores também demonstram que a escolha do método de amostragem pode influenciar nos teores de argila, fósforo, potássio e matéria orgânica subestimando ou superestimando em relação à média.

Alem destes fatores ainda podemos citar a escolha do laboratório e também a variabilidade temporal das coletas. É muito importante que as coletas sejam retiradas sempre na mesma época do ano. Estudos também demonstraram que a coleta de solo em uma mesma área em períodos diferentes do ano apresentaram resultados diferentes devido aos fatores de mineralização e imobilização de nutrientes pelos microorganismos do solo e dos restos culturais. A maioria das empresas de AP utilizam quadriciclo com trado de rosca ou calador na amostragem de solo.

Atualmente as recomendações de fertilidade do solo para áreas de agricultura de precisão utilizam as mesmas recomendações oficiais da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para RS e SC (COMISSÃO..., 2004). As tabelas atuais levam em consideração os teores críticos no solo a partir do qual se atinge 90% do potencial relativo das culturas. Este valor é demonstrado pelo limite superior da classe de teor médio. Dessa forma se define os teores críticos para os nutrientes no solo, considerando que a partir destes níveis o incremento da adubação não se reproduz em eficiência econômica. As doses de fertilizantes contidas nas tabelas estimam a quantidade necessária para o solo atingir o limite inferior na faixa de teor alto (teor crítico) em dois cultivos: adubação corretiva na proporção de 2/3 no 1º cultivo e 1/3 no 2º cultivo, somado a exportação desses nutrientes pelos grãos acrescidos da estimativa de perdas diversas do sistema criando assim o conceito de adubação de correção e adubação de manutenção para as culturas (COMISSÃO..., 2004).

No entanto, o atual sistema de recomendação baseia-se em estudos de calibração feitos entre o final da década de 1960 e meados da década de 1980 no sistema convencional de cultivo, com a utilização do método Mehlich-1 para a determinação de fósforo e potássio do solo e nos conhecimentos acumulados até sua edição. Porém, a partir da década de 1990, ocorreu uma mudança de sistema de cultivo, passando do convencional para o sistema plantio direto, com diferenças importantes entre ambos (SCHLINDWEIN & GIANELO, 2006). Além disso,

amostrando a uma menor profundidade, onde os nutrientes estão mais concentrados, os maiores teores da análise de solo, automaticamente, indicam uma menor recomendação de fertilizantes, e acredita-se estar compensando as melhorias atribuídas ao sistema plantio direto (FIORIN, 2007).

Schindwein (2003) critica os teores críticos, e por consequência as faixas de fertilidade de fósforo e potássio da atual recomendação, por ter sido feita a calibração no sistema convencional de cultivo, além da amostragem de solo ser realizada na camada de maior concentração de fósforo e de potássio e o potencial de produtividade das culturas ser maior, necessitando de mais nutrientes para seu crescimento e exportação.

Devemos considerar que neste período houve alteração no processo de amostragem que no plantio convencional era utilizado a camada de 0 a 20 cm e atualmente é realizada amostragens nas camadas de 0 a 10 cm.

A recomendação de adubação deve levar em consideração não apenas fatores de solo, mas também características climáticas regionais e adaptação de cultivares a estes ambientes. Assim podemos estimar melhor o potencial de retorno do investimento. As recomendações contidas no manual possuem tabelas que se baseiam unicamente nos teores de nutrientes no solo e geram fatores de resposta baseado nestes teores. Dessa forma não levam em consideração o equilíbrio existente nem as relações de absorção entre os nutrientes.

Em agricultura de precisão se estuda a variabilidade espacial demonstrada pelos mapas de fertilidade do solo. As recomendações da mesma forma tendem a possuir variabilidade, por isso métodos alternativos necessitam serem estudados a fim de ajustar a recomendação em cada ponto da área. As interpretações contidas no Manual de Adubação e Calagem são atualmente utilizadas para a geração dos mapas de aplicação a taxa variada visando a racionalização do uso de fertilizantes.

O avanço da genética das plantas permitiu a elevação dos tetos de produtividades das culturas, especialmente a soja que apresenta bons retornos econômicos aos produtores e também avança em sua área de plantio. Apesar disso, a utilização de altas doses de calcário e fertilizante é questionada por diversos autores devido a fatores com resposta a adubação, supercalagem e altos custos.

Segundo Mello et al. (1983), um solo fértil contém em quantidades equilibradas e não limitantes os nutrientes essenciais e na forma assimilável pelas plantas. Um solo produtivo é um solo que se encontra em local com fatores climáticos favoráveis para o bom desenvolvimento das plantas nele cultivados (LOPES & GUILHERME, 2007). Portanto a produtividade agrícola não depende exclusivamente da fertilidade do solo, sendo fundamentais as condições ambientais em que esse solo se insere. Nesse contexto a água é um dos fatores mais importantes para a translocação de nutrientes da solução do solo para a planta.

A acidez do solo é um dos fatores determinantes na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Em solos muito ácidos a disponibilidade da maioria dos nutrientes é reduzida, exceto os micronutrientes como ferro, cobre, manganês e zinco como também é alta a disponibilidade de alumínio. Nestes solos, o fósforo e o molibdênio são fortemente adsorvidos pelos óxidos de ferro e alumínio, que são mais reativos em menor pH (MALAVOLTA, 1988). Kaminski (1989) verificou que solo com valores de pH iguais apresentaram diferentes concentrações de alumínio na solução do solo isto se deve a possíveis variações nos teores de matéria orgânica, no teor e no tipo de argila e na saturação por bases.

A Comissão (2004) utiliza para a tomada de decisão da necessidade de calagem, corrigir a acidez do solo quando pelo menos um dos critérios não foram atendidos:

- a) pH em água for inferior a 5,5;
- b) saturação por bases for inferior a 65%;
- c) a saturação por alumínio for maior que 10% em situações em que o fósforo for “muito alto”.

Em plantio direto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a Comissão (2004) recomenda a aplicação de corretivos estimada pelo Índice SMP. Este método se baseia no poder tampão do solo e considera a acidez total (H+Al) para sua neutralização. Este método se utiliza de tabelas para atingir o pH desejado de acordo com a cultura em 5,5; 6,0; ou 6,5 de acordo com os valores do índice encontrados na análise de solo.

O fósforo é um dos nutrientes mais estudados uma vez que em AP se utiliza de aplicações a lanço para correção e se discute muitos conceitos de mobilidade deste

nutriente no solo. A lixiviação do P no solo ocorre predominantemente em formas orgânicas. Enquanto o P inorgânico tem sua mobilidade controlada pelo tipo e conteúdo de argilominerais e sesquióxidos de ferro e alumínio, o P orgânico apresenta movimentação livre no solo como constituinte de células microbianas e outros colóides orgânicos (HANNAPPEL et al., 1964 apud MARTINAZZO, 2006, p. 22).

O potássio é absorvido pelas plantas na forma do íon  $K^+$ . Atualmente, os teores de potássio no solo são correlacionados com a CTC do solo a pH 7,0 conforme o Manual de Adubação e Calagem (COMISSÃO..., 2004).

Malavolta (2006) identificou que os baixos teores de K nas plantas causam, entre outros danos, funcionamento inadequado de várias enzimas, a diminuição da taxa fotossintética, da translocação de açúcares, da abertura e do fechamento dos estômatos e da regulação osmótica. O decréscimo do transporte dos assimilados da fotossíntese, em soja com deficiência de K, reduz a fixação biológica de nitrogênio, pois faltará carboidrato para a produção respiratória de ATP e faltará esqueleto carbônico para receber o  $NH_3$  resultante da fixação simbiótica. Assim, a consequência negativa destes danos no metabolismo vegetal reduz a produtividade de grãos, além de causar problemas em órgãos reprodutivos, diminuindo a qualidade fisiológica e sanitária das sementes produzidas.

Sintomas visuais de deficiência de K foram frequentes em lavouras de soja, no RS, incluindo a região do Planalto, na safra 2011/12 (ESCOSTEGUY, 2012). Plantas sem sintomas também podem ter limitação da produtividade de grãos, em função da menor absorção do K do solo (ERNANI et al., 2007) também chamado de “fome oculta”.

A exportação de K nos grãos quantificada na forma de  $K_2O$  é muito maior na soja ( $20 \text{ kg t}^{-1}$ ) do que em outras culturas, como o trigo e o milho ( $6 \text{ kg t}^{-1}$ ) (COMISSÃO..., 2004). Nas culturas de trigo e milho, embora a quantidade de K absorvida pelas plantas seja grande, a quantidade removida pelos grãos é relativamente pequena ( $\pm 20\%$ ) sendo o restante retornado via ciclagem (FERREIRA et al., 2011). A melhoria da fertilidade do solo e da evolução do plantio direto aumenta a produção de matéria seca das culturas o que intensifica a ciclagem de K (SANTI et al., 2003; ROSSATO, 2004).

No levantamento da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul, Rheinheimer et al. (2001), destacou que até 60% das amostras apresentavam teores de K acima do nível de suficiência segundo a Comissão...(2004). Na região de solos mais argilosos o percentual foi próximo a 70%, atingindo até 85% se incluirmos valores iguais ou maiores a  $60 \text{ mg kg}^{-1}$ , que são ainda mais altos que os indicados por Borkert et al. (1993) e Scherer (1998). Observa-se que os teores de K nos solos do Rio Grande do Sul, sumarizados por Rheinheimer et al. (2001) pouco se alteraram desde 1981, passando, os teores mais altos, de 63% para 73%, principalmente se for considerado a quase obrigatoriedade do uso de K nas recomendações de adubação (RIBEIRO et al., 1999; COMISSÃO..., 2004).

Nos demais levantamentos citados anteriormente os teores de K disponível no solo não eram baixos como os de P. Em 1967, em quase 50% das lavouras avaliadas, o teor era menor que  $40 \text{ mg dm}^{-3}$ ; em 1984, em apenas 20% delas. Em 2004 somente em 5% dos solos, o teor de K disponível era menor que  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  (NICOLODI et al., 2009).

Outro nutriente importante é o Enxofre (S), essencial para as plantas, situando-se no grupo dos macronutrientes, juntamente com o Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio. Provavelmente é o macronutriente menos empregado nas adubações. No entanto, muitas culturas importantes exigem-no em quantidades maiores ou iguais as de fósforo (MALAVOLTA et al., 1997; MELLO et al., 1984).

No solo, cerca de 90% do enxofre encontra-se na forma orgânica. Embora a maior parte do enxofre do solo esteja na forma orgânica, o ânion  $\text{SO}_4^{-2}$  é a forma mineral de S predominantemente encontrada no solo e também a principal forma do elemento absorvida pelas plantas. A entrada do enxofre na planta também ocorre na forma de compostos orgânicos. O enxofre pode ser assimilado na forma dos aminoácidos, estes se convertem em proteínas; na síntese destas, são formados outros compostos de enxofre (MALAVOLTA & MORAIS, 2007). Na folha o enxofre pode ser absorvido pela forma gasosa do dióxido de enxofre, possivelmente como aminoácidos. O S elementar (MORAL et al., 1999) e o sulfeto, na forma de calda sulfocálcica, também são absorvidos (SÁNCHEZ et al., 2001). Segundo Shung et al. (1995) a aplicação de S elementar diretamente na folha promoveu um maior acúmulo S na semente de nabo do que quando aplicado no solo. Parte do enxofre

absorvido pode estar aprisionada no vacúolo das células (MALAVOLTA & MORAIS, 2007). As principais fontes de enxofre utilizadas para suprir o nutriente às plantas são: o gesso agrícola (15% de S), o sulfato de amônio (24% de S) e o superfosfato simples (12% de S). Nestes fertilizantes, o enxofre encontra-se na forma de S-sulfato, prontamente disponível à planta. Nos fertilizantes NPK, o teor de enxofre varia, geralmente, entre 1% e 10%.

Necessita-se também esclarecer melhor questões relativas à amostragem de solo para fins de análise de enxofre disponível, à eficácia do método de análise oficialmente utilizado e dar sustentação ao teor crítico adotado no RS e SC. A Comissão... (2004) define três faixas de disponibilidade de enxofre: “baixo”, “médio” e “alto”, que correspondem respectivamente a teores de enxofre extraível  $\leq 2 \text{ mg dm}^{-3}$ , entre 2,1 e 5,0  $\text{mg dm}^{-3}$ , e  $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$ . Contudo, segundo a Comissão... (2004) para a cultura de soja (leguminosas), brássicas e liliáceas, teores no solo superiores a 10  $\text{mg dm}^{-3}$  são considerados como suficientes.

Assim o objetivo deste trabalho foi identificar a distribuição dos nutrientes em áreas de implantação de agricultura de precisão no estado do Rio Grande do Sul em diferentes regiões. Não estão disponíveis na literatura levantamentos específicos para este tema o que justifica este trabalho.

## **2.2 Material e Métodos**

O presente trabalho foi realizado a partir de levantamentos de dados utilizando-se de um banco de informações de análises de solo cedidos pela CCGL TECNOLOGIA, com 105.342 análises de solo de áreas de agricultura de precisão na camada de 0 a 10 cm. As amostras são provenientes de 280 municípios gaúchos das regiões do Alto Uruguai, Planalto Médio, Missões, Fronteira Oeste, Depressão Central e Campanha, amostrados entre os anos de 2007 e 2012. A coleta de solo foi realizada por diferentes empresas prestadoras de serviço em agricultura de precisão, sendo a maior parte coletadas com trado de rosca e trado calador. Inicialmente as amostras foram avaliadas e submetidas à análise da variância a fim de encontrar o comportamento dos dados. Para isso utilizou-se o software Microsoft Excel 2007. Desse modo houve uma normalização dos dados a fim de excluir

aquelas amostras discrepantes pela análise de variância. Assim finalizou-se o trabalho com 104.223 amostras normalizadas.

Os resultados das análises referentes aos atributos do solo relacionados a fertilidade do solo foram separados em classes para avaliação dos níveis de disponibilidade, calculando o respectivo percentual para cada classe através de uma distribuição de frequência. Os parâmetros utilizados na avaliação dos teores de argila, pH em água e saturação por bases são os adotados no Manual de Adubação de Calagem para os Estados do RS e SC (COMISSÃO..., 2004). Na avaliação dos teores de matéria orgânica e enxofre no solo utilizou-se de um maior número de classes de interpretação. Para os teores de fósforo, potássio utilizou-se de uma proposta elaborada a partir dos dados adquiridos em Schlindwein (2003). Neste estudo foram utilizados experimentos conduzidos por diferentes instituições, em vários solos, com diferentes épocas de cultivo, tempo de condução, delineamento experimental e tratamentos. Nesses experimentos foi possível obter as amostras de solo dos tratamentos com doses crescentes de P e K, bem como da testemunha (sem fertilizante) e as respectivas produtividades das culturas. Foram utilizados 35 experimentos, com doses de P (18) e K (17), principalmente na região do Planalto Riograndense, onde predominam os latossolos cultivados com soja, trigo e milho, permitindo re-calibrar os teores críticos de P e K do solo. Com base nos resultados relatados e discutidos em Schlindwein (2003), Fiorin et al. (2012) apresenta uma proposta de novas faixas de interpretação dos teores de P e K no solo (Tabela 1), que estão sendo usadas desde 2008 em lavouras manejadas em agricultura de precisão no sistema cooperativo do Rio Grande do Sul.

Neste mesmo raciocínio, Schlindwein (2003) em seus estudos, sugeriu doses maiores que as recomendadas pela Comissão... (2004) e estas, podem aumentar mais rapidamente os teores de fósforo e de potássio do solo e a produtividade das culturas. Seus estudos indicaram a necessidade de teores críticos de fósforo e de potássio maiores no sistema plantio direto do que os sugeridos pela Comissão... (2004) o que otimizaria a eficiência dos fertilizantes.

Tabela 1. Proposta de faixas de interpretação dos teores de fósforo no solo conforme o teor de argila e de potássio no solo conforme a capacidade de troca de cátions (CTC), extraídos pela solução de Mehlich-I (FIORIN *et al.*, 2012)

Faixas de Interpretação	Teor de Fósforo no Solo				Teor de Potássio no Solo			
	Classe de solo conforme o teor de argila <sup>(1)</sup>				CTC a pH 7,0(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
	1	2	3	4	≤ 5,0	5,1–10,0	10,1–15,0	> 15,0
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
Muito Baixo	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 6,0	≤ 8,0	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50
Baixo	3,1–6,0	4,1–8,0	6,1–12,0	8,1–16,0	21–40	31–60	41–80	51–100
Médio <sup>(2)</sup>	<b>6,1–9,0</b>	<b>8,1–12,0</b>	<b>12,1–18,0</b>	<b>16,1–24,0</b>	<b>41–60</b>	<b>61–90</b>	<b>81–120</b>	<b>101–150</b>
Alto	9,1–18,0	12,1–24,0	18,1–36,0	24,1–48,0	61–120	91–180	121–240	151–300
Muito Alto	> 18,0	> 24,0	> 36,0	> 48,0	> 120	> 180	> 240	> 300

<sup>(1)</sup>Classe 1 ≥ 60 % argila; Classe 2 = 60 a 41%; Classe 3 = 40 a 21%; Classe 4 = ≤ 20 % de argila.

<sup>(2)</sup>O teor crítico é o limite superior da faixa “Médio”.

Observa-se também na proposta da nova tabela, alteração quanto às faixas de CTC para interpretação do Potássio, visando uma menor amplitude em relação à atual recomendação, que variava de 5,1 a 15 passando a ser dividida e resultando em 4 faixas de CTC, além de aumentos em seus teores (Tabela 1). Desta forma, é possível separar melhor os solos e assim promover de maneira mais eficiente à interpretação e recomendação da adubação potássica, inclusive contemplando os conceitos de saturação da CTC por potássio (apresentado e discutido no Capítulo 3).

## 2.3 Resultados e Discussão

A análise da variância dos resultados das análises de solo referente ao teor de argila, pH, fósforo, potássio, matéria orgânica, CTC, saturação por bases e enxofre, é apresentada na Tabela 2.

O coeficiente de variação (CV) foi utilizado para fins de interpretação da variabilidade e adotaram-se os critérios propostos por Warrick & Nielsen (1980), que consideram como baixo, o CV < 11%, médio, quando o CV situa-se entre 11% e 65%, e alto, quando CV > 65%. Somente o pH apresentou CV baixo. O elemento



fósforo apresentou CV alto e os demais elementos analisados apresentaram CV médio.

Tabela 2. Análise da variância para os dados normalizados referente ao teor de argila, pH, fósforo, potássio, matéria orgânica, CTC, saturação por bases e enxofre baseados em 105.342 análises de solo. Santa Maria, 2013.

	Unidades	Máximo	Mínimo	Mediana	Média	Variância	Desvio Padrão	Simetria	Curtose	CV
Argila	%	89.0	10.0	51.0	49.0	251.0	15.8	-0.2	-0.7	32.4
pH	-	7.3	4.0	5.6	5.6	0.2	0.5	0.0	-0.2	8.1
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	120.7	2.0	10.8	13.6	107.2	10.4	2.5	11.1	76.3
Potássio	mg dm <sup>-3</sup>	600.0	11.0	180.0	190.6	7651.0	87.5	0.8	1.0	45.9
Mat. Orgânica	%	10.8	1.0	3.6	3.6	0.7	0.8	0.3	1.7	23.0
CTC	cmolc dm <sup>-3</sup>	49.1	2.7	13.3	13.3	8.0	2.8	1.2	8.1	21.2
Saturação por Bases	%	95.7	1.8	64.8	63.1	174.5	13.2	-0.7	0.5	20.9
Enxofre	mg dm <sup>-3</sup>	67.1	1.0	7.7	8.9	27.8	5.3	1.5	3.6	59.0

A normalidade dos dados foi verificada pela avaliação dos coeficientes de simetria, que segundo Gomes (1984) deve situar-se entre 0 e 3. Os valores obtidos indicam que Matéria Orgânica, Potássio, Fósforo, CTC e Enxofre apresentaram distribuição normal. Os valores altos de curtose, encontrados para CTC e Fósforo, indicam que ainda podem existir alguns pontos com valores extremos muito baixos e/ou muito altos, que destoam do conjunto de dados.

De maneira geral, áreas com adoção de agricultura de precisão apresentam teores de argila superiores a 40% (Figura 1). Aproximadamente 38,5% das análises de solo são da Classe II, com teores de argila entre 41% e 60% e, solos com teores superiores a 60% de argila são representados por 28,8% das amostras de solo analisadas. Este perfil se deve ao maior número de análises de solo provenientes do Planalto Médio e Noroeste do Estado do RS onde os teores de argila são altos devido ao tipo de formação do solo. Uma menor proporção, cerca de 28,2% e 4,5%, apresentam teores baixos de argila, situados entre 21% e 40% e inferiores a 20%, respectivamente. Esses solos são de origem arenítica provenientes da Depressão Central e Campanha, representados pelas Classes III e IV. A avaliação dos teores de argila é importante na interpretação dos teores de fósforo e nas doses de recomendação desse elemento. O teor e o tipo de argila do solo são extremamente importantes, pois definem a quantidade de cargas elétricas, e portanto, o

comportamento eletro-químico dos solos, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

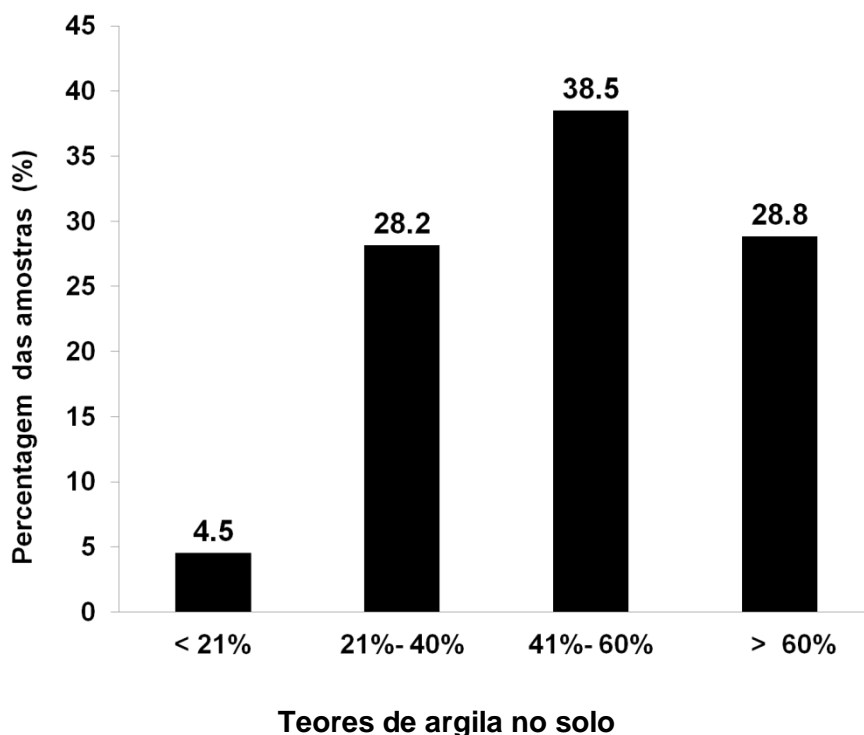


Figura 1. Distribuição percentual dos teores de argila.

Outro fator importante que reflete sobre as cargas elétricas do solo é o teor de matéria orgânica. A Figura 2 apresenta a distribuição percentual dos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Verifica-se que apenas 9,2% das análises apresentaram teores superiores a 5,0% de MOS. A Comissão... (2004), divide em três classes sendo <2,5; 2,5-5,0;  $\geq$  5,0%. Entre as amostras apresentadas 12,2% apresentaram índices de MOS inferiores a 2,5%. A maioria das áreas (78,5%) apresentam entre 2,5 e 5,0% de MOS.

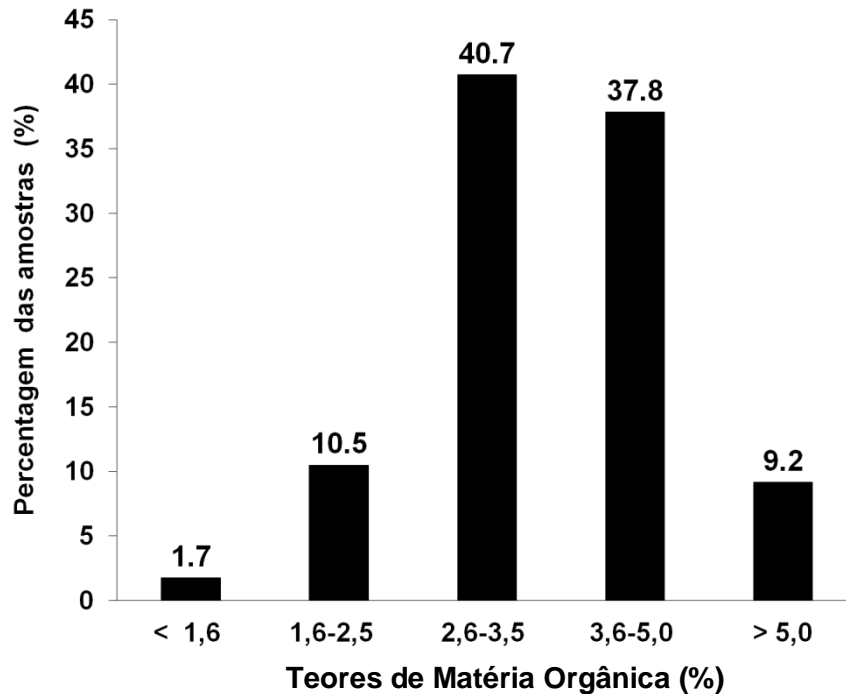


Figura 2. Distribuição percentual dos teores de matéria orgânica.

A MOS é importante nas recomendações de adubação nitrogenada, na expectativa de produtividade das culturas como e indicador da qualidade do solo. Ela também contribui para a geração de cargas elétricas aumentando assim a CTC do solo atuando como fonte de nutrientes para as plantas. A quantidade e a qualidade da MO está diretamente ligada ao tipo de manejo adotado pelo produtor. O correto manejo da palhada leva ao aumento dos teores de MOS assim como os incorretos reduzem os teores no solo. (COMISSÃO..., 2004)

A acidez é um importante indicador da capacidade que um solo tem em disponibilizar nutrientes para as plantas. O pH em água, a saturação por alumínio e a saturação por bases são indicadores de acidez utilizados para tomada de decisão na recomendação de corretivos. O pH em água das áreas manejadas em agricultura de precisão se concentraram entre 5,5 e 6,0 (Figura 3), que coincidem com maior proporção das amostras com saturação por bases entre 65 e 80% (Figura 4).

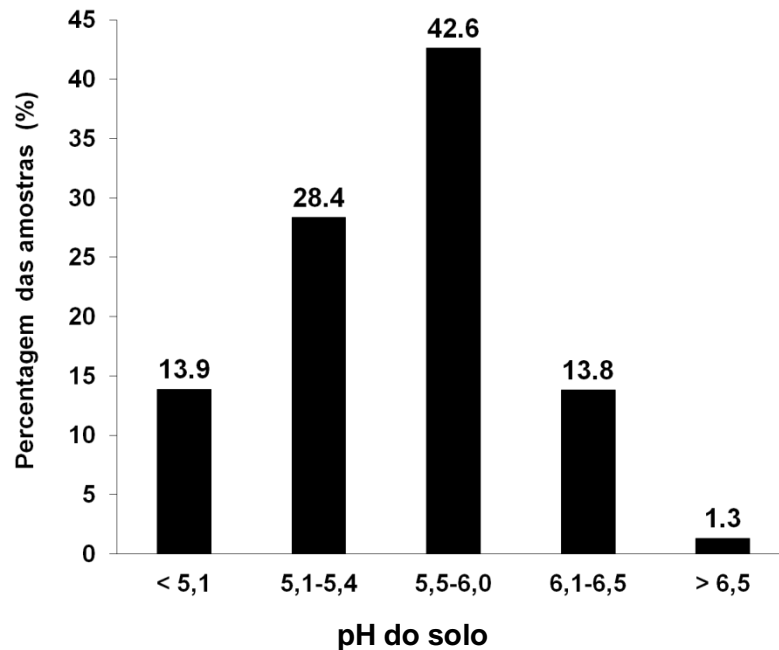


Figura 3. Distribuição percentual dos valores de pH água.

Aproximadamente 57,7% das amostras situam-se acima de pH 5,5, considerado o valor a partir do qual o alumínio fica indisponível no solo. As amostras que apresentaram pH inferior a 5,5, situação em que o alumínio trocável ( $Al^{+3}$ ) ainda se faz presente, totalizam 42,3% dos resultados, demonstrando que é necessário investir em correção de acidez em boa parte das áreas amostradas. O pH em água acima de 6,0 é observado em 15,2% das amostras. Nessa situação, alguns autores alertam para possíveis problemas de indisponibilidade de micronutrientes para as plantas. A calagem superficial tem proporcionado melhorias no ambiente radicular e alterações nos atributos químicos no perfil do solo. Por outro lado, as alterações relevantes para os parâmetros agrônômicos e que facilitam o desenvolvimento radicular e tem se limitado a poucos centímetros de profundidade (KAMINSKI et al., 2005). Apesar disto os efeitos proporcionados pela calagem superficial podem ser comparáveis a calagem incorporada em solo menos argilosos, com menor acidez potencial e com teores elevados de nutrientes (CAIRES et al., 1998; AMARAL, 2002; GATIBONI et al., 2003; VILELA & ANGHINONI, 1984).

A redução do pH para níveis inferiores a 5,5 promove um aumento na atividade do alumínio, reduzindo a eficiência da calagem em função do tempo e independente da forma aplicada (KAMINSKI et al., 2005). Martinazzo (2006),

encontrou situação similar a este estudo onde 56% das amostras da camada 0-10cm apresentaram pH maior que 5.5. Os resultados apresentados na Figura 3 demonstram que ainda há necessidade de correção em 42,3% das áreas estudadas. Rheinheimer et al (2001) descreve que 55,4% apresentaram pH superior a 5,5 em diferentes sistemas de manejo. Não há valores críticos para o crescimento radicular e a produtividade das culturas, por isso se observa situações associadas em que pH menor que 5,5 pode afetar o desempenho das plantas, como a forma iônica de moléculas ou espécies iônicas presentes na solução do solo como o alumínio trocável. O pH abaixo de 5,5, de acordo com Malavolta (1988), promove a diminuição da disponibilidade de outros elementos por isso também é utilizado como parâmetro.

A saturação por bases é outro critério de avaliação da fertilidade do solo como indicador da necessidade de correção da acidez. Para a cultura da soja os níveis desejáveis variam entre 65 a 80% de saturação por bases (COMISSÃO..., 2004). Nesse estudo, 42,6% das amostras se encontram nesta faixa considerada adequada (Figura 4). Solos com saturação por bases inferiores a 65% somaram 47,6% das amostras, indicando um percentual considerável de lavouras que necessitam a utilização de corretivos de acidez. Apenas 9,9% das amostras apresentaram saturação por bases acima de 80%.

Os teores de fósforo no solo apresentaram níveis bastante distintos nas amostras (Figura 5). Conforme a Comissão... (2004), o teor crítico de fósforo no solo está relacionado com o nível superior da faixa “Médio”, considerado satisfatório para o adequado desenvolvimento das plantas, observado em 38,2% das análises. A faixa “Muito Baixo” somou 13,4% e a “Baixo” 26,9% das amostras. A Figura 5 mostra que 61,8% das áreas analisadas necessitam correção de solo para o elemento fósforo. Somente 38,2% das análises estão acima do teor crítico, indicando nessa situação apenas adubação de manutenção do nutriente.

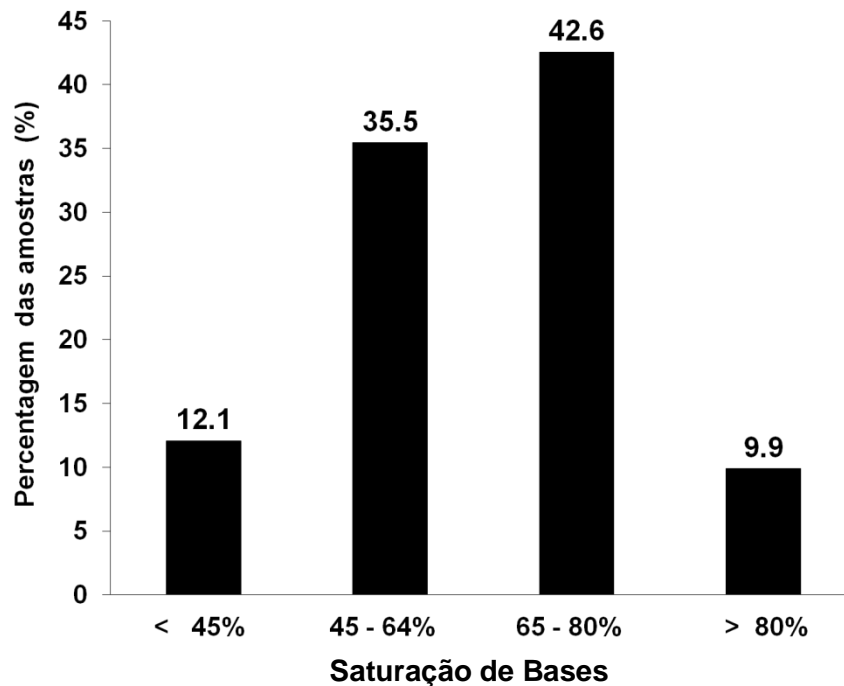


Figura 4. Distribuição percentual dos valores de Saturação por Bases.

Segundo Martinazzo (2006), para o fósforo na camada de 0 a 10 cm, em torno de 70% das amostras encontraram-se acima do nível de suficiência, enquanto que neste estudo. A adubação com fósforo até o nível de suficiência, permitiu maiores produtividades de matéria seca segundo diversos autores (NOVAIS et al., 1985; ANGHINONI, 1992; KLEPKER & ANGHINONI, 1996; BARRETO & FERNANDES, 2002),

Para os teores de potássio no solo, 72,1% das análises encontram-se nas faixas “Alto” e “Muito Alto” (Figura 6). Isto representa que na maior parte das áreas analisadas do RS não há necessidade de correção com potássio. A faixa “Muito Baixo” é de apenas 1% das amostras e a faixa “Baixo” equivale a 9%. Cerca de 17,9% das amostras encontram-se na faixa “Médio” de fertilidade para o elemento potássio.

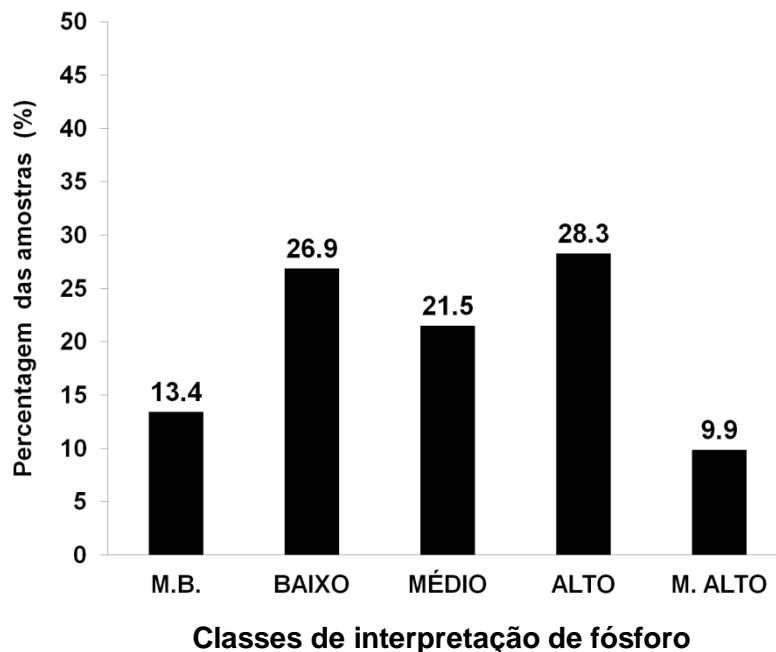


Figura 5. Distribuição percentual dos teores de Fósforo no solo em classes de interpretação.

Escosteguy (2012) relata que nos últimos anos a maioria das amostras analisadas nos laboratórios de solos do planalto, tem alto teor de K, sendo estes comumente duas a três vezes maiores que o considerado “Muito Alto”, contudo estes teores estão restritos as camadas de 0 a 5 cm ou de 0 a 10 cm. Na camada de 10 a 20 cm os teores de K são, em geral, cerca de 50% menores do que o teor das camadas mais superficiais.

Durante as décadas de 70 e 80, devido ao processo erosivo intenso, havia perdas elevadas de solo e, conseqüentemente, perda de argila, e MOS, frações responsáveis pela CTC e, portanto fontes de K. Em função disso na década de 80 a Comissão... (2004) elevou o nível de suficiência de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  para  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ . Assim as fórmulas de fertilizantes utilizadas pelas principais culturas foram alteradas a fim de aumentar o teor de K em relação aos teores de P (POTTKER & ESCOSTEGUY, 1996).

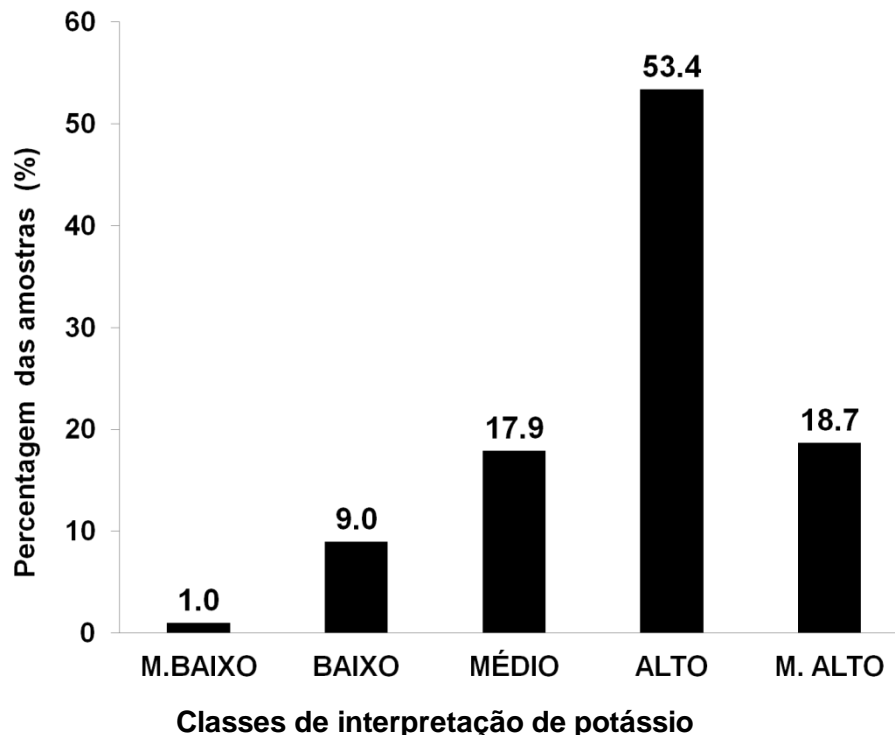


Figura 6. Distribuição percentual dos **Teores de Potássio no solo** nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.

Na década de 90, a adoção do plantio direto promoveu a diminuição das perdas por erosão, que associado ao uso de formulações com altas doses de K promoveu elevação dos níveis desse elemento no solo. Em levantamento realizado pela Universidade de Passo Fundo, Embrapa Trigo e FUNDACEP de Cruz Alta, em 1996, de um total de 1000 análises de solos foi evidenciado baixos teores de K dos solos do planalto, 65% continham teores de K considerados médios ( $<80 \text{ mg dm}^{-3}$ ), baixos ( $41\text{-}60 \text{ mg dm}^{-3}$ ) ou muito baixos ( $<40 \text{ mg dm}^{-3}$ ) (POTTKER & ESCOSTEGUY, 1996).

Em alguns trabalhos se tem observado que as culturas não respondem a adição de potássio mesmo quando o solo possui baixos teores deste nutriente (BORKERT et al., 1993; SCHERER, 1998; BRUNETTO et al., 2005; KIST, 2005). No entanto, outros estudos têm relatado resposta a adubação, mesmo quando o solo apresenta teores de K acima do nível de suficiência (SILVEIRA, 2002). Estes aspectos podem ser atribuídos à mineralogia do solo (BORTOLUZZI et al., 2005) e a ciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos que são liberados durante a sua decomposição e que coincide com o período de desenvolvimento da cultura.



Outro fator importante é quando existe boa disponibilidade hídrica as culturas podem produzir satisfatoriamente, mesmo que apenas um volume restrito de raízes se desenvolva em um meio com condições de disponibilidade de nutrientes adequadas. A água é fator fundamental de transporte de nutrientes do solo para as plantas (VILELA & ANGHINONI, 1984).

Em relação aos dados de  $CTC_{(pH\ 7,0)}$ , observou-se variabilidade nos resultados sendo a faixa que concentrou mais análises entre 12,0 e 14,9  $cmol_c\ dm^{-3}$  de  $CTC_{(pH\ 7,0)}$  com 49,1% das amostras (Figura 7). Cerca de 4,3% das amostras apresentaram  $CTC_{(pH\ 7,0)}$  inferior a 9,0  $cmol_c\ dm^{-3}$ , e 7,2% das amostras alcançaram  $CTC_{(pH\ 7,0)}$  superior a 18,0  $cmol_c\ dm^{-3}$ . Essa dispersão demonstra a heterogeneidade dos solos analisados.

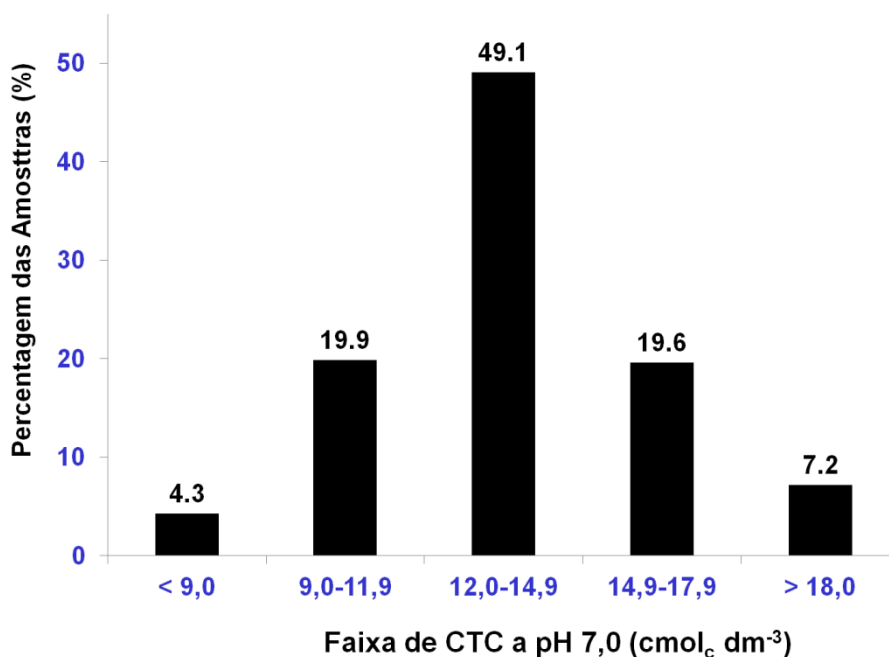


Figura 7. Distribuição percentual dos valores de  $CTC_{(pH\ 7,0)}$  no solo nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.

Atualmente a CTC do solo é utilizada para determinar intervalos de interpretação do potássio no solo dividida em três classes, menor que 5,0  $cmol_c\ dm^{-3}$ , entre 5,1 e 15,0  $cmol_c\ dm^{-3}$  e maior que 15,1  $cmol_c\ dm^{-3}$  (COMISSÃO..., 2004). Com o aumento das amostragens de solo proporcionado pela agricultura de precisão verificou-se uma grande variabilidade nos dados de CTC dos solos do RS como se observa na Figura 7. Desta forma, pode-se inferir que a recomendação de doses de calcário

pelo método da saturação por bases, o qual utiliza a CTC como um dos fatores do cálculo, também se torna bastante variável em função desta. A quantidade de potássio a ser utilizada na correção de solo também é influenciada pela CTC uma vez que um solo com capacidade de troca de cátions mais alta necessita de doses maiores de potássio para vencer o poder de adsorção do que solos com CTC mais baixa. Este assunto será discutido no capítulo a seguir.

Os teores de enxofre extraível no solo apresentados na Figura 8 identificam que a maior parte das amostras encontram-se nas faixas de interpretação “Muito Baixo” e “Baixo” para este elemento, sendo 67,5% das amostras com valores inferiores a 10 mg dm<sup>-3</sup>. Para a cultura da soja estes valores são considerados baixos (COMISSÃO...2004). Amostras com valores superiores a 10 mg dm<sup>-3</sup> somaram 32,5% dos dados analisados. A adubação com enxofre sempre foi considerada em segundo plano pelos produtores e técnicos. Sua aplicação sempre foi questionada pelos pesquisadores. Os resultados demonstram essa baixa utilização deste elemento.

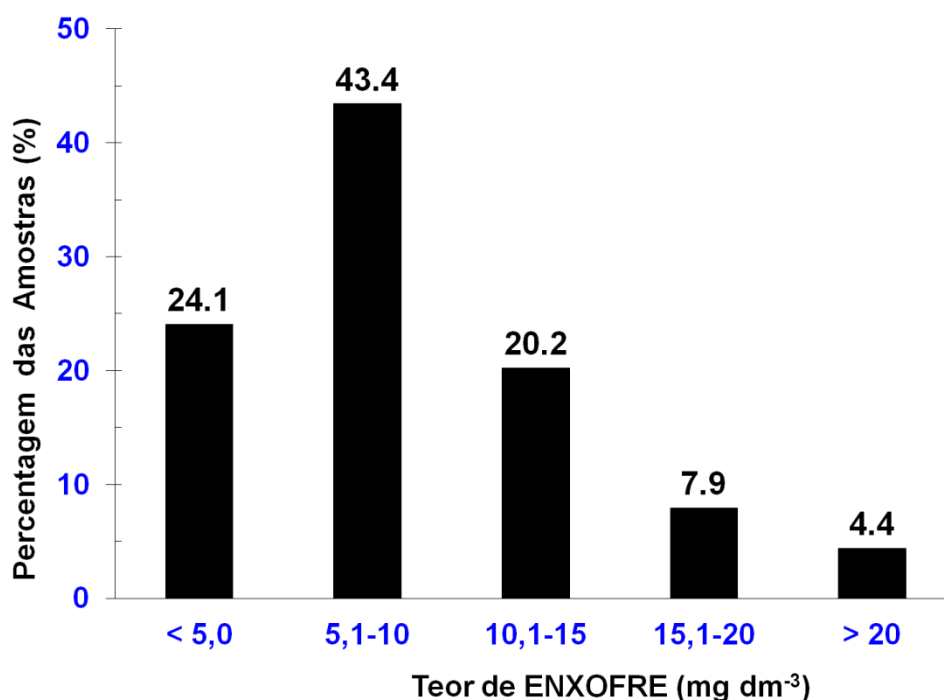


Figura 8. Distribuição percentual dos teores de Enxofre nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS.

O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. Devido ao alto custo dos fertilizantes, os produtores fazem a opção por

fórmulas mais concentradas por apresentar menor valor por ponto dos elementos. No entanto, muitas culturas importantes exigem-no em quantidades maiores ou iguais às de fósforo (MELLO et al., 1984). Nos fertilizantes NPK, o teor de enxofre varia, geralmente, entre 1% e 10%. Nestes fertilizantes, quanto menor for a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, maior a possibilidade de aumento do teor de enxofre nas fórmulas. Fertilizantes com baixa concentração de NPK tendem a conter, em grandes quantidades, como fonte de fósforo o superfosfato simples, o que aumenta o teor de enxofre. Fórmulas mais concentradas em NPK tendem a conter como fontes de fósforo o monoamônio fosfato (MAP), diamônio fosfato (DAP) e o superfosfato triplo, que têm baixas concentrações de enxofre (STIPP & CASARIN, 2010).

Observa-se a necessidade de mais pesquisas para dar sustentação ao teor crítico adotado no RS e SC, especialmente para os sistemas de produção de grãos. Em virtude das altas produtividades que vem sendo obtidas, a percepção é que há a necessidade de rever os indicadores da recomendação de fertilizantes fornecedores de enxofre. Em se considerar que os teores críticos de enxofre no solo sejam mais elevados, por exemplo, 15 ou 20 mg dm<sup>-3</sup>, tendência observada por Caires et al. (2002) no Paraná, com base no diagnóstico dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no RS percebe-se que grande parte das amostras apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre.

É oportuno lembrar que aproximadamente 90% das amostras são oriundas da profundidade de 0 a 10 cm. A análise da camada superficial do solo, normalmente empregada para a determinação da necessidade de fertilizantes e corretivos da acidez pode não ser suficiente para indicar a disponibilidade de enxofre para as culturas. Duarte & Cantarella (2007) avaliando a disponibilidade de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> em 36 solos agrícolas do Vale do Paranapanema (SP), observaram que em muitos solos havia grande acúmulo de enxofre abaixo de 20 cm, embora as concentrações desse ânion na camada superficial fossem inferiores a 10 mg dm<sup>-3</sup>.

No entanto, mesmo que em profundidades maiores os teores sejam mais adequados, há preocupação em relação ao atual sistema de produção de grãos. A utilização de cultivares/híbridos modernos, normalmente de ciclos mais precoces e

alto potencial produtivo exigem além de quantidade maiores de nutrientes, que estes nutrientes estejam *“mais prontamente disponíveis”* num espaço de tempo relativamente mais curto. Adicional a isso, Osório Filho (2006) alerta que para alcançarem esta região de acúmulo de nutrientes, as raízes precisam crescer sem impedimentos físicos ou químicos. Se isso ocorrer, com a concentração das raízes na superfície do solo, ao longo dos cultivos poderão surgir problemas de deficiência de S.

A redução dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no RS podem estar associados à sucessiva exportação do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado à utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre. No Rio Grande do Sul, com o advento do sistema plantio direto, as aplicações de calcário são realizadas na superfície sem incorporação. Todavia, o calcário, cuja mobilidade é baixa, promove a dessorção dos nutrientes aniônicos, entre eles o enxofre, na camada superficial (OSÓRIO FILHO, 2006).

Os resultados das análises de solo processados pelo Laboratório do CCGL TECNOLOGIA descritos anteriormente, demonstram o perfil das áreas que estão sob agricultura de precisão no Estado do Rio Grande do Sul. A adoção desta tecnologia parte de áreas de produtores inovadores com perfil empresarial que já utilizam um bom grau de tecnologia.

#### **2.4 - Conclusão**

1. Cerca de 42% das amostras apresentaram necessidade de correção da acidez do solo;
2. O fósforo foi o elemento que necessita maior atenção na correção de solo por apresentar maior parte das amostras em níveis abaixo do teor crítico proposto por Fiorin (2012)
3. O potássio apresenta a maior parte das amostras acima do teor crítico proposto por Fiorin (2012) sugerindo baixa resposta a aplicação nos modelos atuais;
4. A correção com enxofre apresenta potencial de resposta a produtividade da soja por possuir teores abaixo do limite considerado como adequado.

### **3. RELAÇÕES DE POTÁSSIO E SATURAÇÃO DE BASES NA CTC DO SOLO**

#### **3.1- Revisão de Literatura**

A recomendação de calagem é realizada com base em indicadores de acidez do solo e na resposta das culturas à elevação de pH (NICOLODI et al., 2008). São utilizados diferentes métodos de determinação da necessidade de calagem no Brasil, com pequenas variações regionais (LACERDA et al., 2006).

Nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação de calagem é feita com base no Índice SMP (KAMINSKI, 1974; ERNANI & ALMEIDA, 1986). Nesses Estados, nos solos pouco tamponados, o índice SMP pode subestimar a necessidade de calcário. Nesses casos, esta pode ser calculada pelos teores de matéria orgânica e de alumínio trocável do solo (COMISSÃO..., 2004). No entanto, nos últimos anos tem-se utilizado para recomendação de calagem o método da elevação da saturação por bases, o qual tem a vantagem de adaptar-se às diferentes culturas conforme suas exigências (RAIJ, 1991).

Segundo Raij (2011), a saturação por bases expressa a parte da CTC ocupada por cálcio, magnésio e potássio e seria de se esperar uma relação de seus valores com o pH. Essa relação tem sido demonstrada em inúmeros trabalhos e é muito estreita em certas regiões. Essa correlação implica na possibilidade de usar o pH ou a saturação por bases, alternativamente, como referência para a meta de calagem, ou índice de acidez do solo. Essas correlações e as interferências que delas decorrem devem ser usadas regionalmente. É de se esperar, para os mesmos valores de saturação por bases para o estado de São Paulo, que o pH seja mais elevado no Brasil Central e mais baixo para a Região Sul.

Segundo a Comissão... (2004), nos solos dos Estados do RS e de SC, em média, as porcentagens de saturação da CTC por bases de 65%, 80% e 85% correspondem aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 respectivamente. Em rotações de culturas, e particularmente no sistema plantio direto, o critério da saturação por bases é bastante utilizado. As quantidades de calcário a adicionar, estimadas pelo índice SMP e calculadas pela saturação da CTC por bases podem ser, portanto, diferentes.

O equilíbrio dos nutrientes tem sido estudado por alguns pesquisadores onde se procura um melhor ajuste nas recomendações para se obter altas produtividades na cultura da soja. Os fatores de produção necessitam ser melhor estudados a fim de suportar a tomada de decisão. Assim descobrir quais destes fatores são mais aptos a responder ao manejo localizado (AMADO et al., 2009; MOLIN, 2004; ROSA FILHO et al., 2009).

Nos Estados do RS e SC, as recomendações se baseiam no Manual de Adubação de Calagem proposto pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo publicado em 2004. O Estado do Paraná, incentivado por pesquisadores locais, passaram a utilizar um sistema diferente de recomendação baseado no equilíbrio de saturação de solos descrito por Albrecht (1941).

O estudo do equilíbrio da saturação de nutrientes se inicia pelo conhecimento das características de formação do solo a ser analisado, dos tipos de argila e da disponibilidade de cargas como segue abaixo.

Os colóides do solo apresentam superfície eletricamente carregada como argilas, substâncias húmicas, sesquióxidos de ferro e alumínio, íons e moléculas polarizadas. Estes elementos se encontram atraídos e os nutrientes podem ligar-se a eles de forma reversível ou irreversível. Estes componentes do solo possuem determinada superfície de troca e são os principais colóides responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos tropicais e subtropicais. A CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos na superfície desses materiais em condição permutável (RONQUIN, 2010). Ela pode ser expressa como CTC total, quando considerar todos os cátions permutáveis do solo (Ca, Mg, K, H, Na e Al), entretanto o H só é retirado da superfície de adsorção por reação direta com hidroxilas originando água. Quando a CTC é expressa sem considerar o íon H a denominação é CTC efetiva. Além de ser um parâmetro utilizado na estimativa da capacidade de retenção de nutrientes às plantas, também é utilizada como critério na separação de classes de solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido saturação por bases (V) entre 50% e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIN, 2010).

Em 1941 Willian Albretch, professor do Departamento de Solos da Universidade de Missouri nos EUA apresentou um trabalho sobre a reação do balanço nutricional do solo, principalmente dos elementos Cálcio, Magnésio e Potássio em relação ao pH. Albretch apresentou evidências importantes entre o Cálcio no solo a sua relação catiônica com o balanço nutricional da planta de alfafa em diferentes tipos de solos. Neste trabalho ele encontrou para os solos dos EUA que o equilíbrio entre os cátions funcionavam como um código para promover a melhor relação de absorção de nutrientes e fixação de nitrogênio sendo estes representados pela sua disponibilidade na saturação como segue: 10% de Hidrogênio, 60 a 75% de Cálcio, 7 a 15% de Magnésio, 2 a 5% de Potássio, 0,5 a 5% de Sódio e 5% de outros cátions. Albretch (1967) também descreveu que maiores concentrações de cálcio no solo promoveram plantas com maior crescimento vegetativo em relação a outros cátions. Bear & Toth (1948) em estudos semelhantes também alcançaram valores próximos aos dos encontrados por Albretch (1941).

Kopittke & Menzies (2007), publicaram uma revisão sobre os estudos do Balanço de Saturação de Cations (*Basic Cation Saturation Ratio-BCSR*) onde apontaram que não há um equilíbrio ideal de saturação de nutrientes no solo uma vez que os elementos estão em níveis suficientes e nenhum deles em excesso, contestando os autores sobre o equilíbrio (balanço) ideal. Rehm (2009) por outro lado, demonstrou que o balanço de saturação de cátions sofre alterações de acordo com o tipo de solo, sugerindo relações diferentes entre os nutrientes e a área.

Kelling & Peters (2004) verificaram que a partir do suprimento dos teores críticos a proporção entre os cátions passa a ser secundária levando as recomendações pelo método de equilíbrio de saturação acima das respostas econômicas da adubação. Medeiros et al. (2008) verificou que elevadas concentrações de Cálcio trocável no solo provocadas pela adição de corretivos da acidez com alta relação Ca:Mg inibiram a absorção de Mg e K pelas plantas de milho. O aumento das relações de Ca:Mg no solo diminuíram a produção de matéria seca e altura de plantas no estágio inicial de desenvolvimento.

No Brasil Central, Sfredo (2008) propôs alguns níveis de saturação desejáveis dos cátions do solo para efeito de interpretação de análise química de acordo com

sua CTC (Tabela 3). O autor dividiu os solos em CTC < 8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e solos com CTC > 8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Sua sugestão de recomendação foi de que em solos com valores de CTC < 8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, o nível inferior para a classe de interpretação “Alto” de Cálcio, Magnésio e Potássio correspondem a 34%, 18% e 5%, respectivamente, e solos com CTC > 8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para Cálcio, Magnésio e Potássio, correspondem a 50%, 20% e 5%, respectivamente. Estes valores são similares ao proposto por Albrecht (1941). Na região nordeste, primeiramente, utilizava-se o método da elevação de cálcio e magnésio (LACERDA et al., 2006). No entanto, nos últimos anos têm-se utilizado, para recomendação de calagem, o método da elevação da saturação por bases o qual tem a vantagem de adaptar-se às diferentes culturas, conforme suas exigências (Van RAIJ, 1991).

Tabela 3. Níveis de alguns atributos de solo para interpretação de análises de solo em soja sugerido por Sfredo (2008) em solos do cerrado.

Níveis	Saturação na CTC (%)		
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
Solos com CTC < 8 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Baixo	<26	<13	<3
Médio	26-34	13-18	3-5
Alto	>34	>18	>5
Solos com CTC ≥ 8 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Baixo	<35	<13	<3
Médio	35-50	13-20	3-5
Alto	>50	>20	>5

SFREDO et al, 2006; BORKERT et al 2006  
SFREDO et al, 1999

No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, trabalhos conduzidos por Wiethölter (1996); Scherer (1998) e Silva & Meurer (1998) têm mostrado que a resposta das culturas ao potássio depende da relação entre o K extraído e a CTC do solo. Assim os teores críticos são determinados em 40, 60 e 90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para solos de classes de CTC<sub>(pH 7,0)</sub> igual ou menor do que 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, de 5,1 a 15,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e maior do que 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Schindwein (2003) e Schindwein & Gianello (2004) discordaram dos níveis de suficiência dos elementos



apresentados. As faixas de interpretação da análise de solos propostas para o potássio no RS, foram estabelecidas com base no sistema de preparo convencional. Schlindwein (2003) demonstrou maior necessidade de Potássio em função do maior produtividade apresentado pela soja sugerindo a necessidade de um maior teor crítico. Também nesse estudo, as faixas de fertilidade foram mais amplas e por consequência as doses de potássio para a soja foram maiores do que as recomendações da Comissão... (2004). Scherer (1998) em ensaio de resposta a adubação potássica em 12 anos de cultivo observou a redução gradativa dos teores de K do solo no decorrer dos cultivos, fato que não chegou a comprometer a produtividade da soja nos quatro primeiros anos, mas com queda drástica da produtividade nos anos seguintes.

Em termos de resposta das culturas agrícolas às relações entre cátions básicos no solo, verificou-se que relações equilibradas dos elementos Ca, Mg e K no complexo de troca de um Latossolo Distroférico de Cambé, PR aumentou a produtividade da cultura da soja (WATANABE et al., 2005). Em um outro estudo realizado em casa de vegetação num Neossolo Quartzarênico com aplicação de corretivo com relações Ca:Mg crescentes, observou-se que as relações mais altas aumentaram o teor de Ca e diminuíram o de Mg e fósforo no tecido vegetal do milho, possivelmente em razão do efeito sinérgico entre P e Mg (SILVEIRA, 1998). Por outro lado, Kopittke & Menzier (2007) alertam que em solos dos Estados Unidos verificou-se que variações nas relações entre cátions Ca, Mg e K, quando não extremas, não afetam a qualidade química do solo e o crescimento das plantas.

Os teores de Cálcio, Magnésio e Potássio na solução do solo competem por sítios de absorção de nutrientes na superfície da raiz, uma vez que eles utilizam o mesmo transportador que insere estes nutrientes na célula (transporte pela membrana) (MARSCHNER, 1995). O mecanismo de absorção celular de K é muito específico e seletivo. Do contrário, a planta não conseguiria absorver esse nutriente em soluções contendo maior concentração de outros cátions, como ocorre com o Ca e o Mg, em solos contendo alto teor destes (MALAVOLTA, 2006). Escosteguy (2012) publicou tabelas relacionando os teores de Ca:Mg e suas relações com deficiências de potássio considerando limites máximos e mínimos entre estes elementos propondo assim limites ideais para estas relações.

Nogara Neto et al. (2011), em ensaio conduzido para identificar métodos estatísticos (correlação de Spearman, árvore de regressão e análise de cluster) não identificou o potássio como um elemento crítico para manejo uma vez que os solos alcançavam teores alto e muito alto para este elemento, apesar disso apontaram que o equilíbrio de bases foi importante para a nutrição de plantas de milho com respostas na produtividade. Neste mesmo trabalho, os autores reportaram a importância da relação Mg:K, sendo que quando estes valores eram baixos (menor que  $2,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) a produtividade de milho diminuiu.

Segundo Oliveira et al. (2001), a utilização do teor de K trocável como fator de avaliação do K disponível do solo pode não ser adequado para a recomendação da adubação potássica. Por sua elevada mobilidade no solo, este índice utilizado isoladamente não representa de maneira eficiente a disponibilidade do K em solos com características mineralógicas, físicas e químicas distintas (MEURER & ANGHINONI, 1993). Além disso, as plantas podem utilizar-se de formas de K não trocáveis, liberadas durante o ciclo da cultura (ROSOLEM & NAKAGAWA, 1985; ROSOLEM et al., 1988; ROSOLEM et al., 1993). Todo esse processo dinâmico do K nos solos tem como consequência uma diversidade de valores críticos de K trocável, encontrados na literatura, para a obtenção da produção relativa máxima da soja (BORKERT et al., 1993; MASCARENHAS et al., 1981; RAIJ & MASCARENHAS, 1976).

Em estudo realizado por Fraga et al. (2009), em solos de várzea, a capacidade de suprimento de potássio no tempo, (segundo e terceiro cultivos) foi determinada predominantemente pela saturação por K na CTC ( $K/CTC_{\text{pH } 7,0}$ ) e pelo suprimento de formas não trocáveis, especialmente de feldspatos potássicos, esmectitas e esmectitas com hidróxi-Al entrecamadas.

O objetivo deste estudo foi identificar se há interação entre a CTC dos solos, Saturação por Bases, pH e o Potássio, buscando um melhor entendimento da influência de cada atributo na absorção de nutrientes pelas plantas.

### 3.2 - Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado a partir de levantamentos de informações de análise de solos utilizando um banco de dados da CCGL TECNOLOGIA com 104.233 análises de solo oriundas de áreas de agricultura de precisão do Rio Grande do Sul. Os dados foram submetidos a estudos estatísticos de média, variância, desvio padrão e análise de regressão.

Inicialmente foram analisados os dados de CTC e submetidos á análise de variância. Este parâmetro foi utilizado uma vez que o equilíbrio de saturação se baseia na quantidade de nutrientes na CTC do solo. Logo foi determinado a média ( $13,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e o desvio padrão ( $2,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). As classes foram determinadas a partir do desvio padrão acima e abaixo, sendo a primeira classe entre 12 e 14,8 como a classe média. As demais classes foram determinadas com um desvio padrão acima da primeira determinação  $14,8 + 1 \text{ Desvpad} = 17,6$  e a outra classe com um desvio padrão abaixo da classe média determinada  $12 - 1 \text{ Desvpad} = 9,2$ . Para facilitar as determinações convencionou-se utilizar as classes com arredondamento dos valores em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , assim sugeridas: Primeira: Até 8,9 (muito baixa); Segunda: 9,0 a 11,9 (baixa); Terceira: 12,0 a 14,9 (média); Quarta: 15,0 a 17,9 (alta); Quinta: maior que 18,0 (muito alta).

A relação da saturação por bases (V%) com o pH em água foi realizada através da análise de regressão, para cada classe de CTC previamente determinada. No eixo x foram relacionados os valores de V% e no eixo y foram relacionados os dados de pH em água. Com base na equação das curvas de regressão foi obtido a equivalência entre pH em água e a saturação por bases, para cada classe de CTC, correspondente ao valor de pH em água de 6,0.

Os estudos de potássio foram realizados baseados nos teores adequados, expressa em percentagem da saturação da CTC por potássio (K%), citada na literatura, verificando a relação com o teor de potássio expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , em cada classe de  $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)}$  determinada anteriormente. A análise de regressão foi determinada dentro de cada classe de  $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)}$  sendo estudado a equação e também sua correlação. No eixo x foram considerados a quantidade de potássio em

mg dm<sup>-3</sup> e no eixo y a saturação de potássio na CTC (K%) em cada análise. Para este trabalho foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2007.

O objetivo deste capítulo foi identificar a relação entre saturação de bases, pH, potássio e a CTC do solo, visando ajustar os teores de saturação de bases adequados para recomendação de calcário e também os teores adequados de potássio baseados na CTC.

### **3.3 - Resultados e Discussão**

Atualmente as recomendações das doses de calcário se baseiam principalmente nos métodos da saturação por bases e o Índice SMP. Estes métodos buscam a elevação do pH até o nível considerado adequado no solo entre 5,8 e 6,2 (COMISSÃO..., 2004) que possibilitam, de acordo com Malavolta (2006), o melhor arranjo de disponibilidade entre os nutrientes para as culturas, ou mesmo os mais altos níveis de saturação por bases. Assim, para o pH em água, o valor de referência é de 6,0 (COMISSÃO..., 2004) e para a saturação por bases é de 70 % (RAIJ et al., 1996), para a maioria das plantas cultivadas. No entanto, é possível que tanto o indicador de acidez quanto o valor de referência não sejam adequados para recomendar calagem no solo cultivado por longo tempo no sistema plantio direto como identificado por Nicolodi (2008).

Os valores da CTC do solo na análise da variância (Tabela 2) apresentaram média e mediana próximas (13,3 e 13,2), o que sugere uma distribuição normal após a eliminação dos pontos discrepantes. Este ajuste permitiu dividir os solos em classes de CTC<sub>(pH 7,0)</sub> baseadas no seu desvio padrão.

Avaliando o comportamento da relação entre saturação por bases e pH em água, através da dispersão dos resultados das análises de solo, observa-se diferenças entre as classes de CTC dos solos (Figura 9).

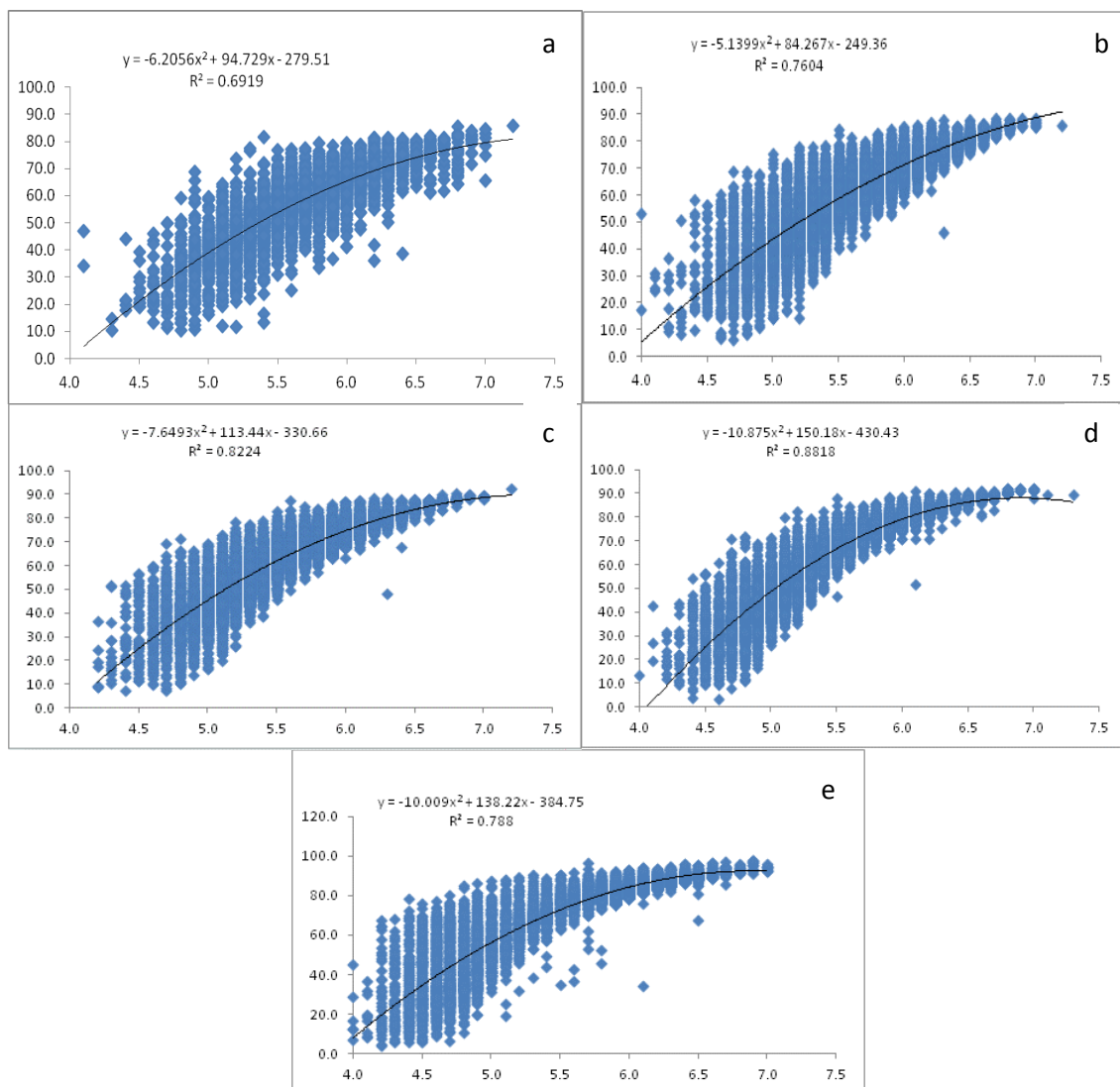


Figura 9. Curvas de regressão para Saturação de Bases. a. CTC < 9,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. b. CTC entre 9,0 e 12,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. c. CTC entre 12,0 e 15,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. d. CTC entre 15,0 e 18,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. e. CTC > 18,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>

Nos solos com CTC muito baixa ( $\leq 8,9$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) observa-se uma equivalência de saturação por bases de 65,5% quando o pH em água for igual a 6,0. Nos solos com CTC baixa (entre 9 e 11,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), média (entre 12 e 14,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), alta (entre 15 e 17,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e muito alta ( $\geq 18$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) apresentaram uma equivalência de saturação por bases de 71,2%, 74,6%, 79,2% e 84,2%, quando o pH em água for igual a 6,0, respectivamente. Isso demonstra que com o aumento da CTC do solo também aumenta os valores de saturação por bases necessários para se atingir o pH desejado. O coeficiente de correlação ( $r^2$ ) das curvas de regressão

foram superiores a 0,69, sendo que na CTC média e alta encontra-se os maiores valores, com 0,82 e 0,88, respectivamente. Portanto, há relação entre o pH do solo e a saturação por bases, como observada por Catani & Gallo (1955) e Raij et al. (1968), relação esta tão estreita, que elevar a saturação por bases significa aumentar o pH do solo (RAIJ, 1983).

Segundo a Comissão... (2004), nos solos dos Estados do RS e de SC, em média, as porcentagens de saturação da CTC por bases de 80% correspondem aos valores de pH em água 6,0. Se as quantidades de calcário a adicionar fossem estimadas para a elevação da saturação da CTC por bases a 80% seriam definidas doses próximas ao adequado nos solos com CTC alta, o que representa apenas 19,6% dos solos (Figura 7). Nos solos com CTC muito baixa, baixa e média, elevar a saturação por bases a 80%, significa elevar o pH em água acima de 6,0, o que poderia provocar, segundo Malavolta (2006), redução na disponibilidade de micronutrientes. Por outro lado, nos solos com CTC muito alta, provavelmente o pH em água 6,0 não seria atingido. Portanto, os resultados apontam uma tendência de que cada classe de CTC pode ter um equilíbrio ideal de saturação por bases, e que cuidados devem ser obedecidos para estimar doses de calcário objetivando elevar a saturação por bases quando há uma diversidade de solos como observado no RS.

Em solos do cerrado a produção da soja foi influenciada significativamente com aumento da saturação por bases de 40 para 66%. A produção máxima foi obtida com a saturação por base de 63% (FAGERIA, 2001). Nesta saturação houve aumento na produção da ordem de 42% em comparação com o nível baixo de saturação por base em solos com CTC baixa.

Alleoni et al. (2005) relataram que na região dos cerrados a produção de grãos de soja aumentou com a saturação por bases até 40%, estabilizando-se a saturação por bases entre os valores de 40 e 60% e apresentando decréscimo de produção de grãos quando a saturação por bases foi maior que 60%. Em ensaio conduzido por Caires & Rosolem (1993), os valores obtidos com a saturação por bases através do cálculo por este método foram menores do que o esperado após 120 e 240 dias da aplicação com a utilização de calcário filler. Eles verificaram que, para saturação por bases até 55% a 60%, os resultados encontravam-se próximos aos teóricos, mas acima destes havia uma grande diferença nos resultados

indicando que o poder tampão do solo também era maior do que o estimado em solos com CTC próximas a  $11,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

No estudo relativo de saturação da CTC por potássio, observou-se que diversos autores definem o percentual de potássio na CTC do solo como sendo adequado entre 3% e 5% (SFREDO, 2008; ALBRECHT, 1941; BEAR & TOTH, 1948). Escosteguy, 2012 define os teores adequados de potássio no solo entre 2 e 4% da CTC. No presente estudo interpretou-se como sendo o teor crítico de 3% de saturação da CTC por potássio.

As Figuras 14 a 18 apresentam os resultados obtidos do estudo da relação entre os teores de potássio e a percentagem da saturação da CTC por potássio em cada classe de  $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)}$  determinada anteriormente. Em solos com  $\text{CTC} \leq 8,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , os teores de K alcançaram  $89,1 \text{ mg dm}^{-3}$  quando a saturação por potássio foi igual a 3% na CTC. Nos solos com CTC baixa (entre 9 e  $11,99 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), média (entre 12 e  $14,99 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), alta (entre 15 e  $17,99 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e muito alta ( $\geq 18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) apresentaram teores de K no solo de 127,2, 157,7, 187,7 e  $237,2 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, quando a saturação por potássio foi igual a 3% na CTC.

A Comissão...(2004) define os teores críticos de potássio no solo como sendo 40, 60 e  $90 \text{ mg dm}^{-3}$ , para solos de classes de  $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)} \leq 5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , de 5,1 a  $15,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e  $> 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Diante disso, observa-se que os teores de K no solo são muito superiores aos teores críticos apresentados pela recomendação oficial. Scherer (1998) verificou que solos com baixa disponibilidade de K tendem a se estabilizar em  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ , próximo ao nível de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  como sugere a Comissão...(2004). Este autor também salientou em seu trabalho que as recomendações da Comissão...(2004) seriam insuficientes para manter os teores de K no solo para uma sucessão de cultivos de soja.

Escosteguy (2012) relata que em solos de Palmeira das Missões, o valor da CTC na maioria das amostras foi  $> 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e os teores de K no solo foram interpretados como Alto. No entanto, plantas de soja desta área manifestaram sintomas de deficiência de K. Os valores da participação de K na CTC foram  $< 3\%$  em cerca de 40 ha e em 6 dos 8 pontos amostrados nas "manchas" com sintomas mais evidentes.

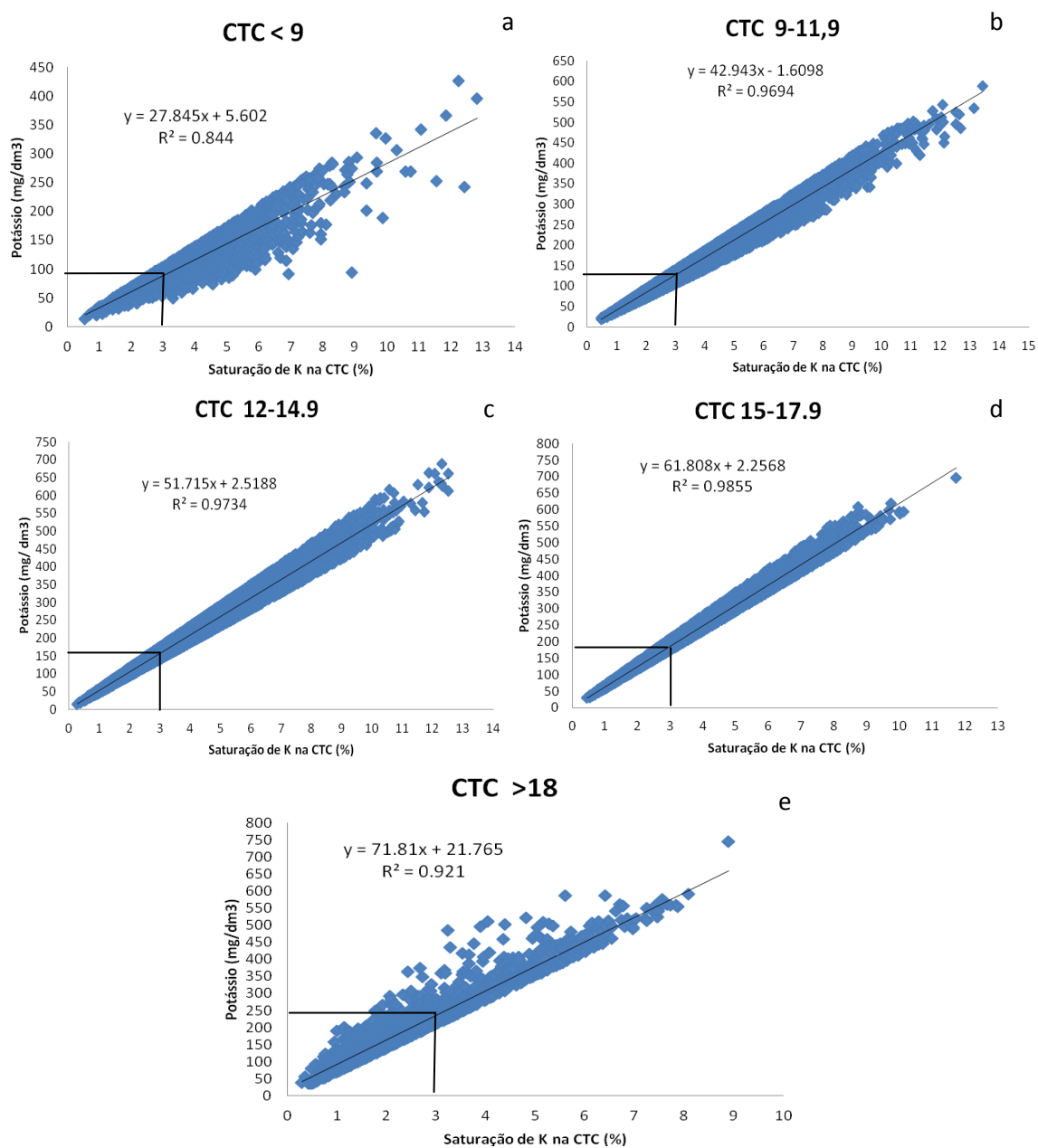


Figura 10. Equações de regressão para o potássio. a. CTC < 9,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . b. CTC entre 9,0 e 12,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . c. CTC entre 12,0 e 15,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . d. CTC entre 15,0 e 18,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . e. CTC > 18,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$

Embora os teores de K na área fossem altos, a baixa participação desse cátion na CTC indicou que os altos teores de Ca e de Mg do solo podem ter sido antagonísticos ao K, diminuindo sua disponibilidade para a soja. Oliveira (2001),



concluiu que os índices de disponibilidade de K no solo relativos aos teores de Ca e de Mg, tanto do complexo de troca quanto da solução do solo, estão diretamente correlacionados com a nutrição potássica da soja.

Rheinheimer et al. (2001), em um levantamento da situação de fertilidade dos solos do RS, encontravam que 1,3% das análises de solo se encontraram na classe limitante ( $< 21 \text{ mg dm}^{-3}$ ), 10,7% estavam na classe muito baixa (21 a  $40 \text{ mg dm}^{-3}$ ), 14,9% na classe baixa (41 a  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ ), 14,4% na classe média (61 a  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ ), 22,6% na classe suficiente (81 a  $120 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e 36,1% na classe alta ( $> 120 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Desta forma, os autores concluíram que 58,7% das amostras analisadas no RS se encontrariam acima do teor crítico de K, estabelecido em  $> 80 \text{ mg dm}^{-3}$  na recomendação de adubação vigente na época do trabalho (COMISSÃO ..., 2004). Brunetto et al. (2005) sustentaram que considerando o atual nível crítico de K de  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ , válido para a maioria dos solos do RS, 73,1% das amostras analisadas no RS estariam acima deste nível.

### **3.4 - Conclusões**

1. A saturação por bases, para atingir o pH 6,0, variou conforme a CTC do solo. Solos com baixa CTC apresentam tendência de menores valores de Saturação por Bases que um solo com CTC alta.
2. A CTC do solo influencia a disponibilidade do potássio no equilíbrio de saturação. Solos com maior CTC necessitam maiores quantidades de potássio para atingir o teor de 3% da CTC considerado como adequado.

## **4. ESTUDO DE CASO: ABSORÇÃO DE NUTRIENTES X EQUILÍBRIO DE SATURAÇÃO**

### **4.1 - Referencial Teórico**

O uso da diagnose foliar vem crescendo no Brasil nos últimos anos. A necessidade de buscar parâmetros que correlacionem a produtividade com os teores de nutrientes no solo e nas plantas são constantes e apresentam

normalmente resultados variados para estes fatores. A nutrição é um dos fatores limitantes para a produtividade das culturas, para isso a utilização de técnicas para avaliação do estado nutricional das plantas é muito importante para o monitoramento da adequada oferta de nutrientes para culturas de interesse econômico.

A utilização de análise foliar como critério de diagnóstico se baseia na premissa de existir correlação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus níveis na planta e que aumentos ou diminuição destes nutrientes se relacionam com produtividades mais altas ou mais baixas. (EVENHUIS & WAARD, 1980). Lagatu & Maume (1934) foram os primeiros a utilizar este método para avaliar o estado nutricional das plantas. Malavolta & Malavolta (1988) consideraram que a utilização da diagnose foliar permite a identificação de deficiências e excessos dos nutrientes e também permite conhecer a interação positiva ou negativa entre eles. Além disso, estes autores identificaram que a diagnose foliar pode também proporcionar uma melhor avaliação de necessidade de adubação, complementando os dados da análise de solo. Na maioria das vezes, a folha é o órgão da planta onde as alterações fisiológicas devidas a distúrbios nutricionais se tornam mais evidentes. Beaufils (1971) verificou que a maior vantagem da diagnose foliar está em considerar a própria planta como o extrator dos nutrientes do solo, permitindo uma avaliação direta de seu estado nutricional pela avaliação das concentrações foliares e assim, de forma indireta, avaliar a fertilidade do solo.

A análise foliar se baseia na determinação de faixas de suficiência como descritos por Malavolta et al. (1997) levando em consideração também o teor crítico. Recentemente o DRIS (Diagnose and Recommendation Integrated System – Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose, em português) vem sendo utilizado como sistema alternativo ao de faixas de interpretação. O teor crítico é definido pela concentração na folha abaixo do qual a taxa de crescimento, a produtividade e qualidade são significativamente afetados (BATAGLIA & DECHEN, 1986).

A coleta de folhas e plantas para a identificação leva em consideração a idade da planta ou da folha a ser amostrada, a concentração dos elementos na folha e apresenta um tipo de variação dependente da velocidade de crescimento da planta (MALAVOLTA & MALAVOLTA, 1988). No caso de células em crescimento, o

aumento no suprimento de um elemento deficiente no meio provoca, dentro de limites, e simultaneamente, um aumento correspondente na quantidade absorvida e na produção de matéria seca. O efeito da concentração foliar pode ser negativo, nulo ou positivo se a velocidade de crescimento for, respectivamente, maior, igual ou menor que as velocidades de absorção e transporte. É por isso que, na prática da diagnose foliar comumente se utilizam folhas recém-maduras, cujo crescimento terminou, mas que ainda não entraram em senescência.

Urano et al. (2006) comparou métodos de avaliação nutricional com DRIS e CND (Diagnose da Composição Nutricional) com objetivo de encontrar os elementos com maior probabilidade de resposta a adubação. Encontraram que Mg e Mn são os mais limitantes por excesso e Zn, P e Fe foram os mais limitantes pela ausência. Estes dois métodos também foram semelhantes para determinação das respostas destes elementos.

Absorção dos nutrientes pelas plantas é influenciada por diferentes fatores. Os tipos de colóides que formaram estes solo, o pH, o equilíbrio entre a quantidade trocável no solo e a concentração do nutriente na solução do solo são alguns destes fatores. No processo de absorção as interações entre os cátions constituem aspectos de importância na nutrição de plantas e no processo de produção.

O objetivo deste estudo foi correlacionar os teores de nutrientes presente no solo com os níveis de absorção de nutrientes.

#### **4.2– Material e Métodos**

O presente trabalho foi desenvolvido junto a Fazenda Botucaraí em Cachoeira do Sul, RS com acesso em 29°56'36.11"S, 52°47'02.36"S. Para o estudo foram separados 38 ha de área com localização em 29°57'33.89"S, 52°47'25.86"O. A partir da definição do contorno da área foi gerada uma malha com grid aproximado de 200x200m com o software C7 Malha para sistemas Android. Nestes pontos foi realizado coleta de solo com pá de corte tipo cavadeira até 15 cm de profundidade. As amostras foram levadas ao Laboratório de Análises de Solos da UFSM em setembro de 2012. Durante a safra 2012/13 foram coletados amostras de plantas inteiras quando as plantas iniciaram o florescimento sendo 10 plantas por metro

linear em cada ponto georreferenciado pela malha. As plantas foram encaminhadas ao Laboratório de Conservação do Solo da UFSM para Análise de Tecidos. Após o recebimento dos dados os resultados foram analisados através do Microsoft Excel e também do Software PAST (HAMMER et al., 2001) para análise de correlação de Spearman. Os dados foram divididos em análises de folhas (3º trifólio) e de plantas inteiras, comparado com as análises de solos referente aos pontos amostrados com solo. Para geração dos mapas de agricultura de precisão utilizou-se o Software Campeiro 7 do Laboratório de Geomática da UFSM (GIOTTO, 2009). Também neste trabalho foi realizado uma avaliação com o aparelho GreenSeeker Handheld (NTECH INDUSTRIES, 2005) no período de florescimento da cultura e correlacionado com os demais atributos de solo e planta.

Figura 11. Mapa da área com os pontos de coleta com solo e folhas para as determinações.



### 4.3– Resultados e Discussão

Os dados das amostras de tecido foliar foram correlacionados através do coeficiente de Spearman (Tabela 4). De acordo com Nogara Neto (2011), este coeficiente é recomendado quando o conjunto de dados não apresente distribuição normal. Os valores obtidos nas amostras de tecido se encontram no anexo II e anexo III.

As amostras de tecido apresentaram correlação de 0,48 para o fósforo quando comparadas com os teores no solo. Como era esperado, a correlação entre argila no solo e as amostras de tecido para o fósforo foram negativas, uma vez que quanto maior o teor de argila, o fósforo fica mais fortemente adsorvido e por consequência menos disponível para a planta, observado tanto nas amostras de folha do 3º trifólio como nas amostras de planta inteira. Os teores de fósforo no solo se apresentaram acima do nível crítico descrito pela Comissão...(2004) para o tipo de solo desta área (Classe 4 – menor que 20% de argila). A área, em geral, apresenta baixos teores de matéria orgânica e assim não apresentou correlação significativa com o fósforo nem mesmo com os demais elementos.

Tabela 4. Coeficientes de correlação observados entre os teores de nutrientes nos tecidos foliares e plantas inteiras, comparados com os teores no solo e as leituras do Greenseeker realizadas no florescimento da cultura da soja. Santa Maria, 2013.

Amostras de solo	Folhas					Plantas					
	P_(%)	K_(%)	Ca_(%)	Mg	N	P_(%)	K_(%)	Ca_(%)	Mg_(%)	N_(%)	Gseek
Argila (%)	-0.21	0.20	0.17	-0.15	0.07	-0.21	-0.11	0.17	-0.10	-0.23	0.20
pH H <sub>2</sub> O	0.21	-0.17	0.14	0.28	-0.09	0.21	0.01	0.02	0.17	-0.19	0.39
P_(mg L <sup>-1</sup> )	0.48	0.09	0.01	0.18	-0.11	0.48	0.35	-0.14	0.12	0.24	-0.45
K_(mg L <sup>-1</sup> )	0.34	0.41	-0.08	0.21	-0.46	0.34	0.75	0.18	-0.06	-0.35	-0.15
K_(cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0.36	0.42	-0.11	0.19	-0.46	0.36	0.76	0.17	-0.04	-0.38	-0.13
K%	0.34	0.32	-0.15	0.28	-0.40	0.34	0.60	0.00	-0.06	-0.13	-0.09
M.O_(%)	-0.03	0.29	0.17	-0.25	-0.43	-0.03	0.15	0.17	-0.08	-0.43	-0.10
Ca_(cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0.16	0.05	0.26	0.25	-0.08	0.16	-0.17	-0.07	0.33	-0.24	0.42
Ca%	0.19	-0.07	0.18	0.26	-0.05	0.19	-0.12	-0.10	0.24	-0.11	0.33
Mg_(cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0.05	0.03	0.28	0.10	-0.05	0.05	-0.15	-0.07	0.28	-0.27	0.40
Mg%	0.18	-0.11	0.14	0.20	-0.04	0.18	-0.15	-0.15	0.25	-0.13	0.41
CTC_pH <sub>7,0</sub>	-0.15	0.35	0.15	-0.13	-0.18	-0.15	0.05	0.14	0.17	-0.43	0.03
Saturação por bases(%)	0.22	-0.04	0.19	0.37	-0.11	0.22	-0.06	-0.09	0.21	-0.10	0.30
S_(mg L <sup>-1</sup> )	-0.24	-0.12	-0.13	-0.21	0.09	-0.24	-0.21	-0.16	-0.21	0.28	-0.39

O cálcio, nas amostras de folhas e planta inteira, não apresentou correlação significativa com os atributos do solo. Foram considerados como significativos às

correlações com coeficiente superior a 0,30. O cálcio no solo em todas as amostras encontrava-se abaixo do recomendado.

O Magnésio alcançou correlação positiva com a Saturação por Bases, 0,37 para a análise de folhas e de 0,33 com os teores de Cálcio no solo para as amostras de planta inteira. No solo, a proporção entre Ca:Mg ficou entre 2,77 e 4,44. Os resultados das amostras de solo se encontram no anexo 1.

As leituras com o aparelho Greenseeker apresentaram correlações negativas com Fósforo e Enxofre no solo, -0,45 e -0,39 respectivamente, e alcançaram correlações positivas com os atributos Cálcio, Magnésio, pH em água e Saturação por Bases, sendo 0,42; 0,40; 0,39 e 0,30, respectivamente. As relações com matéria orgânica do solo, argila e CTC não foram significativas. Os teores de nitrogênio nas folhas não se correlacionaram com as leituras do Greenseeker (-0,07) e os teores de nitrogênio na planta inteira se correlacionaram negativamente com as leituras do aparelho em -0,34, isto representa que o aumento dos teores de nitrogênio da folha promoveram leituras menores no aparelho (dados não apresentados).

Para o potássio, as amostras de folha se correlacionaram em 0,41 e 0,32 em relação ao potássio no solo em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e % de saturação. As amostras de planta inteira apresentaram alta correlação com os teores de potássio no solo e sua porcentagem de saturação sendo 0,75 e 0,60 respectivamente. Os teores de potássio na saturação variaram entre 1,0% e 6,2%. De acordo com estes resultados, maiores teores de saturação por potássio no solo proporcionaram maiores concentrações de potássio nas plantas de soja. Estes dados corroboram com as recomendações propostas por Escosteguy (2012), Nogara Neto (2011), Sfredo (2008), Urano et al. (2006) e Albretch (1941). O potássio no solo, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , de acordo com as recomendações da Comissão...(2004), estava acima do teor crítico em 60% das amostras analisadas (anexo 1), mesmo assim se observou efeito positivo na absorção deste elemento pelas plantas de soja.

#### **4.4– Conclusões**

1. Os teores de potássio no solo e seu percentual na  $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)}$  se correlacionam com os teores absorvidos pelas plantas inteiras de soja.

2. A utilização da análise foliar do 3º trifólio a partir do florescimento como parâmetro para recomendação ainda precisa ser melhor estudada, pois os resultados não deixam claras as relações entre os elementos nas folhas e estes no solo.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os levantamentos atuais são importantes para o conhecimento geral da situação das áreas de agricultura de precisão no Estado do RS. Observa-se a necessidade de contínuo investimento na correção da acidez do solo. O fósforo ainda é um dos elementos que necessita maior atenção na correção de solo.

Apesar do potássio apresentar a maior parte das amostras no levantamento das áreas de AP acima do teor crítico, sugerindo baixa resposta a aplicação nos modelos atuais de recomendação, novos modelos estão sendo desenvolvidos com potencial de resposta a adubação.

A correção com enxofre apresenta potencial de resposta a produtividade das culturas por possuir teores abaixo do limite considerado como adequado, apesar das limitações relativas à amostragem de solo e à eficácia do método de análise.

Os modelos de recomendação de calcário necessitam de mais estudos. A saturação por bases, para atingir o pH desejado, variou conforme a CTC. Assim podem ser estabelecidos melhor os níveis de saturação por bases adequadas para cada tipo de CTC.

A CTC do solo influencia diretamente na disponibilidade do potássio no equilíbrio de saturação. Solos com maior capacidade de troca de cátions tendem a solicitar maiores quantidade de potássio para atingir o teor crítico de 3% da CTC. Os resultados das amostras de tecido de plantas inteiras de soja se correlacionam com os teores de potássio no solo e seu percentual na CTC. Apesar disso a utilização da análise foliar do 3º trifólio a partir do florescimento como parâmetro para recomendação ainda precisa ser melhor estudado, pois os resultados não deixam claras as relações entre os elementos nas folhas e estes no solo.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.29, p.923-934, 2005.

ALBRECHT, W.A.; SMITH, G.E. Biological assays of soil fertility. **Soil Science Society of America**. v.6, p.252-258. 1941.

AMADO, T.J.C.; PES, L.Z.; LEMAINSKI, C.L. & SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha rumo à sustentabilidade agrícola nos Trópicos. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p.49-66, 2003.

AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo no ambiente subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCE/UFPE, 2005. CD-ROM.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.349-353, 1992.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 151-156, 2002.

BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Campinas, 1986. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. 179p.

BEAR, F. E.; PRINCE, A. L. Cation equivalent constancy in alfalfa. **Journal of American Society of Agronomy** v.37, p.217-222. 1945.

BEAR, F.E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.69-75, 1948.



BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis – a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fertilizes Society of South African Journal**, Pretoria, v1, p.1-30, 1971.

BRUNETTO, G.; et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.565-571, 2005.

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, p.223-226, 1993.

BORTOLUZZI, E. C.; 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.

CAIRES, E. F.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.62, p.283-290, 2003.

CAIRES, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.193-202, 1993.

CAIRES, E. F. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. Nitrogênio e enxofre. In: Luis Ignácio Prochnow; Sílvia Regina Stipp. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. 1ed. Piracicaba. : IPNI. 2010. v 2, p.1-65.

CATANI, R.A., GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação em bases. **Revista de Agricultura**., Piracicaba, v.30. p.49-60, 1955.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. de. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37. n.2. p.394-400, mar-abr. 2007.

**CAMARGO E. C. G. Geoestatística: Fundamentos e Aplicações**, cap. 5. Disponível em <[http://www.dpi.inpe.br/dpi/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/dpi/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf)>., acesso em 05/07/2011.

COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F. (Eds.) Soil acidity and liming. Madison: **American Society of Agronomy**, 1967. p.1-41.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10<sup>a</sup>.ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, M.Z. – **Proteção de Plantas: Legislação, Normas e Produtos Fitossanitários**. UFV. Viçosa, 2010.

COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C.; RAIJ, B. Van; ABREU, M.F.; CANTARELLA, H. Determinação de alumínio, cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis em extrato de cloreto de amônio. In: RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. v.1, p.201-212

DRESCHER, M. **Avaliação da fertilidade dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Solos, 1995. 24p (Boletim Técnico de Solos, 7.)

DICK, W. A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 102-107, 1983.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA. Rio de Janeiro: 2006, 412 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: Novais et al., **Fertilidade do solo** -Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594. Capítulo IX. 2007.

ESCOSTEGUY, P.A.V. Deficiência de potássio em lavouras de soja do Planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo. Ed. 127, Jan-Fev. 2012

ESCOSTEGUY, P.A.V. Deficiência de potássio em soja. **Jornal do Plantio Direto**, Ed. 26: p.14-15. 1995.

EVENHUIS, B. & WAARD, P.W.F. Principles and practices in plant analysis. In: FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira Eng. Agric. Ambiental**. v.5 n.3, p.416-424, 2001.

FRAGA, T.I.; GENRO, S.A. Jr.; INDA, A.V.; ANGHINONI, I.. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,v.33, n 3. p.497-506, 2009.

FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M.H.; MARTINS, A.P.; CARVALHO, P.C.F.; Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:161-169, 2011

FIORIN, J.E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

**FIORIN, J. E.**, BERTOLLO, G.M., WYZYKOWSKI, T. ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA PARA ALTA PRODUTIVIDADE: PROPOSTA DE NOVA RECOMENDAÇÃO In: XVII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XV Mostra de Iniciação Científica e X Mostra de Extensão, 2012, Cruz Alta – RS. **Anais ... Cruz Alta – RS: UNICRUZ**, 2012.

GATIBONI, L.C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 29, n.4 p. 799-806, out/dez. Londrina. 2008

GATIBONI, L. C. SAGGIN, A. BRUNETTO, G. HONR, D. FLORES, J.O.C. RHEINHEIMER, D. S. KAMINSKI, J.; Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v. 33, p. 282-290, 2003.

HAMMER, O., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9pp. Disponível em <[http://palaeoelectronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)> acessado em 13/08/2013

HANNAPEL, R. J.; et al. Phosphorus movement in a clacareous soil: I. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. **Soil Science**, v. 97, p. 350-357, 1964.

KAMINSKI, J.; et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em Argissolo com histórico de adubação potássica**. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 403-408, 1995.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, p. 79-86, 1996.

KOPITTKE, P. M., MENZIES, N. W.. A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil. **Soil Science Soc. American Journal**. v71:259-265. Número 2. Madison, USA. 2007

LACERDA, R. D. de; MENDES, J. da S.; CHAVES, L. H. G. Manejo de solos ácidos: comparação de métodos para avaliar a necessidade de calcário dos Solos do Estado da Paraíba. **Revista de biologia e Ciências da Terra**. Volume 6- Número 1 - 1º Semestre. 2006

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Trad. e adapt. de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo, ANDA/POTAFOS, 1989.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2006. 638 p.

NTECH INDUSTRIES. Model 505 GreenSeeker **TMhand held optical sensor unit operating manual (Rev. G)**. NTech Industries, Inc. 740 South State Street, Ukiah, CA 95482, USA. (2005).

GIOTTO E., SULZBACH L., ANTUNES M. U. F., Felipe P. O. M. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**, UFSM 2009.

GOMES, F. A. P. **Estatística Moderna na Pesquisa Agropecuária**. Piracicaba, POTAFOS, 1984, 160p.

MEDEIROS, J.C., ALBUQUERQUE, J.A., MAFRA, A.L., ROSA, J.D., LAGATU, H. MAUME, L. Le diagnostic foliare de La pomme de terre. **Annee Ecole Nationale Agriculture**, Montpellier, 22:50-158, 1934.

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

MALAVOLTA, E., MALAVOLTA, M.L. Diagnose foliar – princípios e aplicações. In: SIMPÓSIO SOBRE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO E PLANTA PARA FINS DE ADUBAÇÃO, Botucatu, 1988. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1988. 86p.

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

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MASCARENHAS, H.A.A.; VALADARES, J.M.A.; ROTTA, C.L.;BULISANI, E.A. Adução potássica na produção de soja, nos teores de potássio em LATOSSOLO ROXO Distrófico de cerrado. **Bragantia**, v.40, p.125-134, 1981.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.377-382, 1993.

MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B.M.; REISSMANN, C.B.; DIONÍSIO, J.A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: Edição do autor, 2007. 246p.

MOLIN, J.P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba, ESALQ/ USP, 2004. CD ROM.

MORAL, O.F.G.; MORENA, I.; RAMOS, J.M. Effects of nitrogen and foliar sulphur interaction on grain yield and yield components in barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 183(2): 213-226, 1999.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I.. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Science Agricultural**. Piracicaba, v. 55, n. 1, Jan. 1998 .

NICOLODI, M. ; GIANELLO, C. ; ANGHINONI, I. Evolução da fertilidade do solo do Planalto do Rio Grande do Sul nas últimas quatro décadas. **Revista Plantio Direto**, v. 111, p. 10-16, 2009.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do Planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1217-1226, 2008.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

NOVAIS, R. F.; et al. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 749-754, 1985.

OLIVEIRA, F.A. de; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A.. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, v.58, n.2. p.329-335. 2001

OLIVEIRA E.L.; PARRA M.S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.859-866, 2003.

PINK, L. A.; SHERMAN, M. S.; ALLISON, F. E. The behaviour of soluble organic phosphates added to soils. **Soil Science**, v. 51, p.351-365, 1941.

PORTO, M. D. M. **Levantamento da fertilidade e necessidade de fertilizantes e corretivos dos solos do Rio Grande do Sul**. 1970. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PREMAZZI, L.M.; MATTOS, H.B. Saturação por bases como critério para recomendação de calagem em duas espécies de gramíneas tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, v.59, n.2, p.125-136, 2002.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1996. 300p. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. V.; MASCARENHAS, H.A.A. Calibração de potássio e fósforo em solos para soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. **Anais...** Campinas: SBCS, 1976. p.309-315.

RIBAS, Cilton. **Caracterização da fertilidade atual dos solos da região de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 2010. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Orientador: Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes dataMüller.

REHM, G. 1994. Soil cation ratios for crop production. North Central Regional Extension publication 533. Disponível em [www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html](http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html) acessado em 13 de agosto de 2013.

RHEINHEIMER D.S.; GATIBONI, D.S.; KAMINSKI, J.; ROBAIMA, A.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C. & HORN, D. Situação **da fertilidade dos solos no estado do RS**. Santa Maria, Departamento de Solos/UFSM, 2001. 41p. (Boletim Técnico, 2)

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ, V.H.V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa. (CFSEMG), p.359,1999.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26 p, 2010.

ROSA-FILHO, G.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F.F.S. & GIOIA, M.T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.283-293, 2009.

ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.707-726, 1985.

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, 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.

SANTI, A.; AMADO, T.J.C. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1075-1083, 2003.

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

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

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto**. 2003. 169f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, p.611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto e coleta de amostras representativas. **Ciência Rural**, v.32, p.963-968, 2003.

SCHOSSLER, D. S., AMADO, T.J.C., SANTI, A. L., TEIXEIRA, T. G., GEIB, L. R. N.; Fertilização potássica analisada economicamente com ferramentas de agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer – Goiânia. v. 7, n. 13, 2011.

SILVEIRA, M. J. da. **Produtividade e análise econômica da utilização de nitrogênio e potássio em milho irrigado por aspersão**. 2002. 67f. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p. - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.305)

SILVA, J.R.T. & MEURER, E.J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12(2), p.137-142. 1998.

TEDESCO, M. J.; et al. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico 5)

TEDESCO, M. J., GOEPFERT, C.F., LANZER, E.A., WOLKWEISS, S.J.; Avaliação da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sul Riograndense** v. 20, n 1,p. 179 -194. 1984.

VAN DEURSEN, W.P.A. **Geographical Information Systems and Dynamic Models**. Ph.D. thesis, Utrecht University, NGS Publication 190, 198 pp. Electronically available through [www.carthago.nl](http://www.carthago.nl). 1995.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 91-96, 1984.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, J.B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTO, M. Produtividade da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 477-484, 2005.

WEAVER, D. M.; et al. Phosphorus leaching in sandy soils. I. Short-term effects of fertilizer applications and environmental conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 26, p. 177-190, 1988a.

WEAVER, D. M.; et al. Phosphorus leaching in sandy soils. II. Laboratory studies of the long-term effects of phosphorus source. **Australian Journal of Soil Research**, v.26, p. 191-200, 1988b.



WIETHÖLTER, S. Uso dos teores de potássio e argila do solo na recomendação de potássio para a cultura do trigo. In: Reunião Sul-Brasileira Ciência Solo, 1. Manejo de solo em sistemas conservacionistas **Anais... Resumos Expandidos**, 1996. p.108-109.

URANO, E. O. M., KURIHARA, C.H., MAEDA, S., VITORINO, A.C.T., GONÇALVES, C.G., MARCHETTI, M.E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v.41 n.9, p.1421-1428, set. 2006.

## Anexo I – Resultados das amostras de solo. Cachoeira do Sul, RS. 2013

Gseek	Argila	pH H <sub>2</sub> O	P *	K *	K **	K%	M.O.	Ca **	Ca%	Mg **	Mg%	CTC pH <sub>7,0</sub>	Saturação bases ***	S *
82	14.0	4.6	9.3	80.0	0.21	2.97	3.40	1.30	18.8	0.47	6.8	6.9	28.6	14.0
52	12.0	4.2	57.8	48.0	0.12	2.73	1.50	1.06	23.6	0.25	5.4	4.5	31.8	16.0
81	14.0	4.5	32.3	80.0	0.21	3.87	1.30	1.30	24.6	0.30	5.6	5.3	34.1	13.0
77	19.0	4.2	19.9	32.0	0.08	1.21	2.00	1.79	26.3	0.54	7.9	6.8	35.4	18.0
80	10.0	4.3	47.3	136.0	0.35	6.21	1.40	1.34	23.9	0.40	7.1	5.6	37.3	22.0
83	17.0	5.0	24.8	36.0	0.09	1.92	1.60	1.47	30.7	0.40	8.2	4.8	40.9	12.3
81	18.0	4.8	20.8	92.0	0.24	4.27	1.70	1.67	30.3	0.48	8.6	5.5	43.2	13.0
85	15.0	4.8	9.3	32.0	0.08	1.34	1.60	1.96	32.1	0.60	9.9	6.1	43.3	15.0
75	15.5	4.9	17.1	80.3	0.21	3.99	1.64	1.54	30.2	0.40	7.8	5.1	43.6	12.6
69	18.0	4.9	31.2	36.0	0.09	1.88	1.60	1.82	37.1	0.46	9.4	4.9	48.4	14.0
84	14.2	5.1	21.3	66.9	0.17	3.48	1.51	1.83	38.0	0.46	9.6	4.8	50.0	11.6
80	12.0	5.2	30.1	72.0	0.18	4.49	1.30	1.56	38.1	0.39	9.6	4.1	52.2	8.0
83	14.9	5.3	29.0	58.3	0.15	3.08	1.53	1.90	38.9	0.52	10.6	4.9	52.6	12.5
83	16.0	5.1	17.1	48.0	0.12	2.05	1.40	2.41	40.2	0.68	11.3	6.0	53.5	12.0
83	12.0	5.5	18.0	20.0	0.05	1.00	1.60	2.25	44.1	0.60	11.7	5.1	56.8	11.0
79	9.0	5.6	56.2	60.0	0.15	3.73	1.30	1.85	45.2	0.54	13.2	4.1	62.1	14.0
84	18.0	6.0	39.4	80.0	0.21	4.02	1.70	2.56	50.1	0.69	13.6	5.1	67.7	9.6
83	18.0	5.7	21.8	60.0	0.15	2.59	1.60	3.27	55.4	0.74	12.5	5.9	70.5	13.5
68	10.0	5.7	62.8	72.0	0.18	2.97	1.70	3.45	55.6	0.88	14.2	6.2	72.8	11.6
84	12.0	6.1	20.8	60.0	0.15	3.33	1.20	2.54	55.3	0.72	15.7	4.6	74.3	9.6

\*Valores expressos em mg L<sup>-1</sup> ;

\*\* Valores expressos em cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> ;

\*\*\* Valores expressos em %.

Anexo II – Resultados das análises de folhas (3º trifólio) em plantas de soja, Cachoeira do Sul. 2013.

Cod. Campo	Folha				
	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg	N
23	15.54	6.41	1.44	1.30	13.77
17	17.37	8.86	1.66	2.12	35.38
14	17.37	9.16	1.36	1.92	55.54
13	21.36	10.53	1.62	1.75	16.83
15	20.71	9.02	1.66	2.20	4.84
26	13.93	6.38	1.58	1.64	51.92
6A	14.71	10.92	1.49	1.48	12.02
35	18.94	6.49	1.45	1.94	19.80
40C	21.36	10.37	1.52	2.22	2.48
44	14.31	6.44	1.43	1.80	51.13
40B	19.50	9.13	1.51	1.92	18.32
45	22.04	8.61	1.48	2.10	8.60
25B	23.51	8.83	1.25	2.18	6.07
41	21.36	9.13	1.63	2.07	57.95
34	25.17	8.53	1.70	2.00	10.70
16	13.56	6.27	1.28	1.50	49.64
25	23.51	9.16	1.75	2.14	5.28
24	21.36	8.28	1.74	2.16	11.58
9A	20.71	10.92	1.52	2.08	5.89
36	14.31	7.56	1.56	2.14	57.17

Anexo III – Resultados das análises de plantas inteiras de soja, Cachoeira do Sul, 2013.

Planta				
P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	N (%)
12.84	9.43	2.08	1.62	4.14
14.31	9.41	1.74	1.98	39.14
15.12	10.51	1.68	2.09	19.45
5.51	7.40	1.33	1.74	59.70
15.54	9.85	1.74	1.99	25.75
12.84	9.08	2.05	1.97	18.58
15.98	10.26	1.52	1.98	10.70
11.83	4.87	1.67	2.16	12.72
13.19	10.62	1.81	1.86	10.97
16.43	8.64	1.68	1.77	24.27
20.60	8.83	1.93	1.86	7.64
10.30	7.65	1.61	1.81	36.78
13.56	8.99	1.36	1.96	10.27
13.56	8.03	2.09	2.10	6.42
15.12	6.99	1.72	2.18	27.42
14.71	7.51	1.42	1.86	28.29
21.36	10.78	2.30	2.17	5.45
9.47	7.51	1.78	1.96	19.63
17.87	10.86	1.67	2.05	6.85
14.31	9.65	1.55	1.88	27.50