

**JOÃO CARLOS MEDEIROS**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NA  
CORREÇÃO DA ACIDEZ DE UM CAMBISSOLO HÚMICO ÁLICO**

**LAGES, SC  
2008**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**JOÃO CARLOS MEDEIROS**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NA  
CORREÇÃO DA ACIDEZ DE UM CAMBISSOLO HÚMICO ÁLICO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Universidade do Estado de  
Santa Catarina, para obtenção do título de  
Mestre em Manejo do Solo.

**Orientador:** Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
**Co-orientador:** Dr. Álvaro Luiz Mafra

LAGES, SC  
2008

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Medeiros, João Carlos

Resíduo alcalino da Indústria de Papel e celulose na  
correção da acidez de um Cambissolo Húmico Álico / João  
Carlos Medeiros – Lages, 2008.

79 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências  
Agroveterinárias / UDESC.

1. Calagem. 2. Solos – Estrutura. 3. Plantas – Nutrientes  
. I. Título.

CDD – 631.821

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NA  
CORRECAO DA ACIDEZ DE UM CAMBISSOLO HÚMICO ÁLICO**

João Carlos Medeiros  
Engenheiro Agrônomo

Aprovado em: ...../...../.....

Homologado em: ...../...../.....

Banca Examinadora:

---

Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
Orientador – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Osmar Klauberg Filho  
Coordenador do Curso de Mestrado e  
Doutorado em Manejo do Solo e  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Ciências Agrárias – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Álvaro Luiz Mafra  
Co-orientador – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Adil Knackfuss Vaz  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Tássio Drech Rech  
Pesquisador EPAGRI/Lages - SC

À Deus,  
À minha querida Jaqueline e minha princesinha  
Giulia.  
À minha família e amigos, que estiveram ao  
meu lado nesse tempo.

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus que é o criador de toda ciência e sabedoria e que, mesmo em sua glória, me ajudou a chegar até aqui.

À UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Ao Dr. Jackson Adriano Albuquerque pela atenção, orientação e incentivo na elaboração desse trabalho.

Ao Dr. Álvaro Luiz Mafra não apenas pela sua orientação, mas também por toda a liberdade dada, pela sua amizade e por sempre contagiar a todos com sua eterna atenção e disposição em contribuir na formação de seus orientados.

À minha querida família pelo apoio e paciência pelos bons e maus momentos que passamos juntos.

A todos os colegas de mestrado e professores do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela amizade e convívio durante o curso.

Aos bolsistas e estagiários do laboratório de física e manejo do solo: Thiago Philippi, Felipe Batistella, Patrícia Pértile, Jacson Marcelo Marangoni, Josué Grah, Laís Roani e Ricardo Pereira.

À minha querida mãe Áurea, ao meu pai Albary e aos meus irmãos, sem os quais a minha vida não teria o mesmo sentido.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a construção desta dissertação e que aqui não estão citados, e que nunca serão esquecidos.

## RESUMO

A indústria de papel e celulose gera resíduos alcalinos que devem ser caracterizados para avaliar a viabilidade técnica de uso em solos agrícolas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de resíduo alcalino (Res) num Cambissolo Húmico. Foram conduzidos dois experimentos. No experimento I avaliou-se o efeito da aplicação de doses crescentes de (Res) e calcário (Cal) incorporados ao solo em casa de vegetação. Os tratamentos foram doses de calcário (Cal) correspondente a 0,5 e 1 SMP e de (Res) correspondente a 0,25, 0,5 e 1 SMP para elevar o pH do solo à 6,0. O experimento II foi semelhante ao I, só que aplicado na superfície de um campo pastejado onde o objetivo foi elevar o pH da camada de 0 a 0,10 m à 6,0. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,15 m, para análises químicas e físicas do solo. Em 2006 foram cultivadas as culturas de trigo e feijão. Nos dois experimentos foram determinados os atributos químicos e físicos do solo, produção de massa seca e a composição química das plantas. A aplicação do resíduo alcalino aumentou os valores de pH, o teor e saturação por bases trocáveis, a capacidade de troca catiônica e a relação Ca/Mg e reduziu os teores e saturação por Al. A incorporação de resíduo reduziu o grau de flocculação, mas não modificou a distribuição do tamanho de poros. A produção de massa seca e os teores de nutrientes nas plantas foram semelhantes entre os tratamentos que receberam calcário ou resíduo. A maior produção de massa seca foi obtida na maior dose do resíduo.

**PALAVRAS CHAVE:** Calagem; estrutura do solo; nutrientes.

## **ABSTRACT**

Paper and cellulose industry generates alkaline residues that have to be characterized to evaluate the technical feasibility of their use in agricultural soils. The objectives of this study were evaluate the effects of increasing rates of alkaline residues (Res) on a Humic Cambissol. Two experiments were carried out: the experiment I, evaluated the effects of increasing rates of residue and lime incorporated into the soil in green house conditions. The treatments were rates of lime (Cal) corresponding to 0.5 and 1 SMP and of residue corresponding to 0.2, 0.5 and 1 SMP to increase pH in the layer of 0 to 0.10 m upto 6. The experiment II was similar to the former I with lime and residues applied on the surface of a native grassland in order to increase pH in the layer of 0 to 0.10 m upto 6. Soil samples were collected from the layers of 0 to 0.05; 0.05 to 0.10 and 0.10 to 0.15 m for soil chemical and physical analysis. In 2006 were cultivated wheat and beans. Soil chemical and physical attributes, dry matter and nutrient contents in plants were determined in these two experiments. The use of alkaline residues increased soil pH, content and saturation of exchangeable bases, cationic exchange capacity and the Ca/Mg ratio and reduced Al saturation. The incorporation of residues reduced the degree of flocculation, but no changes were observed in the pore size distribution. The dry matter production and nutrient contents in the plants were similar in the treatments with lime and residues. The highest dry matter production was obtained in the highest residue rate.

**KEY WORDS:** Liming, soil structure, nutrients.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição química, granulométrica e mineralógica do solo, da camada de 0 a 0,2 m de profundidade, em Lages, SC. ....23
- Tabela 2.** Análise química\* do resíduo alcalino da indústria de papel e celulose. ....24
- Tabela 3.** Teores de sódio, soma de bases e hidrogênio mais alumínio de um Cambissolo Húmico submetido a doses de calcário e resíduo alcalino, em casa de vegetação, no município de Lages, SC. ....38

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos. Adaptado de Pöykiö et al. (2006).....13
- Figura 2.** Precipitação pluviométrica mensal no período de abril/2006 a março/2007. Lages-SC. ....26
- Figura 3.** Teores de cálcio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....32
- Figura 4.** Teores de magnésio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....32
- Figura 5.** Relação Ca/Mg do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....33
- Figura 6.** CTC<sub>efetiva</sub> do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade). ....34
- Figura 7.** pH, do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade). ....34
- Figura 8.** Teor de Al<sup>+3</sup> do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade). ....35
- Figura 9.** Saturação por bases do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente). ....35
- Figura 10.** Saturação por sódio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....36
- Figura 11.** Grau de floculação do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente). ....37

<b>Figura 12.</b> Diâmetro médio geométrico (DMG) do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	38
<b>Figura 13.</b> Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de trigo cultivadas no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em casa de vegetação, em Lages - SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	39
<b>Figura 14.</b> Produção de matéria seca de raiz de plantas de trigo cultivadas no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em casa de vegetação, em Lages. SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	40
<b>Figura 15.</b> Teores de cálcio e magnésio em plantas de trigo desenvolvidas em casa de vegetação no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	41
<b>Figura 16.</b> Teores de potássio e fósforo em plantas de trigo desenvolvidas em casa de no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (*, significativo a 5% de probabilidade).....	42
<b>Figura 17.</b> Valores de pH do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	44
<b>Figura 18.</b> Saturação por bases (V) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	45
<b>Figura 19.</b> Teores de cálcio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	46
<b>Figura 20.</b> Teores de magnésio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	47
<b>Figura 21.</b> Relação Ca/Mg do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....	48
<b>Figura 22.</b> Teores de sódio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	48
<b>Figura 23.</b> Saturação por sódio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	49
<b>Figura 24.</b> Teores de alumínio ( $Al^{+3}$ ) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade). .....	50
<b>Figura 25.</b> Saturação por alumínio (m) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade). .....	50
<b>Figura 26.</b> Capacidade de troca de cátions do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (** significativo a 1% de probabilidade). .....	51

<b>Figura 27.</b> Teores de fósforo (P), potássio (K) e carbono orgânico total (COT) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC.....	52
<b>Figura 28.</b> Porosidade total e macroporosidade do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade). .....	53
<b>Figura 29.</b> Densidade aparente do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	54
<b>Figura 30.</b> Diâmetro médio geométrico do solo Húmico submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade). .....	55
<b>Figura 31.</b> Grau de floculação do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	56
<b>Figura 32.</b> Matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de trigo no início do florescimento desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	57
<b>Figura 33.</b> Teores de cálcio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	58
<b>Figura 34.</b> Teores de magnésio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. ....	59
<b>Figura 35.</b> Teores de potássio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. ....	60
<b>Figura 36.</b> Teores de fósforo no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....	61
<b>Figura 37.</b> Produtividade da cultura do trigo em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	62
<b>Figura 38.</b> Teores de cálcio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em Lages – SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....	63
<b>Figura 39.</b> Teores de magnésio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC.....	64

- Figura 40.** Teores de fósforo nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....65
- Figura 41.** Teores de potássio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).....66
- Figura 42.** Produtividade da cultura do feijão cultivado num Solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\*\* significativo a 1% de probabilidade).....67

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	14
1.2 HIPÓTESES .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 Geral.....	15
1.3.2 Específicos.....	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 EXPERIMENTO I: RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E BIOMASSA DE TRIGO, EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	23
3.2 EXPERIMENTO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE TRIGO E FEIJÃO. ....	26
3.2.1 Localização do experimento.....	26
3.2.2 Implantação e condução do experimento.....	27
3.2.3 Avaliações .....	28
3.2.4 Análise dos resultados.....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
4.1 EXPERIMENTO I: RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE TRIGO, EM CASA DE VEGETAÇÃO. ....	31

4.1.1 Atributos químicos e físicos do solo.....	31
4.1.2 Produção de matéria seca e nutrientes do tecido vegetal das plantas de trigo .....	39
4.2 EXPERIMENTO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE TRIGO E FEIJÃO .....	43
4.2.1 Atributos químicos do solo .....	43
4.2.2 Atributos físicos do solo.....	53
4.2.3 Desenvolvimento da cultura do trigo.....	56
4.2.4 Desenvolvimento da cultura do feijão .....	62
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

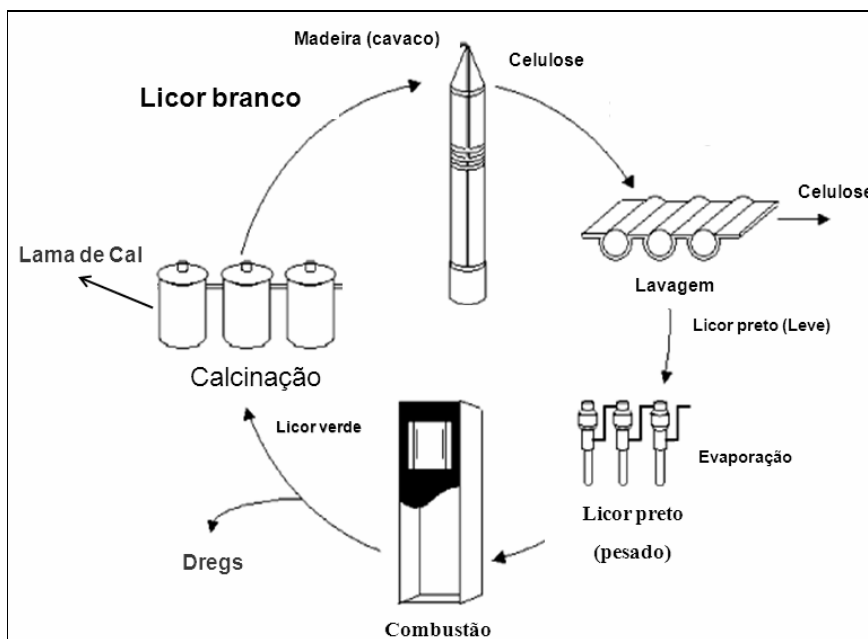
O setor de papel e celulose no Brasil produz 10,1 milhões de toneladas de celulose e 8,6 milhões de toneladas de papel ao ano, cuja participação no PIB é de 1,4 %. No ranking mundial, o Brasil é o 7º maior produtor de celulose sendo líder na produção de celulose de fibra curta e o 11º na produção de papel (BRACELPA, 2007).

A indústria de papel e celulose é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos sólidos, efluentes hídricos e emissões gasosas lançados no meio ambiente (FLORES et al., 1998). Segundo Bellote et al. (1998) produtos da indústria de celulose originados ao longo do processo de produção como a casca, o resíduo, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa são genericamente classificados como resíduos. Estes mesmos autores relatam que cerca de 48 toneladas de resíduos são gerados para cada 100 toneladas de celulose produzida. No entanto, a maioria desses resíduos é composta de biomassa, que é reutilizada nos fornos como combustíveis para queima.

Para converter madeira em polpa celulósica, deve haver a separação das fibras da madeira, ou seja, remover a lignina. Para isso, existem processos sendo o principal o químico, normalmente chamado de processo "KRAFT". A digestão da madeira é realizada através da combinação de alta temperatura ( $170^{\circ}\text{C}$ ) e pressão ( $8\text{ kg cm}^{-2}$ ), numa mistura aquosa de soda cáustica e sulfeto de sódio (licor branco) como agentes químicos. Esse processo dissolve a lignina, hemicelulose e extrativos com exceção das fibras de celulose, e a solubilização do material orgânico origina um licor preto, que contém os elementos químicos usados na digestão mais os resíduos orgânicos. Para a recuperação dos reagentes químicos, o licor preto é transformado em licor verde e finalmente em licor branco, através de evaporadores e filtros



que concentram os resíduos sólidos. Após a concentração dos sólidos, adiciona-se sulfato de sódio ao licor preto para repor as perdas de sódio e enxofre e, posteriormente, o licor preto é submetido à queima em caldeira de recuperação. O fundido é dissolvido em água, formando o licor verde, que é uma solução aquosa de carbonato e sulfeto de sódio. A conversão de carbonato de sódio (licor verde) em hidróxido de sódio (licor branco) é obtida através da adição de óxido de cálcio, reação conhecida como caustificação. Nesse processo, o óxido reage com água, formando hidróxido de cálcio e a seguir com o carbonato de sódio, gerando carbonato de cálcio e hidróxido de sódio. O processo de transformação do licor verde em licor branco gera resíduos denominados lama de cal e Grits (Figura 1).



**Figura 1** Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos. Adaptado de Pöykyö et al. (2006).

A maioria destes resíduos é depositada em lixões a céu aberto, nas proximidades das indústrias e ocasiona problemas econômicos e ambientais (ZAMBRANO et al., 2003). Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) classifica, em função do grau de periculosidade, os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

A ABNT por meio da NBR 10004:2004, atribui três classes aos resíduos industriais:

**Resíduos classe I – Perigosos:** são aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e, ou patogenicidade.

**Resíduos classe II – não perigosos:**

Resíduos classe II A – não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes.

Os resíduos classe II A podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B - Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:1987 e submetidos a um contato estático ou dinâmico com a água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme o teste de solubilização, ABNT NBR 10006:1987, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água estabelecidos pela ABNT, excetuando-se os padrões de aspectos, cor, turbidez e sabor (ABNT, 2004).

Segundo esta legislação, os resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose se enquadram na classe II A, o que de certa forma abre uma lacuna para a aplicação destes ao solo, o que pode ser uma alternativa viável, entretanto, necessita de estudos para caracterizar os diversos resíduos, definir a viabilidade e as quantidades de aplicação.

## 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Para reduzir a contaminação do ambiente com resíduos alcalinos da indústria de celulose, uma alternativa de uso envolve sua utilização em áreas agrícolas. Essa mudança no destino dos resíduos depende de uma nova tecnologia, denominada de "tecnologia limpa". As principais vantagens da reciclagem ou reutilização são a economia de matéria-prima, água, energia e redução da poluição ambiental.

Em estudos preliminares observou-se que tais resíduos podem ser utilizados em áreas agrícolas, mas apresentam restrições, portanto, estudos mais aprofundados são necessários, bem como o constante monitoramento nas mudanças ocasionadas nas propriedades físicas e químicas do solo e no desenvolvimento das culturas.

Os problemas potenciais do uso agrícola são decorrentes, principalmente, da elevada concentração de  $\text{Na}^+$  e da elevada relação  $\text{Ca/Mg}$  do resíduo. O primeiro causa a dispersão do solo com prejuízos à sua estrutura e o segundo pode ocasionar distúrbios fisiológicos às plantas.

## 1.2 HIPÓTESES

A utilização de resíduo alcalino da indústria de papel e celulose no solo reduz a estabilidade dos agregados e dispersa a argila, devido à elevação do pH e da percentagem de sódio no complexo de troca do solo. No entanto, em doses adequadas, pode ser uma alternativa viável para reduzir a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo e melhorar o desenvolvimento das culturas, destinando adequadamente os resíduos industriais.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Geral

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o uso de resíduo alcalino da indústria de papel e celulose como corretivo da acidez de um Cambissolo Húmico Álico, inicialmente como campo pastejado. Avaliar o desenvolvimento de plantas de lavoura, após sua aplicação ao solo, evitar desta forma a concentração em lixões ou aterros sanitários.

### 1.3.2 Específicos

- ✓ Avaliar as propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico submetido à aplicação de doses crescentes de resíduo alcalino, no campo aplicado em superfície e em casa de vegetação incorporado ao solo;
- ✓ Avaliar a produção de grãos e os demais componentes do desenvolvimento das culturas anuais após a correção da acidez com resíduo alcalino.
- ✓ Testar se o aumento da relação Ca/Mg, resultantes da aplicação de doses elevadas do resíduos, limita o desenvolvimento das plantas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose (Lama de cal, Dregs, Grits, etc.), têm a capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo e podem ser uma alternativa ao uso de calcário, uma vez que disponibilizam  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e conter em sua composição corretivos da acidez como  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaOH}$ ,  $\text{SiCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , além de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  (Carvalho-Pupatto et al., 2004; Ramos et al., 2006).

Por outro lado, tem-se ampliação das fronteiras agrícolas, com áreas de campo pastejado incorporadas ao sistema produtivo, cujos solos são ácidos e necessitam de correção da acidez. Essas novas áreas podem ser utilizadas com plantio direto usando somente a calagem superficial como forma de correção da acidez (KAMINSKI et al., 2005). A calagem superficial melhora o ambiente radicular, ressalvadas as situações onde há impedimentos físicos por compactação ou selamento de poros. Já a calagem incorporada pelo revolvimento do solo causa alterações nos atributos químicos em profundidade, especialmente em solos menos argilosos e com menor acidez potencial (CAIRES et al., 1998; AMARAL, et al., 2001; GATIBONI et al., 2003). Caires et al. (1998) detectaram diminuição do Al trocável, aumento nos teores de Ca, Mg e no pH do solo até 10 cm de profundidade, aos 12 meses após a aplicação e até 20 cm após 58 meses da aplicação, embora a neutralização do Al trocável tenha ocorrido apenas na camada de 0 a 5 cm. Similarmente, esse comportamento ocorreu nos solos do Planalto do Rio Grande do Sul, onde a neutralização total do Al trocável ficou limitada à camada de 0 a 5 cm, mesmo com doses superiores a  $\frac{1}{2}$  da recomendação, aos 34 e 42 meses após a aplicação (POTTKER & BEN, 1998; PETRERE & ANGHINONI, 2001; MOREIRA et al., 2001).

Em solos com pH baixo e com altos teores de matéria orgânica, que é o caso de alguns solos da região do Planalto Catarinense, há necessidade de doses elevadas de corretivos, (ERNANI et al., 1986). Nesse contexto, o uso de resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose pode ser uma alternativa para correção da acidez do solo e redução do impacto ambiental causado pelo seu armazenamento em lixões e aterros sanitários.

Em situações que o calcário é totalmente substituído pelo resíduo alcalino da indústria de papel e celulose, a quantidade de sódio adicionada ao solo e a relação molar entre cálcio e magnésio (Ca/Mg), tornam-se os fatores limitantes ao uso destes produtos. Algumas conseqüências podem ocorrer como: dispersão da argila, diminuição da estabilidade dos agregados e desbalanceamento dos nutrientes essenciais às plantas (ALBUQUERQUE et al., 2002), podendo desta forma, comprometer algumas características físicas e químicas do solo, assim como o desenvolvimento normal das plantas.

Para identificar a potencialidade desses resíduos no uso agrícola e suas possíveis limitações, deve ser determinada a composição química do resíduo e do solo, da mineralogia e textura do solo (REICHERT & NORTON, 1996; ALBUQUERQUE et al., 2000). Portanto, vários trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de se definir a viabilidade da aplicação destes resíduos no solo, observando-se principalmente, os teores de sódio e metais pesados na composição química do resíduo, assim como a relação Ca/Mg, pois em situações de culturas exigentes há necessidade da mistura de corretivos com teores de Mg mais altos (calcários dolomíticos), para evitar desequilíbrio nutricional as plantas (SUZUKI et al., 1991).

Os resíduos da indústria de papel e celulose variam sua composição química e quantidade segundo o processo utilizado para a extração da celulose e produção do papel (NOLASCO et al., 2000). Waldemar & Herrera (1986) determinaram a composição, porcentagem em base seca, de Dregs proveniente do Rio Grande do Sul e encontraram: 36 % de óxido de cálcio, 21 % de compostos de carbono, 3,6 % de óxido de magnésio, 1,6 % de

sulfito, 4,7 % de sódio, 0,48 % de ferro, 0,48 % de alumínio, 0,58 % de manganês e baixos teores de cobre, arsênio, níquel, zinco, titânio, chumbo, cádmio e antimônio. Albuquerque et al. (2002) determinaram os cátions presentes na cinza após queima de Dregs proveniente de Santa Catarina encontraram:  $10 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de potássio;  $171 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de sódio;  $512 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de cálcio;  $120 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de magnésio. Diversos valores da relação cálcio/magnésio do Dregs já foram reportados por diferentes pesquisadores:  $\text{Ca/Mg} = 9,9$  (WALDEMAR & HERRERA, 1986);  $\text{Ca/Mg} = 4,3$  (ALBUQUERQUE et al., 2002);  $\text{Ca/Mg} = 35$  (ALMEIDA et al., 2007). Conforme tais estudos, existe grande variabilidade na composição química dos resíduos, especialmente com baixos teores de Mg. O uso de corretivos da acidez com teores de magnésio muito baixos pode restringir os efeitos benéficos esperados com a correção da acidez por provocar desbalanço nutricional na planta (ROSOLEM et al., 1984).

A inter-relação entre esses nutrientes nos vegetais está relacionada à semelhança de algumas propriedades químicas como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção, pelo fluxo no solo e posterior absorção pelas raízes. Esta competição pode gerar antagonismo entre alguns elementos químicos, como acontece com os íons  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  (ORLANDO FILHO et al., 1996). Num estudo realizado em casa de vegetação, num Neossolo Quartzarênico com diferentes relações  $\text{Ca/Mg}$ , observou-se que as relações mais altas e que conseqüentemente receberam doses mais elevadas de carbonato de cálcio, aumentaram o teor de Ca e diminuíram o de Mg e P no tecido vegetal do milho, possivelmente em razão do efeito sinérgico entre eles (MUNOZ HERNANDEZ & SILVEIRA 1998).

Em um Latossolo Distroférico de Cambé, PR, a produtividade da cultura da soja foi maior numa condição de equilíbrio entre as bases trocáveis no complexo de troca (WATANABE et al., 2005). Para a cultura do milho em solos do cerrado, os melhores rendimentos foram obtidos com uma relação  $\text{Ca/Mg}$  de 3:1 (SILVA, 1980). Por outro lado,

em solos dos Estados Unidos verificou-se que as relações entre cátions como Ca, Mg e K, normalmente encontradas naquelas condições, não influenciaram aspectos químicos, físicos e biológicos ligados à fertilidade do solo (KOPITTKE & MENZIER, 2007)

Apesar da grande variabilidade na composição química dos resíduos alcalinos, assim como os riscos à estrutura física e composição química dos solos, muitos agricultores, nas proximidades das indústrias de papel e celulose, vêm utilizando estes produtos como corretivo da acidez, muitas vezes sem acompanhamento técnico e de forma indiscriminada o que reforça a necessidade de estudos relacionados.

Almeida et al. (2007) afirmam com base na composição química de uma amostra de resíduo alcalino da indústria de celulose, que o produto pode ser utilizado como corretivo da acidez dos solos agrícolas e também como fonte de cálcio e de alguns micronutrientes às plantas, sem riscos de contaminações a curto e médio prazo. Nolasco et al. (2000) afirmam que uma mistura de “dregs e grits” pode ser usada como corretivo da acidez do solo e como suplemento de nutrientes para as plantas, pois contém em sua composição elevados teores de cálcio.

Albuquerque et al. (2002) concluíram que a aplicação em superfície de resíduos alcalinos da indústria de celulose aumentou o pH e os teores de sódio, potássio e cálcio e reduziu os teores de alumínio na camada superficial de um Latossolo Bruno e de um Cambissolo Húmico. Resultados semelhantes foram observados por Santana et al. (2006), ao avaliarem o mesmo resíduo comparado com o calcário num Cambissolo Húmico na camada superficial de um campo pastejado no município de Lages, SC.

O uso de Dregs e Grits, em diferentes tipos de solos ácidos, melhoram as características físicas e químicas, quando aplicados em colunas de lixiviação em laboratório (ZAMBRANO et al., 2003). Feagley et al. (1994) avaliaram os mesmos resíduos e constataram redução nos teores de alumínio e aumento na produção de grama-bermuda num



solo de mineração. A aplicação de Dregs e Grits na dose correspondente a 0,5 SMP elevou a produção de massa seca de milho e aveia preta em um Latossolo Vermelho distrófico e dois Argissolos Vermelhos distróficos, principalmente pelo aumento do pH e do cálcio trocável (BISSANI et al., 2003). Nesse mesmo experimento Pajara et al. (2003) não detectaram acúmulo de metais no solo e tecido das plantas, pois os resíduos avaliados apresentaram teores relativamente baixos de metais em sua composição. Ao contrário do que foi observado por Amaral Sobrinho et al. (1997) quando avaliaram resíduos da indústria siderúrgica, detectaram teores elevados de zinco, manganês, níquel e chumbo com riscos de contaminação ambiental.

Deve-se salientar que o lodo orgânico oriundo da estação de tratamentos de efluentes de uma indústria de celulose gerou, ao final de 275 dias, substâncias húmicas com composição química e grupos funcionais semelhante às substâncias húmicas de solos (DICK et al., 1997). Portanto, alguns resíduos apresentam viabilidade técnica de uso em solos enquanto outros não apresentam.

Restrições ao uso dos resíduos podem estar relacionadas com alterações na estrutura do solo. Segundo Charlet & Sposito (1989) e Ben-Hur et al. (1992) os cátions bivalentes reduzem a dispersão, em contrapartida, a saturação do solo com sódio aumenta a dispersão da argila (Miller & Baharuddin, 1986; Shainberg & Singer, 1988) principalmente, quando a concentração do eletrólito é baixa (AGASSI et al., 1981). Tais modificações eletroquímicas interferem nas forças de atração e/ou repulsão, que são importantes nos processos de agregação do solo e formação do selamento superficial (AGASSI et al., 1981; MILLER et al., 1990). O encrostamento superficial é formado pelo preenchimento dos poros da camada superior do solo por finas partículas oriundas da dispersão de agregados (MCINTYRE, 1958; REICHERT & NORTON, 1995). Além da formação do selo superficial, a dispersão da argila eleva a viscosidade da água e diminui a condutividade hidráulica do solo (KEREN et al.,

1988). Todos esses processos reduzem a infiltração de água no solo (Agassi et al., 1981) e aumentam a erosão hídrica (REICHERT & NORTON, 1994).

Após adicionarem resíduos industriais ricos em sulfatos e óxidos de cálcio, em solos de carga variável Reichert & Norton (1996) observaram aumento na infiltração e redução na erosão em alguns solos. Por outro lado, o uso de resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose reduziu a toxidez por alumínio em dois solos de Santa Catarina cultivados com milho, mas dispersou a argila de um Cambissolo Húmico (RENGEL et al., 2001). Nesse estudo os autores observaram que as doses de Dregs devem ser mais bem avaliadas para evitar degradação da estrutura do solo e prejuízos na germinação das culturas, principalmente quando aplicado na superfície.

Em outro estudo, Jordan e Rodriguez (2004) testaram em casa de vegetação, a viabilidade do uso alternativo de resíduos sólidos da indústria de papel e celulose no desenvolvimento inicial de plantas de pinus, eucalipto e arroz e verificaram que a resposta variava de acordo com a espécie de planta, tipo e composição do resíduo.

Por outro lado, a reaplicação do resíduo, é atualmente a maior preocupação dos técnicos, pois, é uma prática comum entre os agricultores das regiões próximas das indústrias geradoras. Há relatos de perda significativa de produtividade em áreas onde a reaplicação do resíduo alcalino foi utilizada.

Com base no exposto, desenvolveram-se dois experimentos, objetivando avaliar o uso de resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose e as alterações causadas nos atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico Álico e na produção de massa seca e na nutrição de culturas agrícolas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 EXPERIMENTO I: RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E BIOMASSA DE TRIGO, EM CASA DE VEGETAÇÃO.

O experimento foi conduzido em Lages – SC, em casa de vegetação climatizada no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV- UDESC nos meses de setembro e outubro de 2006.

O solo é um Cambissolo Húmico Álico, franco argilo-siltoso, derivado de rochas sedimentares, siltito da formação Rio do Rastro, coletado no local sob campo pastejado na camada superficial de 0 a 0,2 m de profundidade e após foi destorroado, peneirado em malha de 8 mm e acondicionado em vasos de PVC com capacidade de 4 litros. Seus principais atributos estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** Composição química, granulométrica e mineralógica do solo, da camada de 0 a 0,2 m de profundidade, em Lages, SC.

Profundidade(m)	pH(água)	Ca <sup>(1)</sup>	Mg <sup>(1)</sup>	Al <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	K <sup>(2)</sup>	MO	Areia	Silte	Argila	Mineralogia
		--- cmolc dm <sup>-3</sup> ---			-- mg dm <sup>-3</sup> --		%	---- g dm <sup>-3</sup> ----			(Predominante)
0 - 0,05	5,1	1,7	0,6	3,2	6,1	25,5	5,5	352	301	342	Caulinita
0,05 - 0,1	5,0	0,3	0,1	5,6	4,7	12,5	4,2	353	277	370	Caulinita
0,1 - 0,15	4,8	0,2	0,1	6,7	1,3	6,3	3,8	355	271	379	Caulinita

**Legenda:** pH(água): pH do solo determinado em água; MO: Matéria orgânica. Metodologias de análises descritas por Tedesco et al. (1995). <sup>(1)</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(2)</sup> Extrator Mehlich 1.

Os corretivos foram incorporados ao solo 30 dias antes da semeadura do trigo (*Triticum aestivum*). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 repetições, contendo os seguintes tratamentos: Sem corretivo (**Test**); Resíduo alcalino nas doses de 25 % (**Res 25**), 50% (**Res 50**) e 100% (**Res 100**) da quantidade necessária para

e elevar o pH do solo a 6,0; Calcário nas doses de 50 % (**Cal 50**) e 100% (**Cal 100**) da quantidade necessária para elevar o pH do solo a 6,0.

A correção da acidez do solo foi realizada com dose de resíduo alcalino de 16 Mg ha<sup>-1</sup> e de calcário de 15,5 Mg ha<sup>-1</sup> determinadas a partir do valor inicial do pH SMP (4,6) para elevar o pH do solo a 6,0. Os corretivos utilizados foram calcário filler com PRNT 90 % e o resíduo sólido alcalino da indústria de celulose com PRNT de 86 %. O PRNT dos corretivos foi determinado conforme metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). O resíduo tem composição descrita na Tabela 2.

**Tabela 2.** Análise química\* do resíduo alcalino da indústria de papel e celulose.

Elementos	(Unidade)	Teor	Metodologia usada	Limite de detecção
pH		10,9	Potenciometria	
Nitrogênio (TKN) -	(%)	0,02	Kjeldahl	0,01 %
Fósforo -	(%)	0,08	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Potássio -	(%)	0,23	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cálcio -	(%)	30,0	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Magnésio -	(%)	1,0	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Enxofre -	(%)	0,71	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cobre -	(mg kg <sup>-1</sup> )	61,0	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,6 mg kg <sup>-1</sup>
Zinco -	(mg kg <sup>-1</sup> )	189	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg <sup>-1</sup>
Ferro -	(%)	0,29	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04 %
Manganês -	(%)	0,40	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04 %
Sódio -	(%)	3,4	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cádmio -	(mg kg <sup>-1</sup> )	0,9	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,2 mg kg <sup>-1</sup>
Cromo -	(mg kg <sup>-1</sup> )	284	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg <sup>-1</sup>
Níquel -	(mg kg <sup>-1</sup> )	99,0	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg <sup>-1</sup>
Chumbo -	(mg kg <sup>-1</sup> )	3,0	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg <sup>-1</sup>
Boro -	(mg kg <sup>-1</sup> )	6,0	digestão seca/espec. abs. mol.	1 mg kg <sup>-1</sup>
Umidade	(%)	18	gravimetria	

\*Análise realizada no laboratório de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS em 2006.

A adubação incorporada ao solo antes da semeadura consistiu de 100 mg kg<sup>-1</sup> de K, na forma de cloreto de potássio e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P na forma de super fosfato triplo. Como

adubação de cobertura utilizou-se  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  de N na forma de uréia, aplicada 15 dias após a germinação.

Transcorridos 30 dias da aplicação dos corretivos e do adubo, foi semeado em cada vaso, dez sementes de trigo da cultivar BRS louro. O desbaste foi realizado 12 dias após a germinação, deixando sete plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida em torno de 80 % da capacidade de campo, com determinações diárias da massa dos vasos. Aos 45 dias após a semeadura, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando parte aérea (folhas + colmos + estruturas reprodutiva em início de desenvolvimento) de raízes.

O material vegetal foi seco em estufa à  $65^\circ\text{C}$  até massa constante, determinando-se a produção de matéria seca da parte aérea. Após, moeu-se o material em moinho de facas, com posterior digestão sulfúrica para determinação de Ca, Mg, K e P.

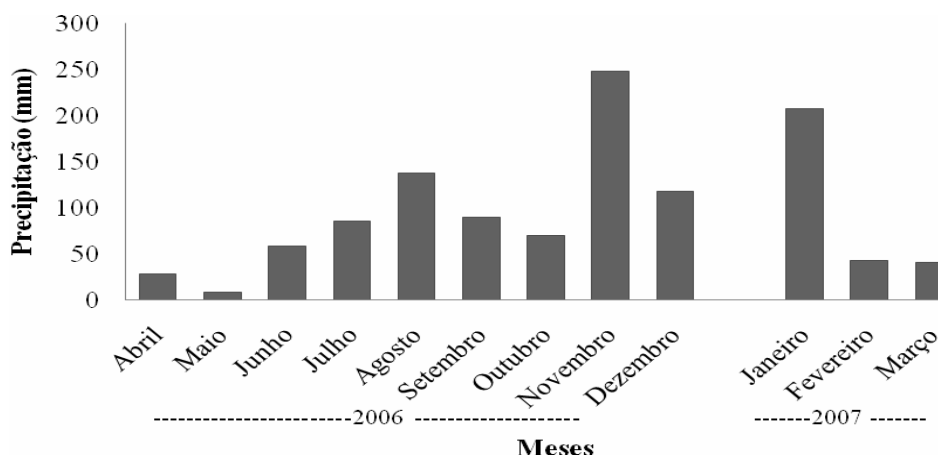
No solo foram analisados os teores de Ca, Mg e Al. As metodologias utilizadas para determinações químicas e físicas foram descritas no experimento II.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro- Wilk, e a variância pelo teste F. As médias foram analisadas através de equações de regressão, contrastando-as e usando-se o polinômio significativo de maior grau, através do programa de análises estatísticas SAS (STATISTICAL ANALYSES SYSTEM, 2002).

### 3.2 EXPERIMENTO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE TRIGO E FEIJÃO.

#### 3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em Lages, SC, sob mesotérmico úmido com verão fresco, Cfb e chuvas bem distribuídas no ano, situando-se entre 1200 a 1900 mm anuais (EMBRAPA, 2004). As temperaturas apresentam média variando entre 16°C e 20°C e o mês mais frio é julho com possibilidade de ocorrência de temperaturas negativas. A precipitação pluviométrica no período de abril de 2006 a março de 2007, período de desenvolvimento das culturas de inverno e verão estão na Figura 2.



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica mensal no período de abril/2006 a março/2007. Lages-SC.

O solo é o mesmo do experimento I, um Cambissolo Húmico Álico, com declividade média em torno de 6 %, espessuras médias do horizonte A de 0,60 m e do horizonte B de 0,40 m. Foi utilizado anteriormente com pastagens nativas com predomínio de gramíneas em um sistema de produção de gado de leite. Seus principais atributos estão descritos na Tabela 1. Devido à diferença na espessura do Solum houve necessidade de utilizar delineamento em blocos.

### 3.2.2 Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado em junho de 2004, a área com campo pastejado por vacas leiteiras foi roçada e recebeu o corretivo da acidez (calcário filler e resíduo alcalino da indústria de papel e celulose), o qual foi aplicado na superfície para evitar a mobilização por implementos agrícolas e a conseqüente degradação da estrutura do solo.

O delineamento experimental utilizado foi blocos inteiramente casualizados com parcelas de dimensões de 8 x 8 m e quatro repetições. Os tratamentos aplicados na superfície do solo foram os seguintes: Sem corretivo (**Test**); Resíduo alcalino nas doses de 25 % (**Res 25**), 50% (**Res 50**) e 100% (**Res 100**) da quantidade necessária para elevar o pH do solo a 6,0; Calcário nas doses de 50 % (**Cal 50**) e 100% (**Cal 100**) da quantidade necessária para elevar o pH do solo a 6,0.

As doses foram determinadas a partir do valor inicial do pH do solo, o qual apresentava pH SMP de 4,3. A dose de resíduo alcalino e de calcário utilizada na correção do solo teve como objetivo elevar o pH da camada de 0 a 0,10m do solo à 6,0, a qual, conforme recomendação da CQFS-RS/SC (2004) totalizou 13 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo alcalino e 10,5 Mg ha<sup>-1</sup> de Calcário para dose 100 %, que foram divididas e aplicados na superfície do solo em duas épocas. A primeira aplicação foi em junho de 2004 e a segunda em junho de 2006. Após 90 dias da segunda aplicação dos corretivos, foram coletadas as amostras de solo nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, para análises químicas e físicas. O resíduo utilizado foi o mesmo do experimento I com composição descrita na Tabela 2.

De junho de 2004 a julho de 2006 a área experimental ficou com espécies nativas sendo pastejado periodicamente, em julho de 2006 a área foi dessecada para semear sob plantio direto a cultura de trigo e em dezembro a cultura do feijão.

A cultura do trigo, variedade BRS Louro, foi implantada quarenta e cinco dias após a segunda aplicação dos corretivos, numa densidade de 320 plantas m<sup>-2</sup>, e espaçamento de

0,25 m entre linhas. As sementes foram devidamente tratadas com fungicida de acordo com a recomendação da Reunião da comissão sul brasileira de pesquisa de trigo (2005).

A adubação foi realizada com base na análise de solo na camada de 0-0,2 m de profundidade conforme recomendação da CQFS-RS/SC (2004) resultando respectivamente nas doses de 20, 70 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O no momento da semeadura e mais 40 kg há<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Após a colheita do trigo foi implantada a cultura do feijão (15/12/2006), variedade IAPAR 81, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 plantas por metro linear. As sementes foram tratadas com fungicida e inseticida e inoculadas com bactérias fixadoras de N.

A adubação foi realizada com base na análise de solo da camada de 0-0,2 m de profundidade conforme recomendação (CQFS-RS/SC, 2004), resultando respectivamente nas doses de 20, 60 e 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O no momento da semeadura.

### 3.2.3 Avaliações

As amostras de solo com estrutura preservada e alterada para análises físicas e químicas foram coletadas em setembro de 2006, antes da implantação da cultura de verão, nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m.

As amostras de solo foram secas em estufa a 60 °C, destorroadas, moídas e passadas em peneira (2 mm), para determinação do pH em água, teores de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Al<sup>+3</sup> trocáveis, P extraível, carbono orgânico total (COT) e da acidez potencial (H+Al). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por TEDESCO et al., (1995). Na, K e P extraível pelo método (Mehlich-1) com solução ácida de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (solução PA), sendo o P quantificado com leitura da transmitância em colorímetro com comprimento de onda ajustado para 660 nm, e o Na e K foram quantificados por fotometria de chama. A acidez total (H+Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> em pH 7 e quantificada por titulometria de neutralização com



hidróxido de sódio;  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram extraídos com solução neutra de  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;  $\text{Al}^{+3}$  trocável por titulometria de neutralização com  $\text{NaOH}$ . As determinações de pH SMP foram feitas na relação 1:1 com leituras em potenciômetro (TEDESCO et al., 1995). Soma (SB) e saturação por bases (V), saturação por Al (m) e CTC  $\text{pH}_7$  foram calculados conforme EMBRAPA (1997).

A estabilidade de agregados foi determinada conforme metodologia descrita por Kemper & Chepil (1965) em sub amostras compreendidas entre 4,76 e 8,00 mm de diâmetro, sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG),

Os teores de argila (AT), silte e areia total foram determinados pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986) através da dispersão em água e  $\text{NaOH}$  1M. O teor de argila dispersa (AN) foi determinada através da dispersão do solo em água. Depois de obtidas as frações granulométricas, calculou-se o grau de floculação. A microporosidade do solo foi obtida pela utilização de mesa de tensão de areia, com sucção de 0,6 m, e a porosidade total (PT) calculada pela razão entre densidade do solo e densidade de partícula, que é a fração do volume total do solo ocupado por sólidos.

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada, com as amostras indeformadas, pelo método do anel volumétrico. As amostras foram secas, após todas as demais determinações terem sido realizadas, em estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante 48 horas. A densidade do solo foi determinada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume conhecido da amostra. A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Para as plantas de trigo, quando atingiram o estágio de emborrachamento, em cada parcela, nas cinco linhas centrais, foram coletadas aleatoriamente 20 plantas de trigo para determinação da massa seca de plantas e os teores de nutrientes nas folhas (Ca, Mg, K e P).

Ao término do ciclo do trigo (23/11/2006), coletaram-se em cada parcela uma área de  $4,5 \text{ m}^{-2}$  para determinação da produtividade de grãos.

Para a cultura do feijão, as plantas foram colhidas manualmente, e para a trilhagem foi utilizado um batedor elétrico. Foi medida a massa seca dos grãos expressa com umidade de 13 %. Os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas foram analisados através da metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

#### 3.2.4 Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro- Wilk e da variância pelo teste F. O fator quantitativo (dose) foi analisado através de equações de regressão, contrastando-as e usando-se o polinômio significativo de maior grau, através do programa de análises estatísticas SAS (STATISTICAL ANALYSES SYSTEM, 2002).

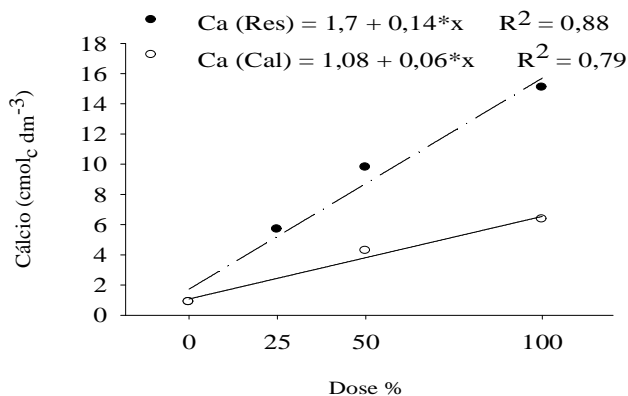
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPERIMENTO I: RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE TRIGO, EM CASA DE VEGETAÇÃO.

#### 4.1.1 Atributos químicos e físicos do solo

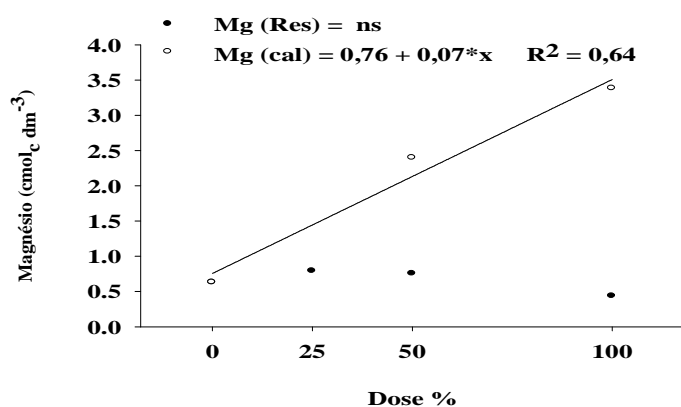
Com o aumento das doses do corretivo da acidez (resíduo alcalino e calcário), da mesma forma que no experimento a campo, houve aumento do pH do solo, dos teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ , CTC e também da saturação por bases e por  $\text{Na}^+$ , assim como redução nos teores e saturação por  $\text{Al}^{+3}$ . A diferença para o experimento de campo é que os fluxos laterais e verticais de água, e conseqüentemente de elementos químicos no perfil são minimizados pelo confinamento do solo nos vasos.

O teor de  $\text{Ca}^{+2}$  nos tratamentos sem correção do pH do solo (dose zero) foi de  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para  $6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na maior dose de calcário e para  $15,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na maior dose do resíduo alcalino (Figura 3). Segundo a CQFS-RS/SC (2004) estes teores são considerados elevados.



**Figura 3.** Teores de cálcio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

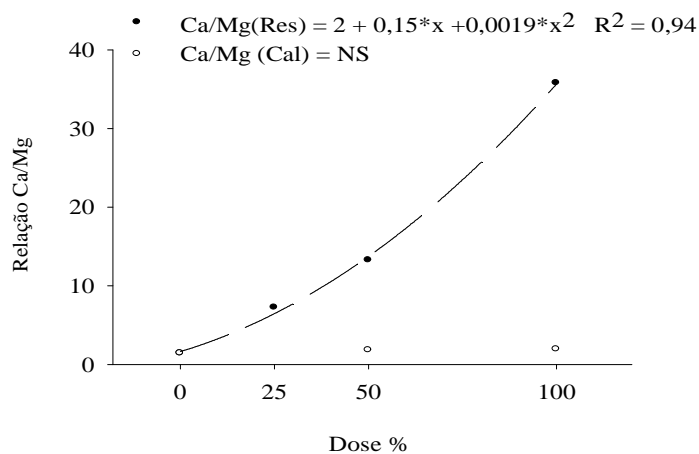
Já para o magnésio, as diferenças foram observadas somente para os tratamentos com calcário, enquanto que para o solo corrigido com o resíduo alcalino o teor desse elemento praticamente não foi alterado, ficando em torno de  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valores considerados baixos segundo a CQFS-RS/SC, (2004). Estas diferenças nos teores de cálcio e magnésio entre os tratamentos com calcário e com resíduo alcalino são explicadas pela composição química do resíduo (Tabela 2), que tem aproximadamente 30 % de cálcio e 1 % de magnésio, enquanto o calcário utilizado tem relação Ca/Mg de aproximadamente 2.



**Figura 4.** Teores de magnésio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

A relação Ca/Mg é neste estudo um dos fatores que mais preocupa, pois o resíduo é rico em cálcio e pobre em magnésio, podendo causar desta forma, desbalanço nutricional no solo e provável prejuízo ao desenvolvimento das plantas. A relação Ca/Mg variou de 1,4 no tratamento sem correção até 35 no tratamento com resíduo alcalino de maior dose (1SMP) (Figura 5). O Ca tem maior energia de ligação que o Mg pelos sítios de troca, assim, nas

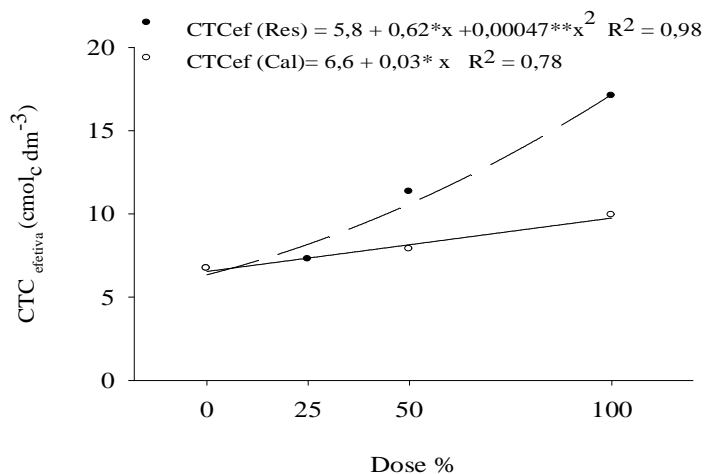
maiores doses de resíduo a quantidade de Ca é elevada e aumenta a lixiviação do Mg. O que explica a forma exponencial da equação da Figura 5.



**Figura 5.** Relação Ca/Mg do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

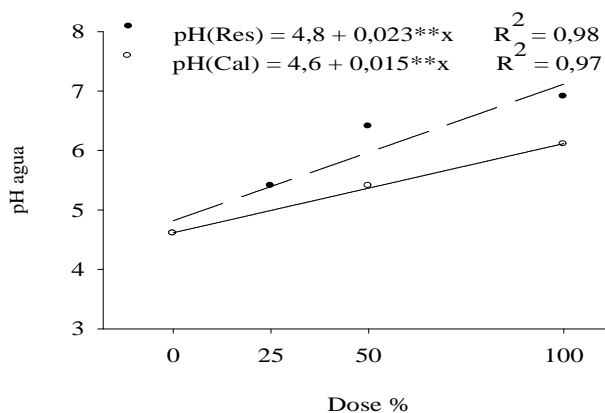
A relação ideal de Ca/Mg no complexo de troca é variável, mas com frequência é citada como uma relação favorável à absorção de nutrientes pelas plantas quando está em torno de 1,5 a 3,5 (PAULETTI 2004). Já Raij (2001) cita que esta relação pode ser de até 7, enquanto que a CQFS-RS/SC (2004) traz que para algumas culturas a relação pode chegar a 10 sem causar prejuízos para as plantas. Logo com a aplicação de resíduo alcalino em doses elevadas, a relação fica bem superior às citadas como adequadas e, neste sentido, a dose de corretivo a ser aplicada deverá ser controlada para evitar problemas nutricionais às plantas.

O pH aumentou de forma linear no solo para ambos os corretivos, mas com maior intensidade no resíduo. O aumento do pH com a aplicação do resíduo foi superior ao planejado, pois o método utilizado para estimar seu PRNT foi o mesmo utilizado para o calcário, o qual não foi adequado para o resíduo. A aplicação do resíduo elevou o pH do solo de 4,6 na testemunha para 6,9 no tratamento (Res100) e para 6,0 no (Cal100) (Figura 7).



**Figura 6.** CTC<sub>efetiva</sub> do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

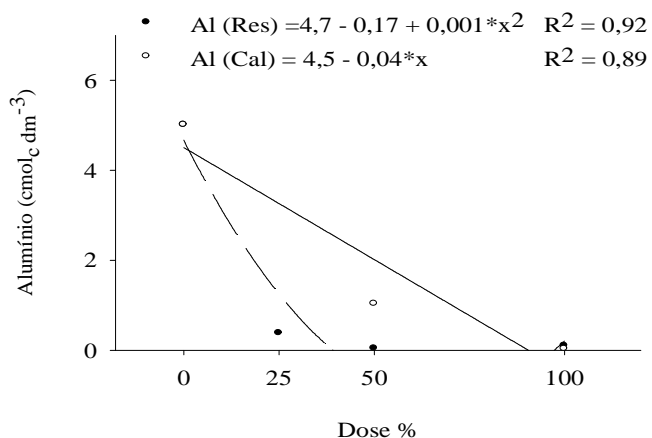
Com a correção do pH do solo, há um aumento na quantidade de cargas negativas do solo, de forma mais pronunciada no solo corrigido com resíduo, passando de 7 para próximo de 17 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 6) conferindo o que foi observado por SANTANA et al., (2006).



**Figura 7.** pH, do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

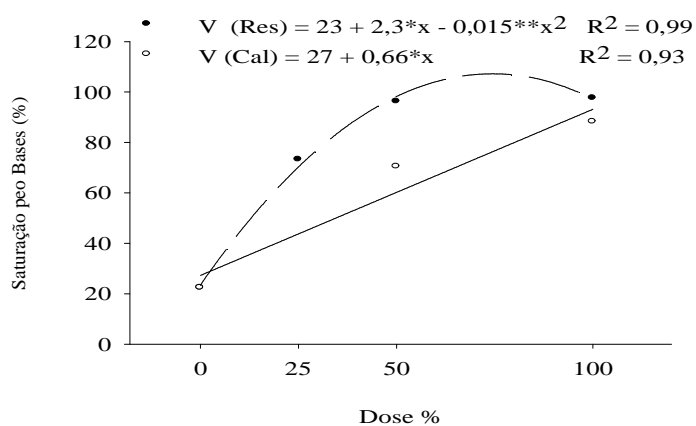
Com o aumento do pH o Al<sup>+3</sup> foi neutralizado. O teor inicial de Al<sup>+3</sup> que era de 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, com a aplicação de resíduo alcalino na dose equivalente a 50 % de CaCO<sub>3</sub>, reduziu para 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 8) e, conseqüentemente, reduziu a saturação por Al. Em

conseqüência a sua maior capacidade de correção do pH, O resíduo foi mais eficiente na neutralização do  $Al^{+3}$  trocável.



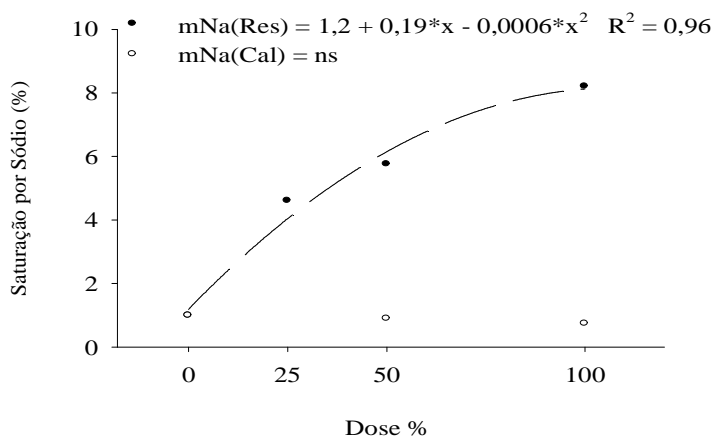
**Figura 8.** Teor de  $Al^{+3}$  do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

A saturação por bases aumentou acima de 65 % com a aplicação de resíduo na dose correspondente a 25 % da necessidade (Figura 9), o que segundo Rajj (1991) é considerado suficiente para o bom desenvolvimento das culturas.



**Figura 9.** Saturação por bases do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

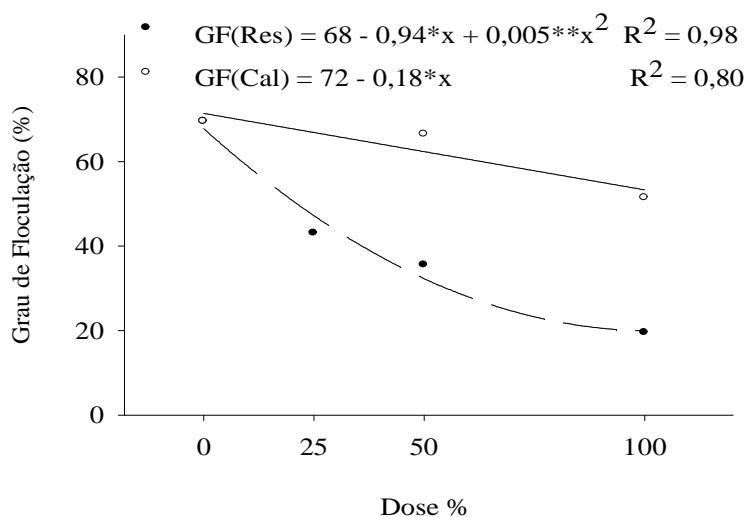
O aumento da saturação por sódio na CTC do solo foi significativo nos tratamentos que utilizaram resíduo alcalino como corretivo da acidez (Figura 10), alcançando valores acima de 5 %, que é o limite crítico para a dispersão do solo.



**Figura 10.** Saturação por sódio do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

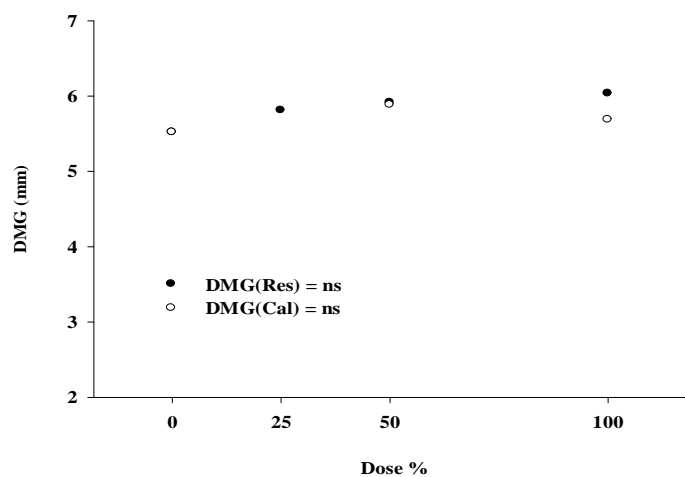
O grau de floculação diminuiu com o aumento das doses de corretivos. Para o calcário, esta redução foi linear e com menor intensidade, de 75 % para 55 % enquanto na maior dose de resíduo alcalino reduziu para 20 % (Figura 11). Esta redução pode estar associada à correção do pH do solo e redução do  $Al^{+3}$  que é trocado na CTC pelo  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ , que por terem maior raio hidratado dispersam a argila. Já para os tratamentos corrigidos com resíduo alcalino, a dispersão da argila se deu de forma mais acentuada do que com o calcário (Figura 11), sendo que neste caso, além dos efeitos discutidos acima, o teor e a saturação por sódio aumentaram o que causa maior dispersão da argila.





**Figura 11.** Grau de floculação do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages. SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

Os corretivos, apesar de reduzirem o grau de floculação não alteraram a estabilidade dos agregados, medida pelo diâmetro médio geométrico (Figura 12). Fato este que é explicado pelo efeito de agregação do sistema radicular das culturas que pode ter contribuído para impedir que os agregados sofressem desestruturação quando agitados em água. Além disso, os elementos químicos adicionados com os corretivos atuam, quando em concentrações elevadas, para reduzir a espessura da dupla camada elétrica além de formarem pontes de cátions entre as partículas do solo e atuarem no processo de agregação, conforme foi discutido por Munner & Oades (1989).



**Figura 12.** Diâmetro médio geométrico (DMG) do solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages, SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

**Tabela 3.** Teores de sódio, soma de bases e hidrogênio mais alumínio de um Cambissolo Húmico submetido a doses de calcário e resíduo alcalino, em casa de vegetação, no município de Lages, SC.

Trat	Na	SB	H+Al
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
Test	0,07	1,7	5,9
Res25	0,33	6,8	2,5
Res50	0,64	11,2	0,4
Res100	1,40	16,9	0,4
Cal50	0,07	6,8	2,9
Cal100	0,07	9,8	1,3

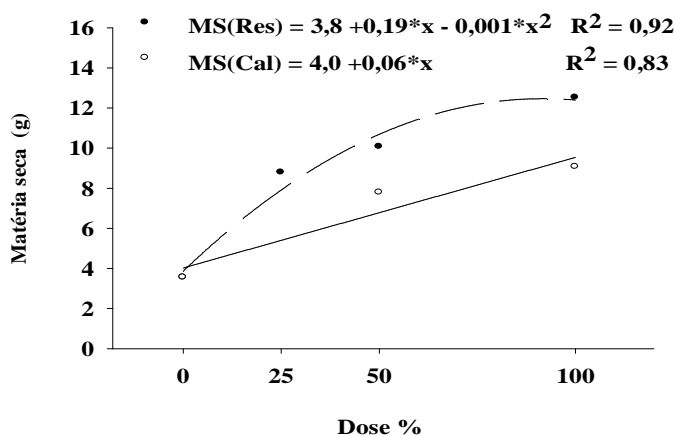
**Legenda:** Test = testemunha; Cal50 = calcário dose 50%; Cal100 = calcário dose 100% (1 SMP); Res25 = resíduo alcalino dose 25%; Res50 = resíduo alcalino dose 50% e; Res100 = resíduo alcalino dose 100% da necessidade de corretivo para elevar o pH a 6,0.

#### 4.1.2 Produção de matéria seca e nutrientes do tecido vegetal das plantas de trigo

##### 4.1.2.1 Matéria seca de parte aérea e das raízes

A produção de matéria seca da parte aérea aumentou de 3,5 g por vaso na testemunha para 12 g no Res100, e para 9 g no Cal100 (Figura 13). Melhora no desenvolvimento das plantas pela correção do pH do solo obtida com uso de resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose foi verificada por diversos autores (Rengel et al., 2001; Jordan et al., 2004; Arias et al., 2005; Lunardi Neto et al., 2006) sendo também observado com aplicação de calcário (Miyazawa et al., 1993; Cassol et al., 1995; Oliveira & Parras, 1996; Santos et al., 1997; Kaminski et al., 2000; Moreira et al., 2001). Avaliando quatro cultivares de trigo, Freitas et al. (1999) afirmaram que a produção de matéria seca da parte aérea foi o segundo componente que mais influenciou a produtividade de grãos.

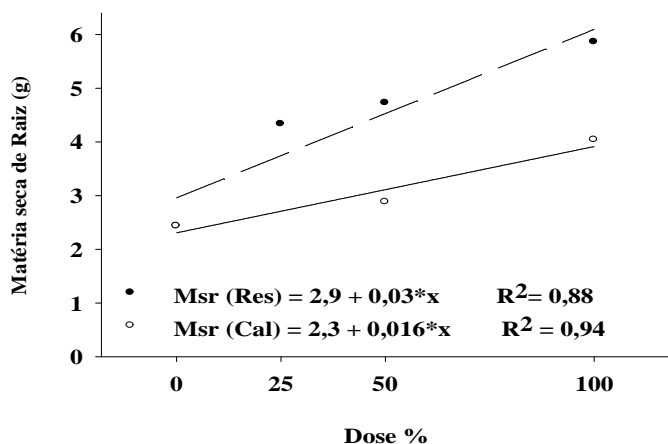
Através da análise dos efeitos do resíduo nos atributos químicos do solo e no crescimento do trigo constata-se seu potencial para uso com culturas agrícolas. No entanto, a redução do grau de floculação da argila deve ser considerada quando do uso deste tipo de resíduo.



**Figura 13.** Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de trigo cultivadas no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em casa de vegetação, em Lages - SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

As raízes das plantas de milho tiveram maior crescimento no tratamento Res25 que no Cal100, possivelmente pela maior eficiência na correção do pH, maior complexação do Al trocável, com reflexos positivos no desenvolvimento do sistema radicular e conseqüente maior exploração do solo e absorção de água e nutrientes.

A matéria seca das raízes foi de 2,4 g por vaso na testemunha e aumentou para 4 g no Cal100 e 5,9 g no Res100 (Figura 14). Este maior desenvolvimento no sistema radicular associado à calagem é explicado pela eliminação da ação tóxica do alumínio sobre as raízes, principalmente nas células meristemáticas e nas regiões de alongamento celular pois o alumínio é potencialmente prejudicial a um grande número de processos bioquímicos dos vegetais (MOSSOR-PIETRASZEWSKA 2001).

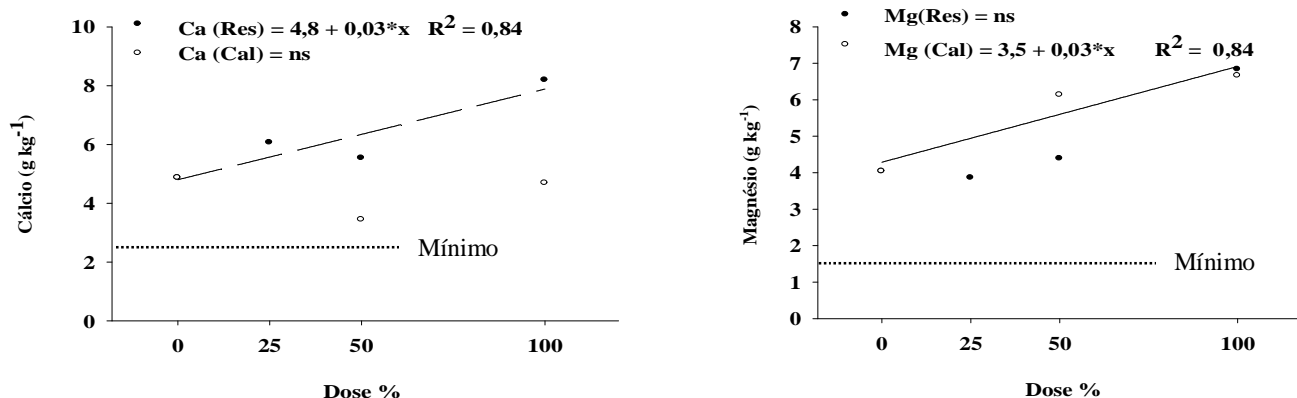


**Figura 14.** Produção de matéria seca de raiz de plantas de trigo cultivadas no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em casa de vegetação, em Lages, SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

As doses de resíduo alcalino utilizadas para corrigir o pH do solo elevaram de forma linear a concentração de Ca na parte aérea do trigo. A concentração do  $Ca^{+2}$  no tecido variou de 3,5 a 7  $g\ kg^{-1}$  (Figura 15), teores acima do considerado limitante para a cultura do trigo que é de 2,5  $g\ kg^{-1}$  (RAIJ et al., 1996). O cálcio é vital para várias funções na planta: auxilia na

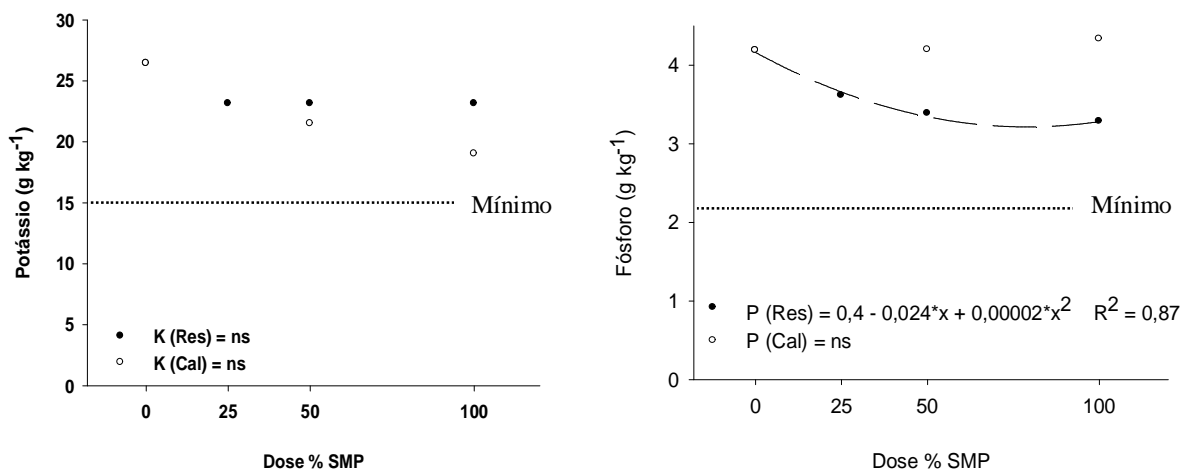
conversão do N-nitrato (N-NO<sub>3</sub>) em formas necessárias para a formação de proteínas, além de ativar um grande número de sistemas enzimáticos que regulam o crescimento da planta.

A concentração de Mg<sup>+2</sup> na parte aérea das plantas de trigo foi influenciada significativamente pela correção do pH do solo somente quando se usou calcário. Os teores variaram de 4 a 7 g kg<sup>-1</sup> (Figura 15), o que segundo Cantarella et al. (1996) está acima do teor mínimo para um bom desenvolvimento de plantas de trigo, que é de 1,5 g kg<sup>-1</sup>.



**Figura 15.** Teores de cálcio e magnésio em plantas de trigo desenvolvidas em casa de vegetação no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages, SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Mesmo com uma adubação fosfatada suficiente para que não houvesse deficiência deste elemento para as plantas, os valores decresceram com o aumento da dose de resíduo (Figura 16). A redução do teor de P no tecido está relacionada com o efeito de diluição devido ao maior crescimento das plantas nas maiores doses do resíduo. Quanto ao potássio, não se verificou mudanças significativas nos teores deste elemento no tecido das plantas de trigo.



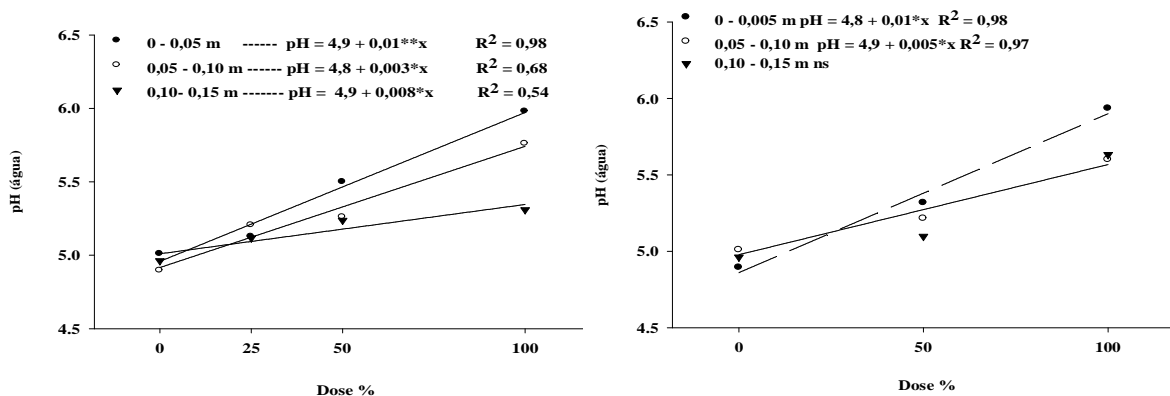
**Figura 16.** Teores de potássio e fósforo em plantas de trigo desenvolvidas em casa de no solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcáreo, em Lages. SC. (\*, significativo a 5% de probabilidade).

## 4.2 EXPERIMENTO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE TRIGO E FEIJÃO

### 4.2.1 Atributos químicos do solo

O calcário aumentou o pH e a saturação por bases somente na camada superficial, de forma linear. A aplicação superficial de calcário, não foi efetiva na neutralização da acidez do solo em sub-superfície. Resultados semelhantes foram observados por CIOTTA et al. (2004) e CAIRES, et al. (2006). Já com o resíduo, o aumento no pH e saturação por bases do solo, foi observado até a profundidade de 0,15 m (Figura 17 e 18), corroborando com os resultados observados por CARVALHO-PUPATTO (2004) e RAMOS et al., (2006). Esse aumento em profundidade indica que existem diferenças na mobilidade dos componentes responsáveis pela correção da acidez entre os corretivos. Esse efeito benéfico na correção da acidez pelo resíduo foi mais intenso na camada superficial, elevando o pH de 5,0 para próximo de 6,0. Nas camadas subsuperficiais este aumento foi menos acentuado, de 4,9 para 5,7 na profundidade de 0,075m e de 4,7 para 5,3 na profundidade de 0,125m, no entanto mais eficiente que o calcário, que elevou o pH do solo somente na camada superficial do solo (Figura 17).

O aumento no pH do solo (Figura 17) e na saturação por bases (Figura 18) nas camadas sub-superficiais ocorreram em razão da maior concentração de compostos resultantes da reação de neutralização, permitindo maior solubilidade e conseqüentemente, deslocamento desses compostos, mediante a menor concentração de cátions ácidos na zona de dissolução do corretivo em relação aos outros cátions, em especial  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , confirmando o exposto por Rheinheimer et al. (2000) e Amaral et al. (2001) sobre calagem superficial.

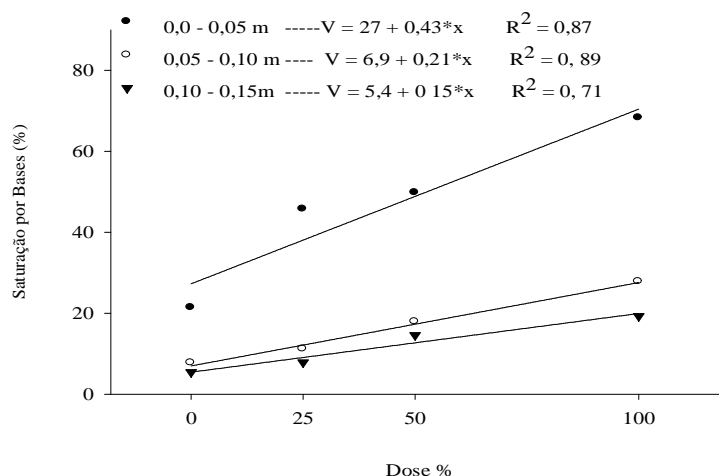


**Figura 17.** Valores de pH do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

Essa maior concentração de compostos resultantes das reações de neutralização, nas doses mais altas do resíduo alcalino, permite que as cargas negativas do solo, disponibilizem o excesso de cátions à solução do solo em menor intervalo de tempo, o que torna possível o deslocamento da frente de alcalinização em sub-superfície, conforme proposto por Caires et al. (2004) para calagem superficial.

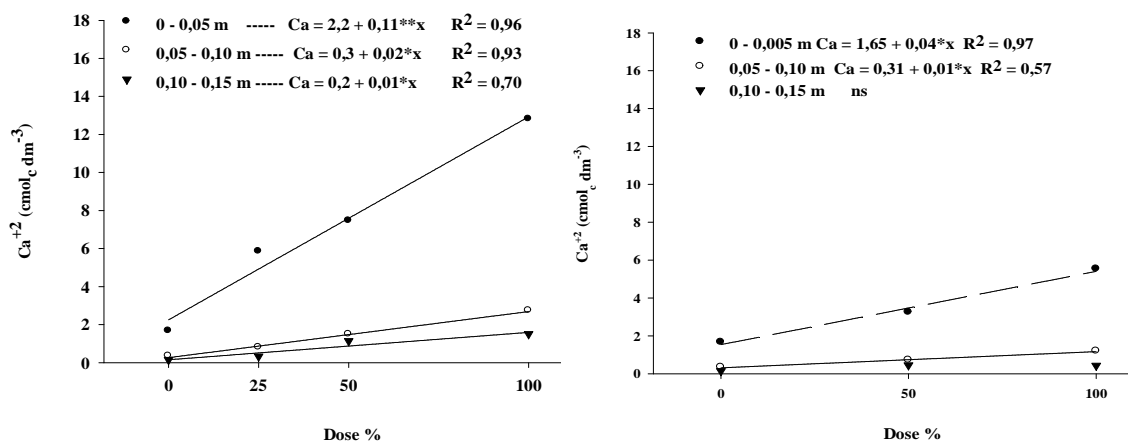
O resíduo foi mais eficiente na correção da acidez do solo em função de possuir um maior PRNT, quando comparado com o calcário, em razão de haver em sua composição NaOH e CaOH, sendo seu ânion da reação de dissociação o hidróxido (OH<sup>-</sup>), o qual apresenta maior solubilidade que o carbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) do calcário (CORREIA et al., 2007).





**Figura 18.** Saturação por bases (V) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Houve aumento nos teores de  $Ca^{+2}$  do solo em função da elevação da correção do pH do solo, tanto para o calcário quanto para o resíduo alcalino. Em função da composição química do resíduo a elevação nos teores de  $Ca^{+2}$  no solo, foi mais pronunciada nos tratamentos corrigidos com resíduo alcalino em comparação ao calcário. Para o resíduo a elevação dos teores de  $Ca^{+2}$  no solo foi de forma linear para todas as camadas (Figura 19), sendo que na camada superficial os teores variaram de  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento não corrigido para próximo de  $13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento de maior dose (1 SMP). Nas camadas sub-superficiais este aumento foi menos intenso, no entanto significativo, o que demonstra uma descida do  $Ca^{+2}$  no perfil do solo. Este deslocamento do  $Ca^{+2}$  no perfil, pode estar relacionado com a alta concentração do nutriente na camada superficial e por não haver cátions ácidos nas camadas subsuperficiais em função da correção do pH até a profundidade de 0,15 m, bem como a formação de compostos iônicos que carregam este elemento no perfil.



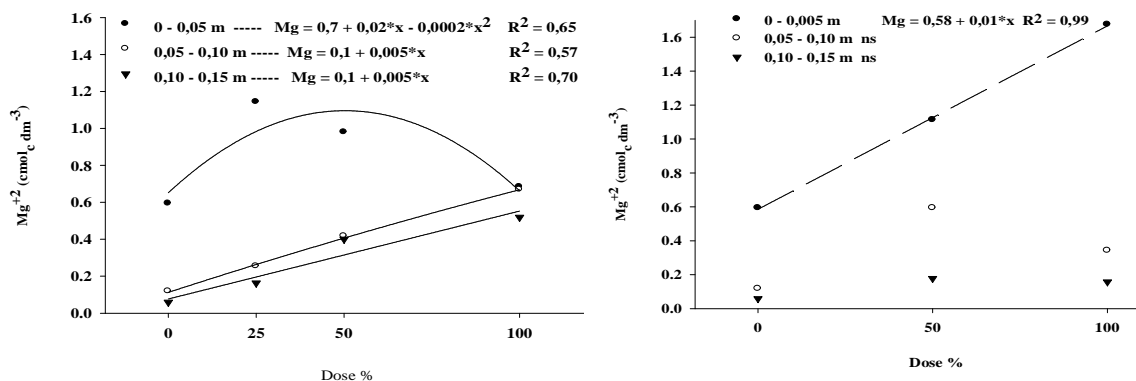
**Figura 19.** Teores de cálcio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

O calcário aplicado em superfície elevou os teores de  $Ca^{+2}$  até a profundidade de 0,10 m, no entanto a elevação mais intensa se deu na camada de 0 a 0,05m (Figura 19). Resultados semelhantes foram observados por Alleoni et al., (2005), enquanto outros pesquisadores observaram descida do  $Ca^{+2}$  até profundidades maiores (0,20 m), quando aplicado calcário em superfície no sistema plantio direto (CAIRES et al., 2004; CIOTTA et al., 2004; FIDALSKI & TORMENA, 2005). Essas diferenças estão relacionadas com a dose aplicada, estrutura do solo e, principalmente, o tempo de duração dos experimentos avaliados.

O calcário elevou os teores de magnésio na camada de 0 a 0,05 m de forma linear (Figura 20). Com a elevação do pH na camada superficial, em função da reação do calcário, podem ser criadas cargas negativas, retendo o  $Mg^{+2}$  e impedido sua descida no perfil.

Já para o resíduo alcalino, o aumento do  $Mg^{+2}$  ocorreu de forma quadrática na superfície e linear nas camadas subsuperficiais (Figura 20). Este comportamento quadrático do magnésio em superfície pode ser atribuído aos altos teores de  $Ca^{+2}$  no solo em comparação ao  $Mg^{+2}$ , com adsorção preferencial do  $Ca^{+2}$  no solo e deslocamento do  $Mg^{+2}$  para camadas mais profundas (Correa et al., 2007), e também pela formação de pares iônicos com outros

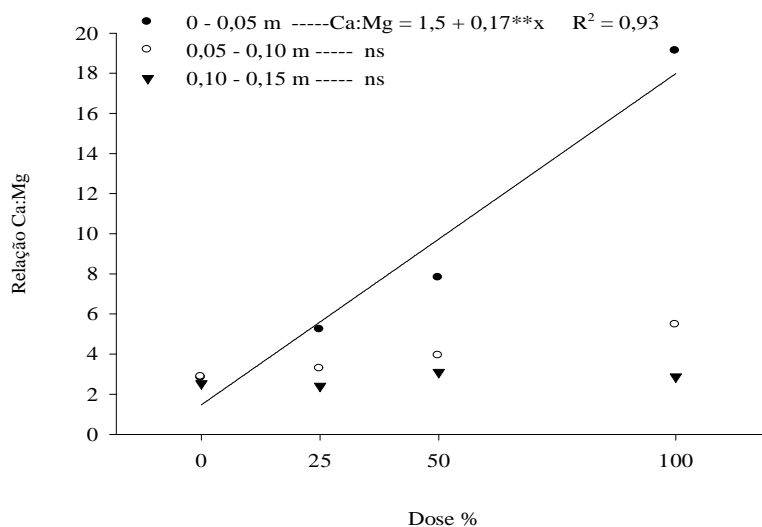
elementos contidos no resíduo, além do que, o resíduo possui em sua composição baixos teores de magnésio.



**Figura 20.** Teores de magnésio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

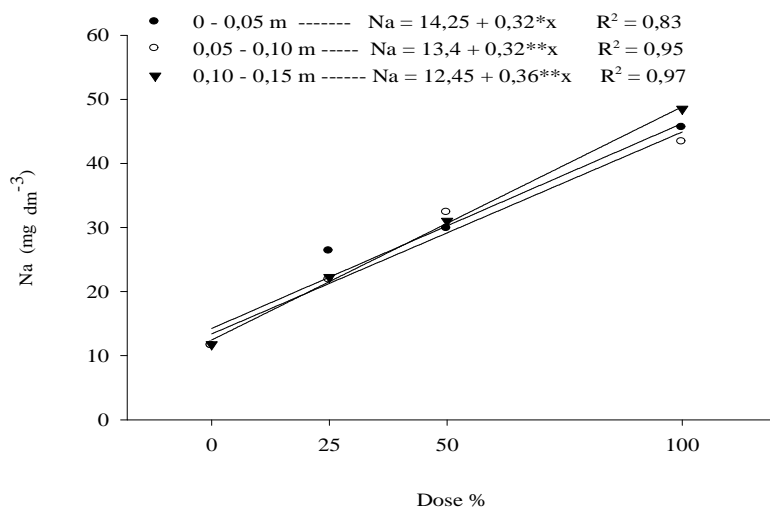
Com o aumento da dose do resíduo alcalino que possui uma alta relação Ca/Mg, houve um aumento linear da relação Ca/Mg do solo na camada de 0 - 0,05 m (Figura 21), de 3:1 para 20:1. Estudos mostram que esta relação está acima do limite crítico para o desenvolvimento normal das plantas (Siqueira et al, 1975; Rosolem et al. 1984), no entanto, nas camadas de 0,05 a 0,10 m a relação Ca/Mg esta dentro de limite adequado às plantas. Segundo Malavolta, (1980), a relação deve estar abaixo de 7:1. Com a aplicação de calcário não houve alteração da relação Ca:Mg (Tabela 3), já que essa relação no calcário é semelhante a do solo de 3:1.

A relação entre cálcio e magnésio (Ca/Mg) do solo é uma variável importante a ser avaliada, pois os mecanismos de absorção desses dois elementos pelas plantas são semelhantes (MARSCHNER, 1995). Um desequilíbrio acentuado nessa relação pode gerar deficiência de um desses elementos (MALAVOLTA, 1980).

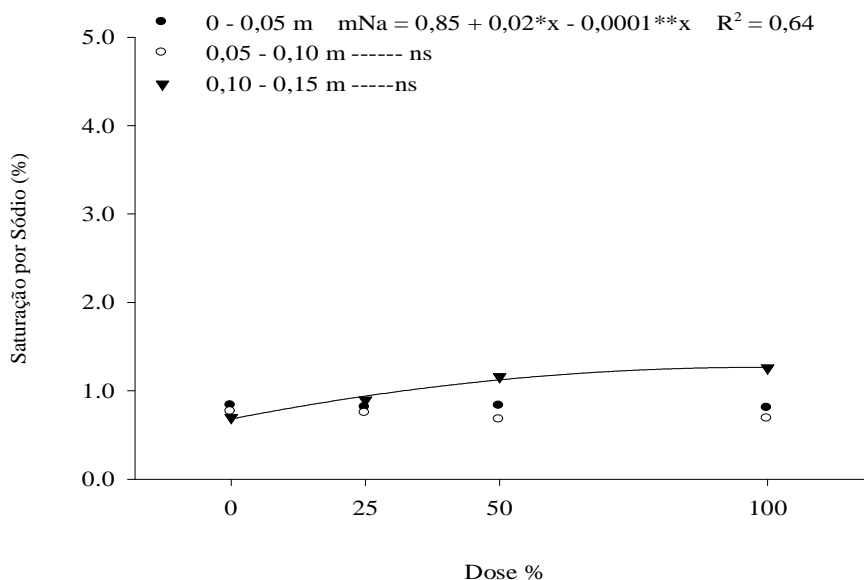


**Figura 21.** Relação Ca/Mg do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\*\* significativo a 1% de probabilidade).

A aplicação de resíduo alcalino aumentou os teores de sódio de forma linear em todas as camadas (Figura 22), variando de  $11,5 \text{ mg dm}^{-3}$  para os tratamentos sem correção até valores próximos de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  na maior dose. Contudo, a saturação por sódio foi influenciada somente na camada subsuperficial (Figura 23), ficando bem abaixo do limite crítico de 5%. Com a aplicação de calcário o teor de Na não foi alterado, pois o calcário possui quantidades muito baixas deste elemento.



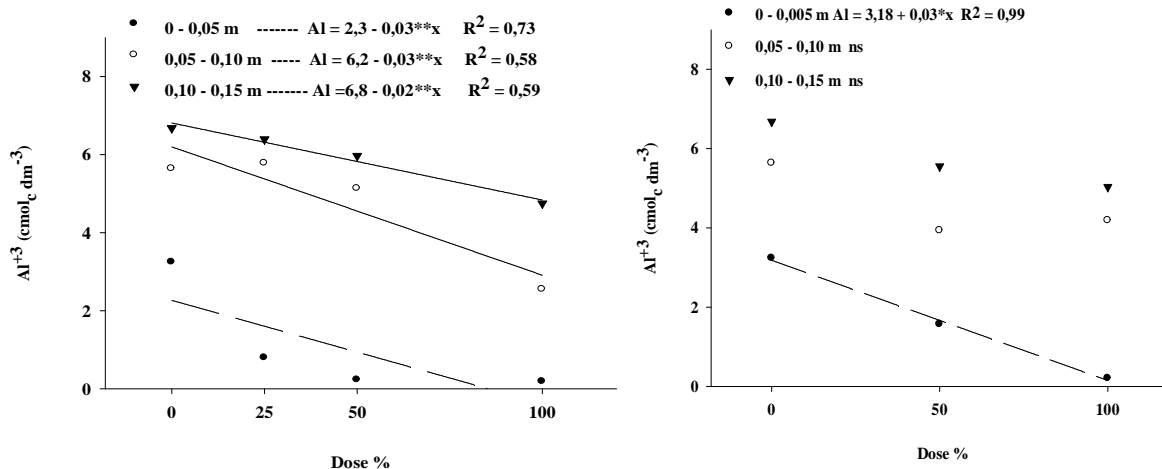
**Figura 22.** Teores de sódio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).



**Figura 23.** Saturação por sódio do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

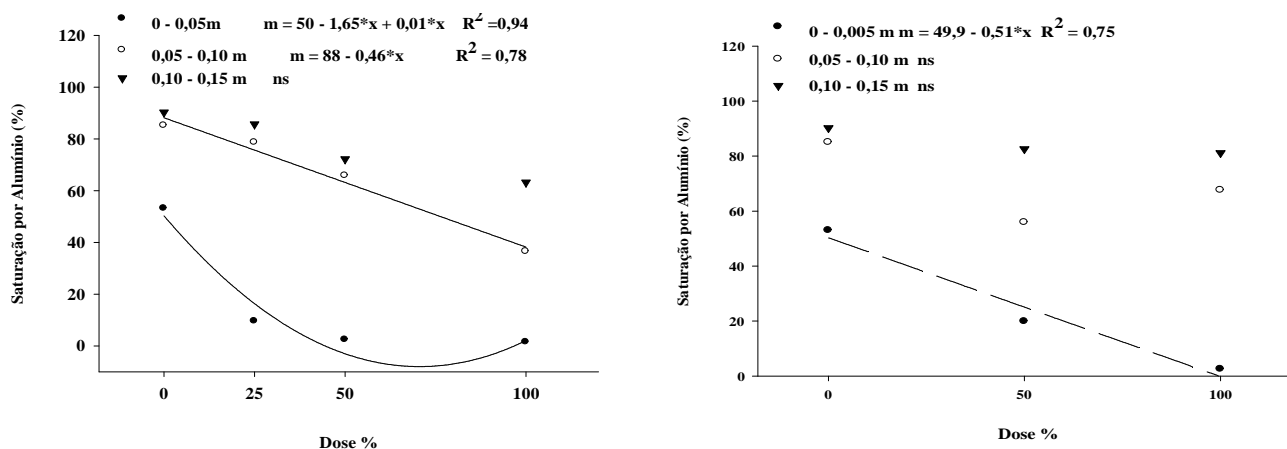
A correção do pH com calcário aplicado em superfície, reduziu linearmente o teor de Al e sua saturação na CTC<sub>efetiva</sub> ( $Al^{+3} = 3,2 - 0,03x$ ;  $R^2 = 0,57$ ;  $m = 50 - 0,51x$ ;  $R^2 = 0,75$ ) na camada de 0 a 0,05 m. Essa redução é benéfica às plantas, pois o  $Al^{+3}$  é potencialmente prejudicial a um grande número de processos bioquímicos dos vegetais (KOCHIAN et al., 2004). O efeito negativo do  $Al^{+3}$  sobre as plantas se manifesta principalmente através da inibição do desenvolvimento do sistema radicular. A restrição no desenvolvimento das raízes diminui a capacidade das plantas em absorver água e nutrientes, principalmente daqueles que se movem no solo por difusão. Quando o pH do solo for igual ou maior que 5,5, as formas tóxicas de alumínio às plantas deixam de existir na solução do solo.

O resíduo reduziu o teor de  $Al^{+3}$  trocável em todas as camadas de forma linear (Figura 24), sendo que na camada superficial, mesmo nas menores doses, 25% do SMP, os teores se aproximaram de zero. De certa forma podemos dizer que o resíduo foi mais eficiente que o calcário na precipitação do alumínio trocável, indicando que o mesmo tem um poder de neutralização total maior do que o determinado pelo método padrão utilizado.



**Figura 24.** Teores de alumínio ( $Al^{3+}$ ) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Quanto à saturação por  $Al^+$  da CTC do solo, o resíduo reduziu os teores de  $Al^+$  no solo nas duas camadas mais superficiais do solo, enquanto que na camada de 0,10 - 0,15 m não houve efeito significativo.



**Figura 25.** Saturação por alumínio (m) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

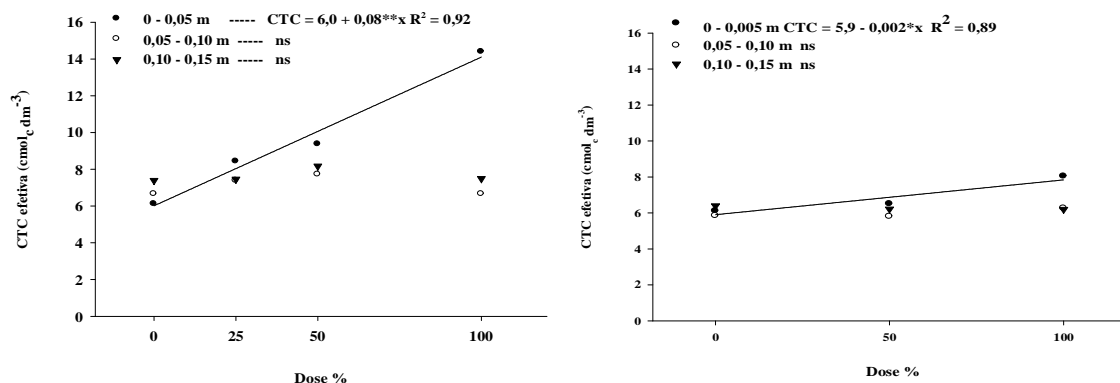
A capacidade de troca de cátions do solo foi influenciada pelas doses de corretivo aplicadas ao solo, principalmente na camada de 0 a 0,05 m.

Nos tratamentos em que não houve correção do pH do solo, o cátion que predominava era o  $Al^{+3}$ , que normalmente predomina nas cargas negativas. Com a correção do pH do solo, para valores acima de 5,5, o Al precipitou quase que completamente, e neste caso, o Ca e em menor proporção, Mg e K, ocuparam mais de 90% das cargas negativas do solo. Estes cátions representam a maioria dos nutrientes essenciais aos vegetais. Os nutrientes que estão na solução do solo ou que estão adsorvidos na superfície externa dos componentes sólidos do solo representam a reserva imediata para as plantas.

O solo antes da correção do pH tinha CTC em torno de  $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para valores próximos de  $14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento com maior dose do resíduo na camada superficial (Figura 26). Já, nas demais camadas ficou próximo de  $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sem influência significativa das doses.

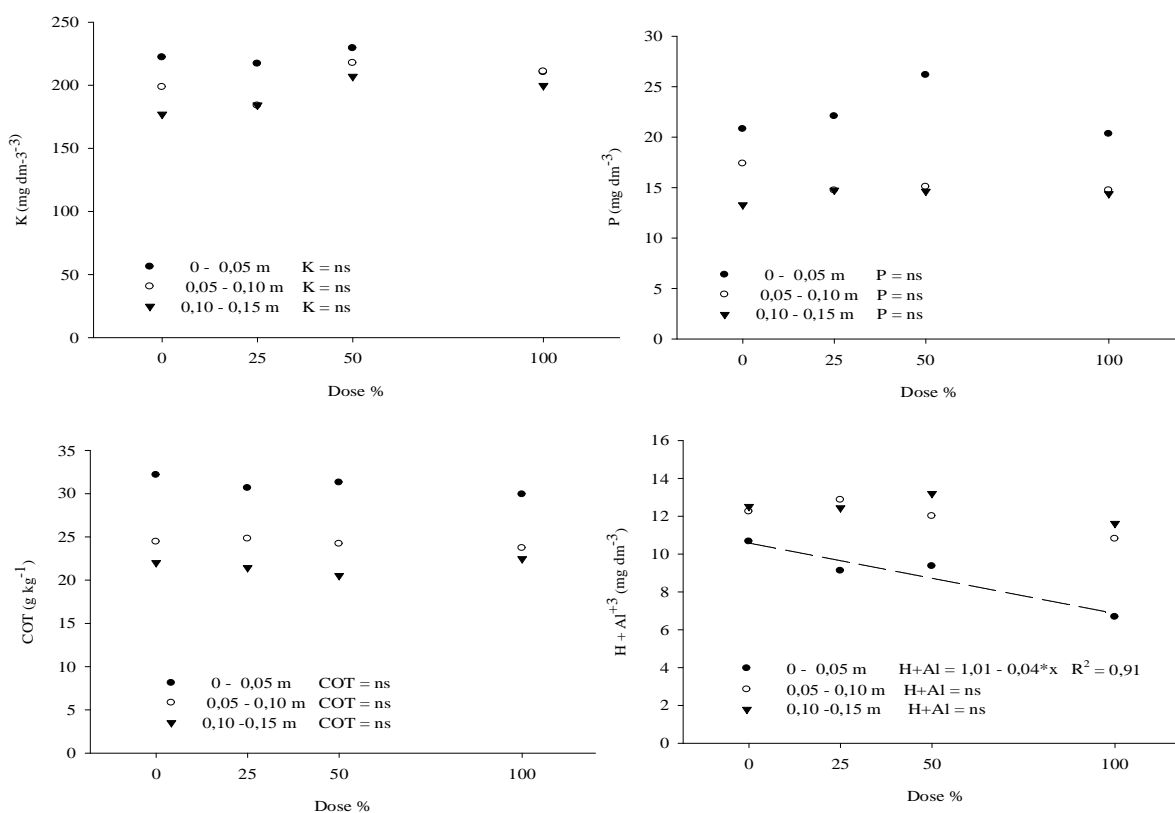
Nos tratamentos corrigidos com calcário, houve pequeno acréscimo na CTC, de  $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para próximo de  $9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na maior dose de calcário (1 SMP).

Este aumento da CTC do solo pode estar relacionado com a complexação do Al das entrecamadas dos minerais 2:1 (Hidróxi-alumínio) que bloqueiam as cargas negativas. Assim, quando reagem com as oxidrilas, formam novos compostos e desobstruem essas cargas que serão ocupadas pelos cátions básicos, e estes, somados para a CTC.



**Figura 26.** Capacidade de troca de cátions do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\*\* significativo a 1% de probabilidade).

Os teores de fósforo, potássio e carbono orgânico total (COT) não tiveram alterações significativas em função da correção do solo, pelo resíduo ou calcário, em nenhuma das camadas avaliadas (Figura 26). As alterações nos teores destes elementos está mais relacionada com a adubação para as cultura, no caso do P e do K, e com o histórico da área, no caso do COT, do que com a correção da acidez do solo.



**Figura 27.** Teores de fósforo (P), potássio (K), hidrogênio + alumínio (H+Al) e carbono orgânico total (COT) do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC.

Os teores de COT foram maiores na camada de 0 - 0,05 m para todos os tratamentos, independente do tipo de corretivo, e diminui em profundidade. Esta redução em profundidade esta relacionada com o histórico de não revolvimento da área, que acumulou o COT na superfície pela decomposição do tecido vegetal.

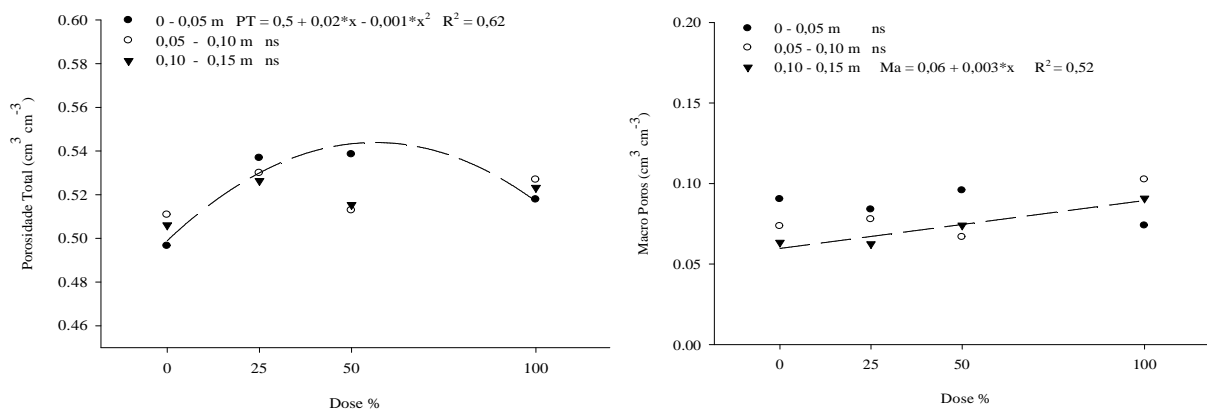


A acidez potencial (H + Al) do solo reduziu de forma linear na camada superficial do solo para ambos os corretivos (Figura 27), e está relacionada com a precipitação do  $Al^{+3}$  trocável e com a formação de compostos que utilizam o  $H^+$  como a oxidrila.

#### 4.2.2 Atributos físicos do solo

Houve interação entre tratamentos e camadas para os atributos físicos do solo.

A porosidade total variou de 0,49 a 0,54  $cm^3 cm^{-3}$  para os tratamentos com resíduo alcalino e de 0,50 a 0,52  $cm^3 cm^{-3}$  para os tratamentos corrigidos com calcário. Para os tratamentos corrigidos com resíduo alcalino, houve aumento significativo somente na primeira camada (Figura 28), explicada pela adição de nutrientes, que aumenta a atividade microbiana ou mesmo aumenta a floculação pela maior concentração eletrolítica da solução.

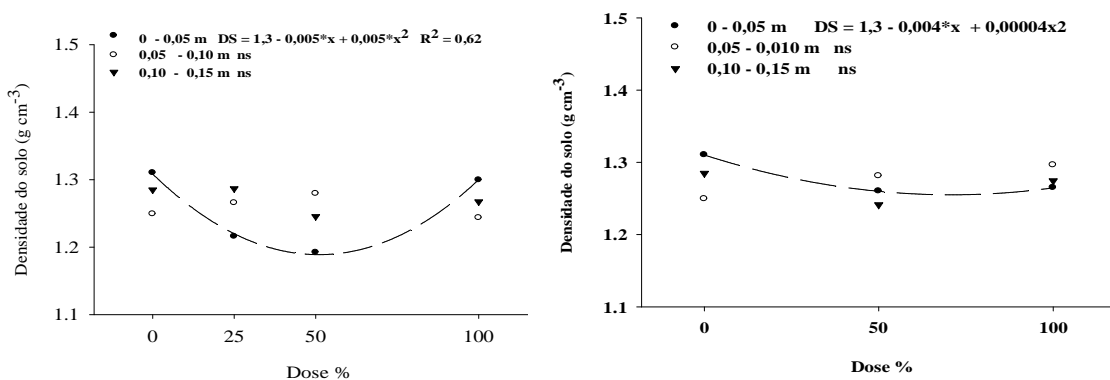


**Figura 28.** Porosidade total e macroporosidade do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

A macroporosidade foi influenciada pela aplicação do resíduo alcalino somente na camada de 0,10 a 0,15 m, já para os tratamentos corrigidos com calcário houve aumento linear nas camadas sub-superficiais, 0,05 a 0,15 m (Tabela 6). A macroporosidade está abaixo do limite mínimo desejável de 0,10  $cm^3 cm^{-3}$  (Taylor & Aschcroft, 1972; Erickson, 1982).

A microporosidade não teve influência dos tratamentos e variou de 0,42 a 0,46  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  para os tratamentos com resíduo e de 0,42 a 0,45  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  para os tratamentos com calcário.

A densidade do solo variou de 1,19 à 1,3  $\text{g cm}^{-3}$  na superfície do solo e 1,24 à 1,30  $\text{g cm}^{-3}$  nas camadas subsuperficiais. Houve diferença significativa na primeira camada para ambos os corretivos aplicados (Figura 29). Este efeito pode ser explicado pela renovação do sistema radicular das culturas. Com as maiores doses dos corretivos, houve redução dos teores de alumínio trocável, aumento do teor de cálcio e demais macro e micronutrientes, assim como uma maior disponibilidade de fósforo em função da correção do pH do solo. Essas mudanças neste ambiente favorecem o desenvolvimento e renovação do sistema radicular, forma poros e melhora a estrutura do solo.

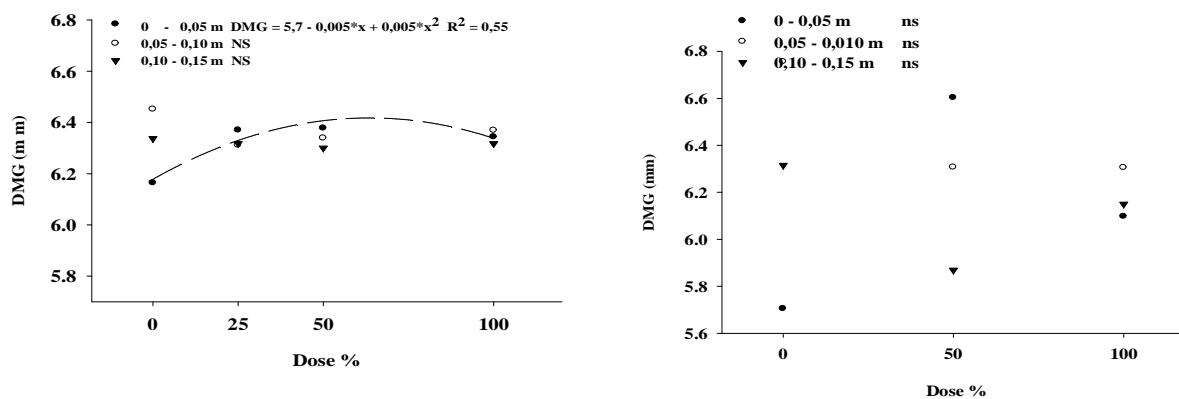


**Figura 29.** Densidade aparente do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

A estabilidade de agregados quantificada através do diâmetro médio geométrico (DMG) das partículas do solo foi alterada pelas doses aplicadas somente na camada de 0 a 0,05 m para os dois corretivos utilizados. Para o resíduo alcalino o comportamento foi quadrático, ou seja, nas doses menores do resíduo houve aumento da estruturação do solo e

conforme a dose do resíduo aumentou, o efeito dispersante dos elementos químicos começou a se sobrepor aos efeitos agregantes do solo (Figura 30).

Para os tratamentos corrigidos com calcário, não houve efeito significativo da correção do pH do solo sobre a estabilidade dos agregados (Figura 30).



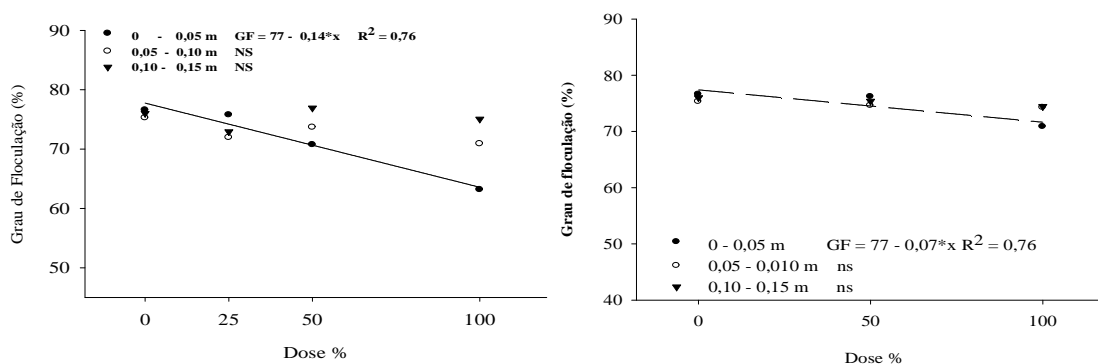
**Figura 30.** Diâmetro médio geométrico do solo Húmico submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

A aplicação de resíduo alcalino modificou o GF apenas na camada de 0 a 0,05 m, pois a aplicação dos corretivos foi na superfície do solo. Nessa camada o GF reduziu de 77 % para 63 % (Figura 31). Essa redução está associada aos teores de sódio contidos no resíduo (Tabela 1) o qual aumentou sua participação no complexo de troca do solo e favoreceu as forças de repulsão entre partículas. Já para as profundidades abaixo de 0,05 m, o teor de sódio na CTC do solo não foi suficiente para dispersar a argila. Isso pode estar relacionado com a maior participação do Al no complexo de troca nessas camadas, o qual foi menos alterado do que na camada mais superficial.

O efeito dispersante do  $\text{Na}^+$ , contido no resíduo alcalino aplicado em superfície para correção do pH e neutralização do  $\text{Al}^{+3}$ , pode ser amenizado pelo efeito do cálcio e magnésio assim como do aumento da concentração eletrolítica (MILLER et al., 1990).

Para os tratamentos com calcário, o grau de floculação reduziu de forma linear, variou de 77% no tratamento sem correção para 71 % no tratamento que recebeu a maior dose de

calcário (1 SMP) na superfície do solo, (Figura 31). Albuquerque et al. (2000), estudando um Latossolo Bruno, observaram que o aumento da carga líquida negativa promovido pela calagem reduz o grau de floculação.



**Figura 31.** Grau de floculação do solo submetido a crescentes doses de resíduo alcalino, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

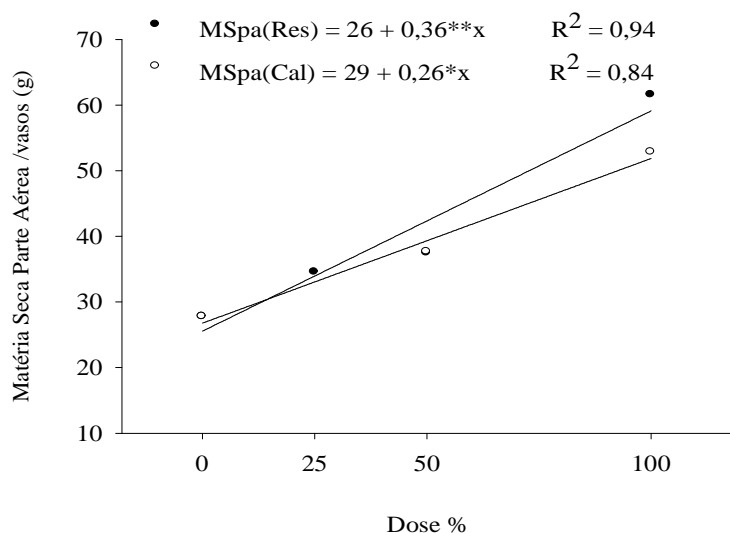
De maneira geral observou-se que quando foram utilizadas doses baixas do resíduo (25 e 50% do SMP), houve melhora nos atributos físicos do solo, com aumento da porosidade, da agregação do solo e redução da densidade. No entanto para o grau de floculação, houve em todas as doses do resíduo redução causada pela dispersão da argila.

Quanto aos tratamentos corrigidos com calcário, as alterações causadas nas características físicas do solo foram de maneira geral, semelhantes às ocorridas com os tratamentos corrigidos com o resíduo alcalino, evidenciando melhora dos atributos nas menores doses e piorando na maior dose, principalmente o grau de floculação.

#### 4.2.3 Desenvolvimento da cultura do trigo

A correção do pH do solo com o resíduo alcalino e calcário modificaram sensivelmente os atributos químicos e físicos do solo, conforme exposto acima. Assim, era esperado que as culturas implantadas após a aplicação dos corretivos sofressem alguma influência.

De maneira geral, houve melhora no desenvolvimento das plantas de trigo, independentemente do tipo de corretivo, o que pode estar relacionada com a redução do  $Al^{+3}$  tóxico ao sistema radicular e com a adição de alguns nutrientes essenciais ao desenvolvimento adequado as plantas. Foi observado aumento na produção de matéria seca da parte aérea e na produtividade de grãos, assim como, nos teores de Ca, P e K do tecido vegetal da cultura nos tratamentos corrigidos com o resíduo alcalino e Calcário.

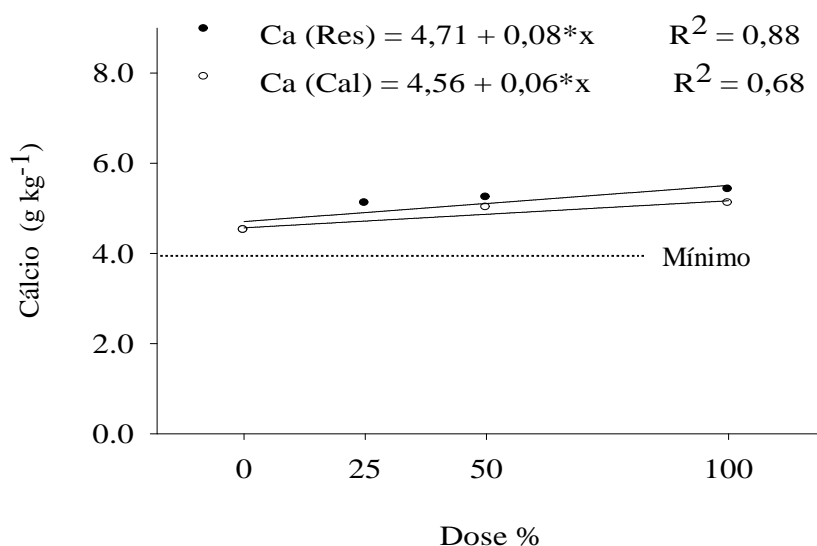


**Figura 32.** Matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de trigo no início do florescimento desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

A produção de matéria seca da parte aérea, coletada no início do florescimento, aumentou de forma linear (Figura 32) com o uso dos corretivos e foi maior nos tratamentos que receberam resíduo alcalino, o que pode estar relacionado à composição do resíduo, que possui vários elementos essenciais ao desenvolvimento dos vegetais, além do  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  contidos no calcário.

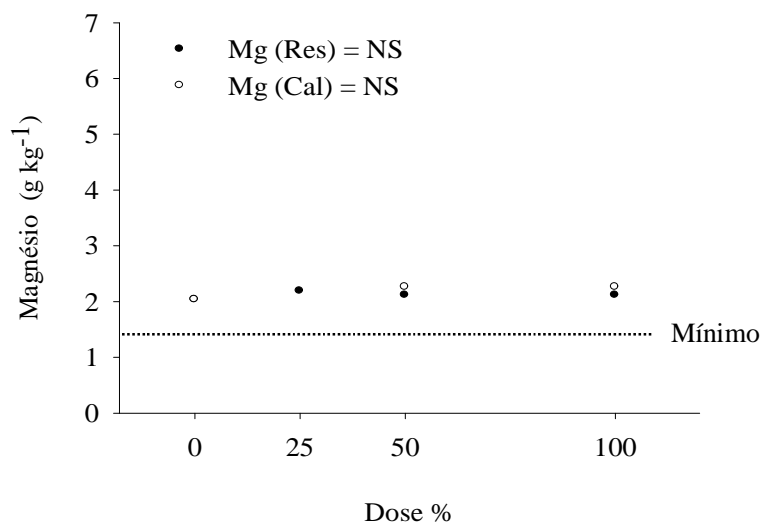
A adição de calcário e de resíduo aumentou os teores de cálcio na parte aérea das plantas (Figura 33). Este aumento foi observado de forma pouco expressiva, pois nas plantas

com melhor disponibilidade de nutrientes o crescimento vegetativo é maior e ocorre diluição dos nutrientes no tecido vegetal, fenômeno conhecido como efeito de Steenbjerg (MALAVOLTA et al., 1997). No entanto, estes valores ficaram acima dos valores mínimos para a cultura que segundo Pauletti (2004) é de  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ , e aproximaram-se dos encontrados por GARGANTINI et al. (1973). Além disso, o teor de Ca no tratamento sem corretivos já estava acima do limite crítico inferior.



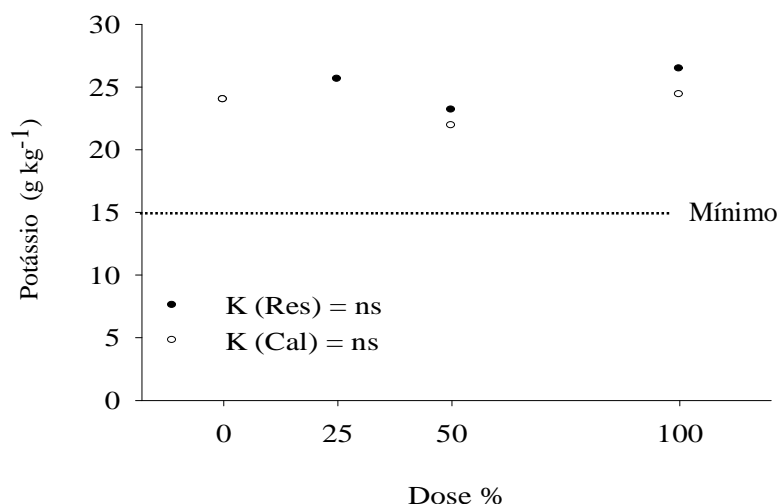
**Figura 33.** Teores de cálcio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Os teores de magnésio no tecido da parte aérea não foram influenciados pelos corretivos da acidez do solo (Figura 34). Estando estes valores dentro dos limites adequados para um desenvolvimento normal das plantas de trigo PAULETTI (2004). Estes resultados corroboram com os encontrados por GARGANTINI et al. (1973).



**Figura 34.** Teores de magnésio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC.

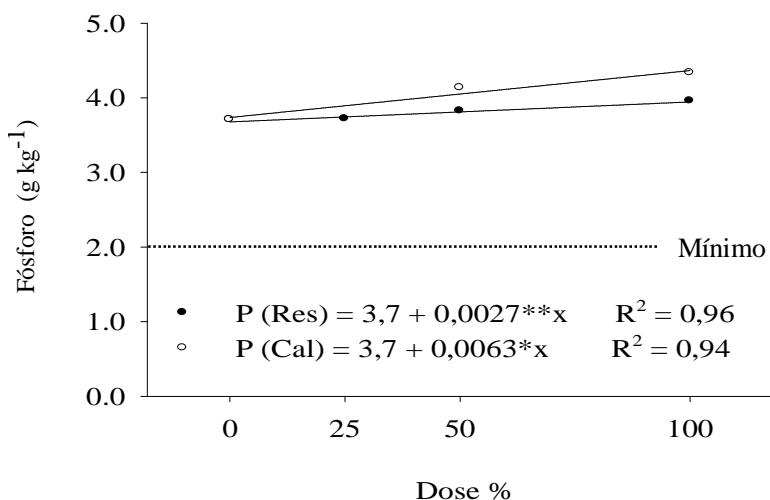
Para o elemento potássio não houve diferenças significativas entre os teores no tecido vegetal, ficando acima do limite mínimo para o desenvolvimento normal da cultura que segundo Pauletti (2004), é de 15 g kg<sup>-1</sup>. Nos tratamentos que foram corrigidos com resíduo alcalino, os teores de potássio no tecido vegetal foram levemente superiores aos das plantas que se desenvolveram no solo corrigido com calcário (Figura 35), podendo este fato também estar relacionado com a composição do resíduo que contém K.



**Figura 35.** Teores de potássio no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC.

Os teores de fósforo no tecido vegetal tiveram resposta semelhante ao  $\text{Ca}^{+2}$ , havendo pequeno acréscimo com a correção do solo para ambos os corretivos, ficando estes valores bem acima do limite crítico (Figura 36) que é de  $2,1 \text{ g kg}^{-1}$  (PAULETTI, 2004). Estes teores elevados estão relacionados principalmente com adubação fosfatada realizada na implantação da cultura e com o aumento do pH do solo, pois com a criação de cargas negativas, os fosfatos são repelidos das cargas e vão para a solução do solo ficando disponíveis para as plantas. Além disso, o fósforo é um elemento pouco móvel no solo, portanto sua absorção pelas plantas depende muito do sistema radicular, e com a redução do  $\text{Al}^{+3}$  tóxico devido a correção da acidez, há um aumento substancial na área explorada pelo sistema radicular e assim da absorção de P pelas plantas.



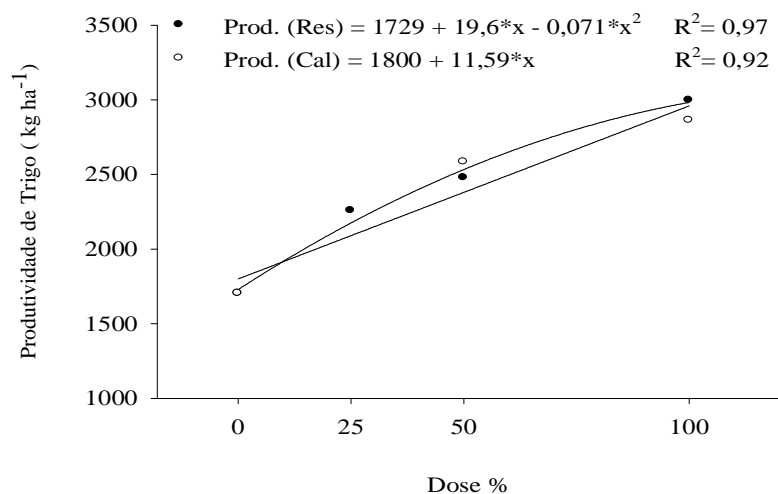


**Figura 36.** Teores de fósforo no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, desenvolvidas em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\*, \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

#### 4.2.3.1 Produtividade do trigo

Com a melhora na disponibilidade de nutrientes no solo e conseqüente absorção desses nutrientes, houve aumento na produtividade da cultura do trigo (Figura 37) de 1750 kg ha<sup>-1</sup> na testemunha para próximo de 3000 kg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com 100% da dose para ambos os corretivos. Essa produtividade é semelhante a encontrada por Sangoi et al. (2007) em experimento para avaliar épocas de semeadura conduzido também num Cambissolo Húmico com pH corrigido para 6,0.

Com a aplicação de calcário a produtividade aumentou linearmente e com o resíduo alcalino de forma quadrática, ou seja, ocorreu aumento maior da produtividade nas doses menores, tendendo a estabilização com as maiores doses. Não houveram prejuízos nutricionais no desenvolvimento de plantas e na produtividade em função da composição química do resíduo.



**Figura 37.** Produtividade da cultura do trigo em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

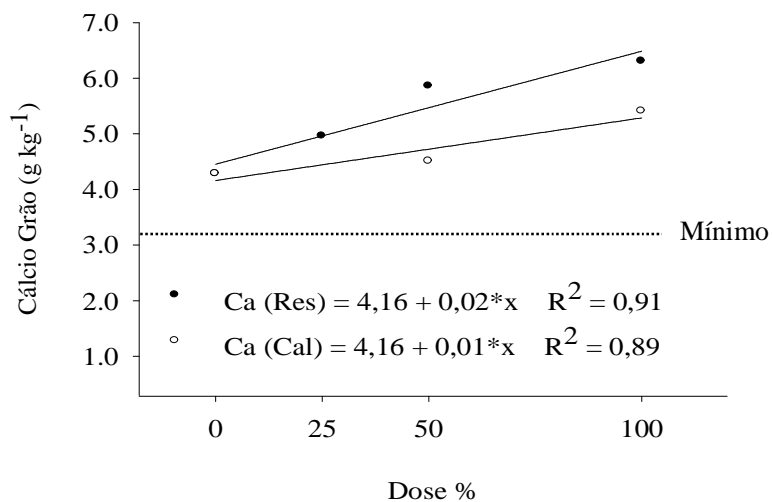
#### 4.2.4 Desenvolvimento da cultura do feijão

Houve melhoria no desenvolvimento das plantas de feijão com a correção do pH do solo, em ambos os corretivos.

O fornecimento de cálcio e magnésio através da calagem, de acordo com as necessidades do solo, pode, além de aumentar a produtividade da cultura, melhorar a qualidade organoléptica e nutricional do feijão (ANDRADE et al., 2004; ARF, 1994). Além desses benefícios para a cultura, quando se fornece cálcio e magnésio pela calagem, se melhora um conjunto complexo de fatores, impossíveis de serem separados, tais como: pH do solo, disponibilidade de nutrientes, diminuição de efeitos tóxicos e melhoria das condições para o desenvolvimento de microrganismos, por exemplo: *Rhizobium leguminosarum cv. phaseoli*, responsável pela fixação simbiótica do nitrogênio (MALAVOLTA, 1981).

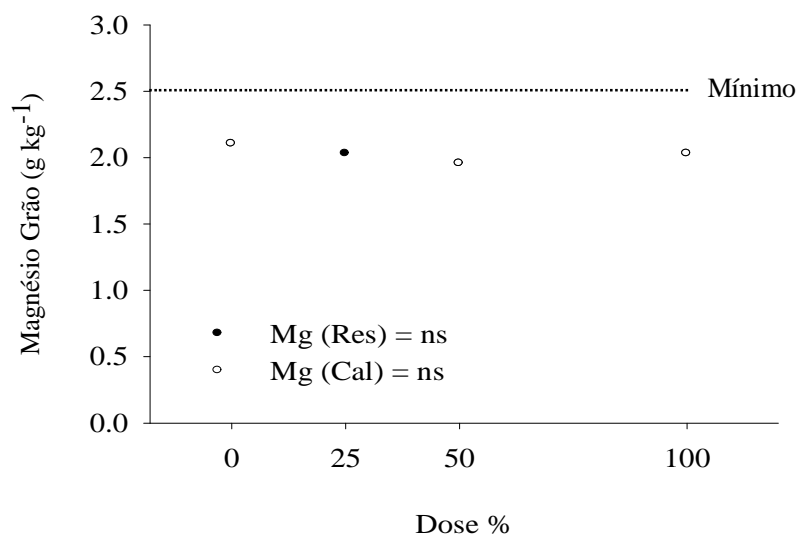
Os teores de cálcio nos grãos de feijão aumentaram linearmente com a aplicação dos corretivos, devido ao aumento do Ca no solo (Figura 38). Nos tratamentos corrigidos com

resíduo alcalino os teores, de maneira geral, foram superiores aos tratamentos corrigidos com calcário e ficaram acima dos teores mínimos que é de  $3,4 \text{ g kg}^{-1}$  (PAULETTI, 2004).



**Figura 38.** Teores de cálcio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Os teores de magnésio não foram influenciados pelos corretivos da acidez (Figura 39) e foram pouco inferiores aos apresentados por Pauletti (2004) e Andrade (1997) e semelhantes aos apresentados por CONTE e CASTRO (2001).



**Figura 39.** Teores de magnésio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC.

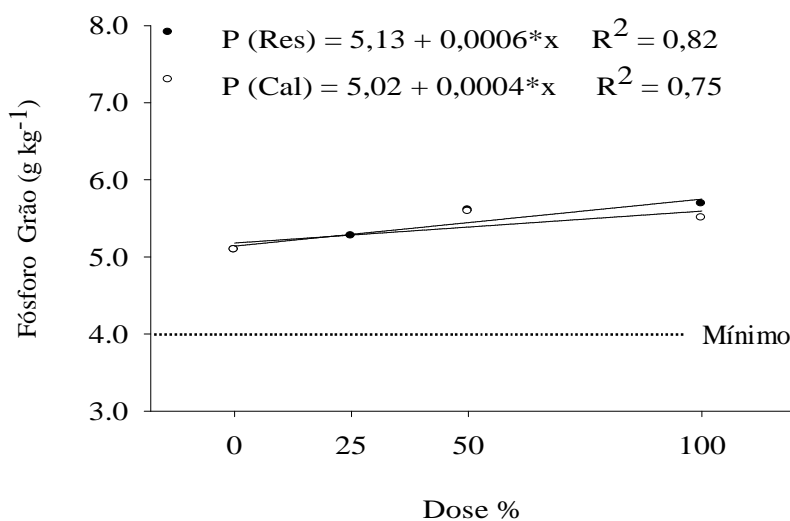
Os teores de fósforo no grão aumentaram linearmente após a aplicação dos corretivos (Figura 40), o que está relacionado com a correção do pH do solo, já que esta cria cargas negativas (aumento da CTC), as quais são responsáveis pela menor adsorção de fosfatos e sua maior disponibilização para as plantas, além do efeito benéfico causado pela precipitação do alumínio, já discutida para a cultura do trigo.

O teor de fósforo no grão está diretamente relacionado ao teor de fósforo no solo, pois, como afirmam Silva et al. (2002), quanto maior os teores deste elemento na solução do solo, maior é sua absorção pelas plantas.

Os valores obtidos variaram de 5,1 a 5,7 g kg<sup>-1</sup> para os tratamentos com o resíduo, e 5,1 a 5,5 g kg<sup>-1</sup> para os tratamentos corrigidos com calcário sendo semelhantes aos encontrados por Maldonado et al., 2000; Pauletti, 2004; Andrade, 1997. Portanto, além da adubação

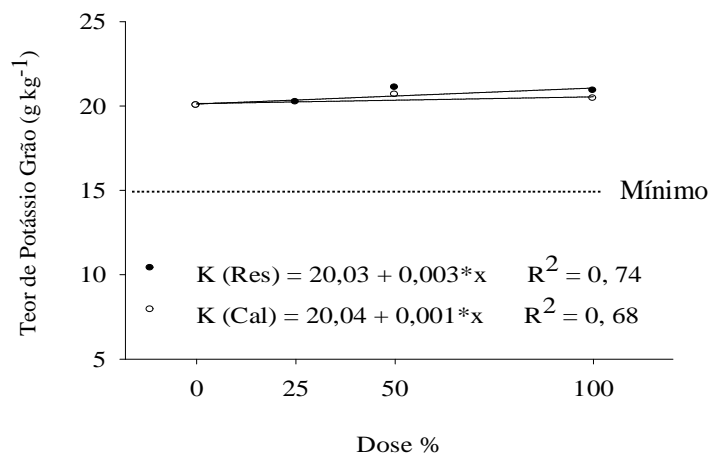
realizada, os corretivos aumentaram o P solúvel na solução do solo e sua absorção, translocação e acúmulo nos grãos pela cultura.

Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é o nutriente que mais influência na produtividade do feijoeiro (ARF, 1994), e ao mesmo tempo, é o elemento que freqüentemente limita a produção (MALAVOLTA, 1980), justamente pelos solos brasileiros possuírem baixa disponibilidade natural deste elemento.



**Figura 40.** Teores de fósforo nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

Foram observadas diferenças significativas nos teores de potássio nos grãos, sendo que as plantas cultivadas nos solos corrigidos com resíduo alcalino apresentaram maior quantidade deste elemento (Figura 41) variando com a dose de corretivo utilizada. O potássio é absorvido pela cultura do feijoeiro em grandes quantidades e sua deficiência reduz a síntese de proteínas e altera o metabolismo de alguns aminoácidos (ARF, 1994; BRAGA et al., 1973).



**Figura 41.** Teores de potássio nos grãos de feijão, cultivados em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\* significativo a 5% de probabilidade).

#### 4.2.4.1 Produtividade da cultura do feijão

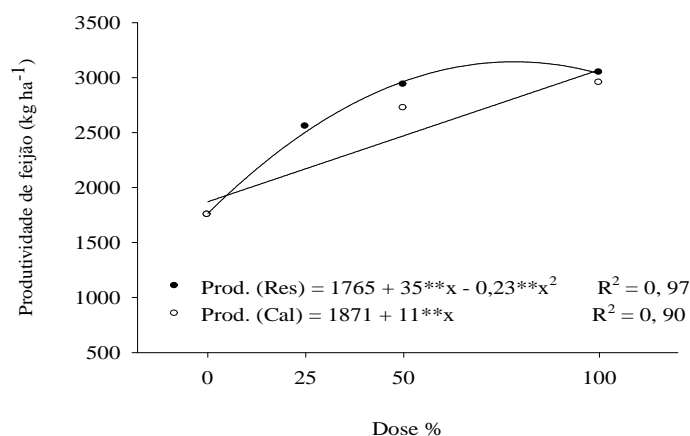
A correção do pH do solo e o fornecimento de nutrientes para o feijoeiro, através da adubação mineral, contribuíram não só para aumentar os teores foliares, mas também para aumentar a produtividade, observado também por TEIXEIRA (2000).

A produtividade do feijão aumentou com a aplicação dos corretivos, de forma linear para o calcário e quadrática para o resíduo alcalino (Figura 42). A produção da cultura do feijão foi de 1750 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento sem correção para 3050 kg ha<sup>-1</sup> para os tratamentos corrigidos com o resíduo, já para os tratamentos corrigidos com calcário a produção variou de 1750 a 2950 kg ha<sup>-1</sup>. Em todos os tratamento onde a correção do pH do solo foi realizada com resíduo, a produtividade foi superior quando comparado com os tratamentos (mesma dose), corrigidos com calcário. Estes valores estão em concordância com os determinados por Andrade et al. (2004), que testou produtividade e qualidade nutricional do feijão em diferentes adubações num Nitossolo em Maringá, PR.

O efeito benéfico da correção do pH do solo sobre a cultura do feijão foi mais acentuado nos tratamentos corrigidos com resíduo alcalino em comparação ao calcário (Figura 42), relacionado à melhor correção do pH do solo nos tratamentos com resíduo alcalino. Isso pode estar relacionado com a composição química do resíduo que além de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  contém outros nutrientes necessários ao desenvolvimento das culturas (Tabela 1) como por exemplo P, K, S, Zn, etc. Este mesmo comportamento foi observado para a cultura do trigo.

Faquin et al. (1998) estudando a resposta do feijoeiro à aplicação de calcário, verificou que quando adiciona-se  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  como nutrientes no solo sem a correção do pH, há redução da produtividade, evidenciando desta forma a importância da correção da acidez em melhorar a atividade microbiana, aumentar a disponibilidade de P e reduzir a solubilidade de Al, Fe e Mn (RAIJ, 1991).

De acordo com McLean & Brown (1984) os efeitos tóxicos dos íons Al, Fe e Mn são diminuídos pela calagem e também pela complexação desses elementos pelos compostos orgânicos do solo, ou seja, a calagem proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas, maior produção de resíduos vegetais e conseqüentemente maior aporte de compostos orgânicos e atividade microbiana.



**Figura 42.** Produtividade da cultura do feijão cultivado num Solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino e calcário, em Lages – SC. (\*\* significativo a 1% de probabilidade).

## CONCLUSÕES

- ✓ A aplicação superficial do resíduo no Cambissolo Húmico aumentou o pH, os teores de sódio, a soma e a saturação por bases trocáveis e reduziu os níveis de alumínio.
- ✓ Os atributos físicos foram modificados somente na camada superficial do solo de 0 a 0,05 m. Nas menores doses 25 e 50 % do SMP corrigido com o resíduo, houve aumento da porosidade, da estabilidade dos agregados e redução da densidade do solo. No entanto, para a maior dose, (1 SMP) houve redução no grau de flocculação.
- ✓ Os efeitos da correção do solo com resíduo foram semelhantes aos do calcário, no que diz respeito à produção das culturas de trigo e feijão e aos nutrientes no tecido das culturas. De maneira geral, a dose correspondente a 1SMP os teores de nutrientes no tecido vegetal e conseqüentemente maior produção de grãos para as duas culturas estudadas.
- ✓ Os resultados observados em casa de vegetação foram semelhantes ao campo, no entanto a magnitude das mudanças foram maiores especialmente a redução do grau de flocculação da argila.
- ✓ Os efeitos do resíduo no solo e na planta foram semelhantes ao calcário, com exceção de algumas particularidades. Assim, baseado em análise técnica criteriosa, pode ser uma alternativa para corrigir a acidez de solos ácidos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society American Journal**, 45:848-851, 1981.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C.; COSTA, F.S.; RECH, T.D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1065-1073, 2002.

ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A.; REINERT, D.J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:141-151, 2000.

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 de Ciência do Solo**, 29:923-934, 2005.

ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B.; ERNANI, P.R.; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, 30:1669-1672, 2007.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:9-16, 1997.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:695-702, 2001.

AMARAL, A.S.; ANGHIONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:115-123, 2004.

ANDRADE, C.A.B.; PATRONI, S.M.S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Produtividade e qualidade nutricional de feijão em diferentes adubações. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, 5:1077-1086, 2004.

ANDRADE, W.E.B. **Limitações nutricionais para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivo sucessivo em solo de várzea da região norte fluminense**. 1997. 125p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

ARF, O. Importância da adubação na qualidade do feijão e caupi. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**, São Paulo: Ícone, 1994.

ARIAS, M.; ZAMBRANO, M.; GALLARDO, F.; VIDAL, G. Use of dregs and grits from the Kraft cellulose fabrication process in vegetable productivity. **Associação de Químicos, Instituto Químico Sarria**, 62:225-232, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 10000: **Resíduos sólidos, classificação de resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 63p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 9-39.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. 37:99-106, 1998.

BEN-HUR, M.; STERN, R.; VAN DER MERWE, A.J. Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 56:1571-1576, 1992.

BERGAMIN, F.N.; ZINI, C.A.; GONZAGA, J.V.; BORTOLAS, E. Resíduos de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97-120.

BISSANI, C.A.; TEIXEIRA, J.R.; GIANELLO, C.; PAJARA, F.F.D. Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústria de celulose na correção da acidez do solo. I- Aspectos agronômicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. **CDROOM**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Avaliação do setor de celulose e papel. Desempenho do setor em 2007**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>> Acesso em: outubro de 2007.

CAIRES, E.F., CHUEIRI, A.W., MADRUGA, E.F. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivos sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALEONI, L.R.F.; CÂMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:87-98, 2006.

CAIRES, E.F.; KUSMAM, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.G.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:125-136, 2004.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B.V.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, p. 45-71, 1996.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:1213-1218, 2004.

CASSOL, L.C. Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. 1995. 97 p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 1995.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32p. CETESB. (Manual técnico, 230)

CHARLET, L.; SPOSITO, G. Bivalent ion adsorption by an Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, 53:691-695, 1989.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBERTO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:317-326, 2004.

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.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

CONTE E CASTRO, A.M.; BOARETTO, A.E. Adubação foliar do feijoeiro com nutrientes, vitamina B1 e metionina. **Scientia Agrária**, 2:127:134, 2001.

CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, M.; MAUAD, M. Correção da acidez e modalidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, resíduo alcalino, lodo de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:1307-1317, 2007.

DICK, D.P.; DICK, Y.P.; DA SILVA, L.F.; ESSIG, C.; ZORTEA, R.B. Caracterização de produtos de decomposição de lodos orgânicos em diferentes tempos e meios de digestão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:1-8, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos – SNLCS. **Manual e métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison. Proceeding American Society of Agronomy, p.91-104, 1982.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:139-143, 1986.

FAQUIN, V.; ANDRADE, C.A.B.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, A.T.; CURTI, N. Resposta do feijoeiro à aplicação de calcário em solos de várzea do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:651-660, 1998.

FEAGLEY, S.E; VALDEZ, M.S; HUDNALL, W.H. Bleached, primary paper-mill sludge effect on Bermudagrass grown on a mine soil. **Soil Science**, 157:398-397, 1994.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:235-247, 2005.

FLORES, D.M.M.; FRIZZO, S.M.B.; FOELKEL, C.E.B. Tratamentos alternativos do efluente de uma indústria de celulose branqueada e papel. **Revista Ciência Florestal**, 8:93-107, 1998.

FREITAS, J.G.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C.E.O. FILHO, A.W.P.F.; FELICIO J.C.; JÚNIOR, A.P.; RAMOS V.J. Efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nas cultivares de trigo. **Bragantia**, 58:375-386,1999.

GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. CASSOL, P.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, 33:273-280, 2003.

GARGANTINI, H.; SOARES, E. Efeito do tamanho do vaso e da época de corte de plantas de trigo no estudo da ação dos nutrientes N, P e K. **Bragantia**, 32:237-244,1973.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size Analysis. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. n9. part1. 1986.  
HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, 26:381-391, 1967.

JORDAN, M.; RODRIGUEZ, E. Effect of solid residues from the cellulose industry on plant growth. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, 167:351-356, 2004.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. . Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 4:573-580, 2005.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; GATIBONI, L.C; BORTOLUZZI, E. C.; XAVIER, F.M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **Ciência Rural**, 30:605-609, 2000.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. 1965.

KEREN, R.; SHAINBERG, I.; KLEIN, E. Settling and flocculation value of sodium-montmorillonite particles in aqueous media. **Soil Science Society American Journal**, 52:76-80, 1988.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, 55:459-493, 2004.

KOPITTKE P.M.; MENZIER N.W. A review of the use of the basic cation saturation ratio and the "ideal" soil. **Soil Science Society American Journal**, 71:259-265, 2007.

LUNARDI NETO A. **Métodos para reabilitação de solo reconstruído após mineração de carvão**. Lages. 2006, 69p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2006.

MAHMOUDKHANI, M.; RICHARDS, T.; THELLANDER, H. Recycling of solid to the forest – Experimental and theoretical study of the release of sodium from lime mud and green liquor dregs aggregates. **Process Safety and Environmental Protection**, 82:230:237, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALDONADO, S.; SAMMÁM, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el nordeste argentino. **Archivos Latino Americanos de Nutrición**, 2:195-1999, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 888p.

McINTYRE, D.S. Permeability Measurements of Soil Crusts Formed by Raindrop Impact. **Soil Science Society American Journal**, 85:185-189. 1958.

McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the Midwestern United States. In: ADANS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. Madison : ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.

MILLER, W.P.; BAHARUDDIN, M.K. Relationship of soil dispersibility to infiltration and erosion of southeastern soils. **Soil Science**, Baltimore, v.14. 1986.

MILLER, W.P.; FERNKEL, H.; NEWMAN, K.D. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of Kaolinitic soil calays. **Soil Science Society American Journal**, 54:346-351, 1990.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:411-416, 1993.

MOORE, D.P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, 36:290-295, 1961.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:71-81, 2001.

MOSSOR-PIETRASZEWUSKA, T. Effect of aluminium on plant growth and metabolism (review). **Acta Biochimica Polonica**, 48:673-686, 2001.

MUNNER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. **Australian Journal Soil Research**, 29:411-423, 1989.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA R.I. Efeito 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.). **Scientia Agrícola**, 55:79-85, 1998.

NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, 38:47-57, 1996.

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**, 27:859-866, 2003.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, 14:13-17, 1996.

PAJARA, F.F.D.; TEIXEIRA, J.R.; BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústria de celulose na correção da acidez do solo. I – Aspectos

ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. **CD Room**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2 ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:885-895, 2001.

PÖÖYKIÖ, R.; NURMESNIEMI, H.; KUOKKANEN, T.; PERÄMÄKI, P. Green liquor dregs as an alternative neutralizing agent at a pulp mill. **Environmental. Chem. Lett**, 4:37-40, 2006.

POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:675-684, 1998.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubações e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed., Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285p.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:849-857, 2006.

REICHERT, J.M.; NORTON, D.L. Fluidized bed bottom-ash effects on infiltration and erosion of swelling soils. **Soil Science Society American Journal**, 58:1483-1488. 1994.

REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Fluidized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and erosion of variable-charge soils. **Soil Science Society American Journal**, 60:275-282. 1996.



REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Surface seal micromorphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. **Soil Technology**, Netherlands, 7:303-308, 1995.

RENGEL, M.; ALBUQUERQUE, J.A.; CAMILO, K.C.; RAMOS, E.; RECH, T.D.; KLAUBERG FILHO, O.; CASSOL, P.C. **Propriedades físicas e químicas de dois solos após a adição de resíduos da indústria de celulose**. In: Jornada de Pesquisa da UDESC, 1., 2001, Florianópolis. Resumos expandidos. UDESC, 2001. CDRoom.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 36., 2005, Passo Fundo. **Indicações técnicas da Comissão Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo**: inclui indicações técnicas para a cultura de triticale. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 152p

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J; BORTOLUZZI, E.C. ; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:797-805, 2000.

RODA, L.S.A. Aspectos da poluição causada por indústrias de celulose e papel. In: **ENCONTRO SOBRE A PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL E O MEIO AMBIENTE**, Anais. 115-122. 1991, Curitiba.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 19:1443-1448, 1984.

SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro Sul do Paraná. In: SÁ, J.C.M., ed. **Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto**. Ponta Grossa, Fundação ABC, 1996. p.73-107.

SANGOI, L.; BERNS, A.C.; ALMEIDA, M.L. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**. 6:1564-1570, 2007.

SANTANA A.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; SILVA, F.R.; ALBERTON, A. Uso de resíduo alcalino para corrigir a acidez de solos. **XXVI Reunião de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. XI Reunião Brasileira sobre Micorrizas. VIII Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do solo**. CD ROOM. Bonito. MS.

SANTOS, E.J. **Aplicação de calcário em solos arenosos sob sistema plantio direto e campo nativo**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.67p. (Dissertação de Mestrado)

SAS. **Statistical analysis system**. Getting Started with the SAS Learning Edition, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. 2002. 86p.

SHAINBERG, I.; SINGER, M.J. Drop impact energy-soil exchangeable sodium percentage interactions in seal formation. **Soil Science Society American Journal**, 52:1449-1452, 1988.  
SILVA, J.E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 15:329-333, 1980.

SILVA, R.J.S.; VAHL, L.C. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num Neossolo Litólico distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, 8:129-132, 2002.

SIQUEIRA, O.J.F.; BORKERT, C.M.; KOCHANN, R.A.; BARTZ, H.R.; RAMOS, M. Resposta do trigo à calagem, cultivado em sucessão com soja, em solos ácidos com diferentes teores de alumínio trocável em altos níveis de fertilidade. In: **REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE TRIGO**, 7., Passo Fundo, 1975. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1975. p.18-50.

SOBRE A PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL E O MEIO AMBIENTE, 1991, Curitiba. **Anais**. 1991. p. 115-122.

STAPPE, J.L. **O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal**. IPEF, , p.33-37, 1988. Ripasa S.A. - Celulose e Papel - Limeira – SP.

SUZUKI, A.; BASSO, C.; KITAZAWA, I.H. O uso de lama de cal como corretivo da acidez do solo. **Revista Agropecuária Catararinense**, 4:8-11, 1991.

TAYLOR, S.A; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology: The physics of irrigated and nonirrigated soils**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972, 532p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.S.B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, 64:83-88, 2005.

WALDEMAR, C.C.; HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização do Dregs e do "Grits" como corretivo da acidez e da fertilidade na agricultura. In: **CONGRESSO ANUAL**

**DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL**, 19, São Paulo, 1996.  
Trabalhos Técnicos. São Paulo, ABPC, 1986.

WATANABE, R.T.; FIORETTO, R.A.; FONSECA, J.B.; SEIFERT, A.L.; SANTIAGO, D.C.; CRESTE, J.E.; HARADA, A.; CUCOLOTTI, 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**, 26:477-484, 2005.

ZAMBRANO, M.; PARODI, V., GALLARDO F.; VIDAL, G. Characterization of dregs and grits from cellulose paste industry: study for its application to acid soils. **Afinidad**, 503:16-25, 2003.