

**ANTÔNIO LUNARDI NETO**

**MÉTODOS PARA REABILITAÇÃO DE SOLO RECONSTRUÍDO  
APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO**

**LAGES – SC  
2006**

**ANTÔNIO LUNARDI NETO**  
**Engenheiro Agrônomo – CAV**

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

**MÉTODOS PARA REABILITAÇÃO DE SOLO RECONSTRUÍDO**  
**APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO**

**Aprovado em:**

**Pela banca examinadora**

---

**JACKSON ADRIANO ALBUQUERQUE**  
**Dr. Física do Solo**

---

**ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR**  
**Dr. Gênese e Mineralogia do Solo**

---

**ÁLVARO LUIZ MAFRA**  
**Dr. Solos e Nutrição de Plantas**

---

**JAIME ANTÔNIO DE ALMEIDA**  
**Dr. Gênese e Mineralogia do Solo**

**Homologado em:**

**Por**

---

**JAIME ANTÔNIO DE ALMEIDA, Dr.**  
**Coordenador do Programa de Mestrado**  
**em Agronomia, Coordenador Técnico do**  
**Curso de Mestrado em Ciência do Solo.**

---

**ADIL KNACKFUSS VAZ, PhD**  
**Diretor Geral do Centro de Ciências**  
**Agroveterinárias.**

Eis o que diz o Senhor:

“Pegarei eu mesmo da copa do grande cedro,  
dos cimos de seus galhos cortarei um ramo,  
e eu próprio o plantarei no alto da montanha.

Eu o plantarei na alta montanha de Israel.

Ele estenderá seus galhos e dará fruto;

tornar-se-á um cedro magnífico,

onde aninharão aves de toda espécie,

instaladas à sombra de sua ramagem.

Então todas as árvores dos campos saberão que sou eu, o Senhor,

que abate a árvore soberba, e exalta o humilde arbusto,

que seca a árvore verde, e faz florescer a árvore seca.

Eu, o Senhor, o disse e o farei.”

Ezequiel, 17-22,24.

## DEDICATÓRIA

A Jesus Cristo, a quem tanto devo, pelo chamado.

A meus pais, gente simples do interior, que me ensinaram o trabalho, a educação e formaram 7 filhos em Universidades.

À minha sogra e meu sogro, gente humilde que me revelou a Sabedoria, algo que a Ciência desconhece.

À minha esposa, pela maturidade frente às adversidades da vida, e pela crença na Justiça do merecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CAV/UEDESC, pela sua existência.

Ao Prof. Dr. Jaime Antônio de Almeida, Coordenador do Programa de Mestrado em Agronomia, por permitir-me o estudo no Mestrado e pela boa palavra.

Ao Prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque, sobre cujos caminhos orientados andei a passo firme.

Aos Professores do curso, Álvaro, Paulo, Osmar, Jaime, Jackson, João, Cleimon, Doutores que me transmitiram o aprendizado científico.

Aos colegas do Mestrado, pelo convívio.

À laboratorista Fátima, pela atenção. Ao Henrique e Alcir pela amizade.

Aos bolsistas da graduação, Adálcio, Franciane, Flávio, Jaqueline e João, pela colaboração nos experimentos e trabalhos laboratoriais.

Aos funcionários da Instituição.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO RECONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO.....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1. INTRODUÇÃO.....   | 4         |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 8         |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 16        |
| 2.4. CONCLUSÕES.....   | 25        |
| 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 26        |
| <b>3. CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO RECONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO.....</b> | <b>31</b> |
| 3.1. INTRODUÇÃO.....   | 32        |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 37        |
| 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 39        |
| 3.4. CONCLUSÕES.....   | 50        |
| 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 51        |
| <b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>6. ANEXOS.....</b>  | <b>56</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, antes da implantação dos tratamentos..... 9
- Figura 2. Vista do morro decapeado após a retirada de solo utilizado para a recomposição da área onde houve exploração de carvão em Lauro Müller - SC..... 10
- Figura 3. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, durante a implantação dos tratamentos e antes do plantio do eucalipto em 2001..... 10
- Figura 4. Incorporação de corretivos ao solo com gradagem na área de mineração de carvão em Lauro Müller-SC. .... 11
- Figura 5. Escarificação do solo da área experimental em Lauro Müller-SC. .... 11
- Figura 6. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, durante a implantação dos tratamentos e antes do plantio de *Pinnus* e *Eucaliptus* em 2004. .... 13
- Figura 7. Teores de areia e silte na média das camadas avaliadas nos tratamentos. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves. .... 17
- Figura 8. Teores de argila dispersa em água e grau de floculação da argila nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves. .... 21
- Figura 9. Percentagem de microagregados e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) na média dos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves. .... 22
- Figura 10. Água Prontamente Disponível (APD) nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves. .... 23





- Figura 11. pH em água nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves. .... 42
- Figura 12. Saturação por Al nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves. .... 42
- Figura 13. Potássio trocável nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 44
- Figura 14. Sódio trocável e saturação por sódio na CTC pH<sub>7,0</sub> nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves. .... 44
- Figura 15. Cálcio e Magnésio trocáveis nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 46
- Figura 16. Relação Ca/Mg nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 46
- Figura 17. Soma de bases (SB) e saturação por bases (V) nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 47
- Figura 18. Capacidade de troca de cátions a pH 7 nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 48
- Figura 19. Fósforo extraível nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias das camadas (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves..... 49

## ÍNDICE DE TABELAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1. | Resumo da análise de variância para as causas de variação: bloco, tratamento, camada e a interação tratamento x camada para algumas propriedades físicas do solo da área reconstruída. Lauro Müller-SC, 2005.....  | 16 |
| Tabela 2. | Resumo da análise de variância para as causas de variação: bloco, tratamento, camada e a interação tratamento x camada para algumas propriedades químicas do solo da área reconstruída. Lauro Müller-SC, 2005..... | 39 |

# MÉTODOS PARA REABILITAÇÃO DE SOLO RECONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO

Autor: Engenheiro Agrônomo Antônio Lunardi Neto

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-Orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

## RESUMO GERAL

Solos reconstruídos após mineração de carvão têm suas características físicas, químicas e biológicas afetadas. Este trabalho de pesquisa objetivou avaliar os efeitos de diferentes tratamentos em área de mineração de carvão a céu aberto, conduzido no município de Lauro Müller, SC, entre os anos de 2001 e 2005, em um Anthrosol ( $\text{pH H}_2\text{O}=4,2$ ,  $\text{Al}=9,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $\text{K}=0,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $\text{P}=1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $\text{Ca}=1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $\text{Mg}=0,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e necessidade de calcário para elevar o pH do solo a  $6 = 13 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). O local do experimento é denominado “Mina do Apertado”, tendo sido minerado em 1992 e tendo seu solo reconstruído em 1995/1996. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições. Foram aplicados cinco tratamentos: 1. Testemunha, 2. Dregs (resíduo alcalino), 3. Calcário, 4. Calcário mais *Brachiaria brizantha*, 5. Calcário mais *Brachiaria brizantha* mais cama-de-aves, sendo transplantadas mudas de *Pinus taeda* e de *Eucalyptus saligna*. O calcário dolomítico e o Dregs foram incorporados a 10 cm de profundidade. Em todos os tratamentos efetuou-se adubação nitrogenada, potássica e fosfatada. Foram coletadas amostras de solo em fevereiro e março de 2005, avaliando-se o efeito dos tratamentos nos parâmetros físicos e químicos do solo nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm. Os tratamentos foram eficientes em melhorar os parâmetros químicos do solo, e nos tratamentos contendo gramíneas mais cama-de-aves houve melhorias nos parâmetros físicos do solo.

1 Dissertação de Mestrado em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC, (69 p.) – Abril, 2006.

# METHODS FOR REABILITATION OF RECONSTRUCTED SOIL AFTER COAL MINING

Author: Antônio Lunardi Neto

Adviser: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-Adviser: Dr. Álvaro Luís Mafra

## ABSTRACT

Soils of reconstructed areas after coal mining have their physicals, chemicals, and biologicals characteristics affected. This research aimed to evaluate the effects of the different treatments in coal mining area. It was conducted in Lauro Müller, county, Southern Brazil, from 2001 to 2005, in an Anthrosol (pH H<sub>2</sub>O 4,2, exchangeable Al of 9,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, K of 0,16 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, P of 1,0 mg dm<sup>-3</sup>, Ca of 1,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Mg of 0,18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> and liming requirement of 13 Mg ha<sup>-1</sup> to raise soil water pH to 6,0). The place is denominated “Mina do Apertado”, mined in 1992 and reconstructed in 1995/1996. A randomized complete block design was used, with three replications. The treatments consisted: 1. A Control, 2. Dregs (alkaline residue), 3. Lime, 4. Lime plus *Brachiaria brizantha*, 5. Lime plus *Brachiaria brizantha* plus poultry manure. Dolomitic limestone and Dregs were incorporated to 10 cm depth into the soil. Except a control, on all treatments were added on the surface: N (urea), K (potassium chloride), P (triple superphosphate). *Eucalyptus saligna* and *Pinus taeda* were transplanted on all treatments. Soil samples used in this study were collected in February and March of 2005. The modifications were evaluated in two soil layers: 0-5 and 5-10 cm. Physicals and chemicals analysis were determinate. Dregs and limestone treatments were efficient to raise pH level, basic cations and decrease exchangeable Al. In limestone treatments with *Brachiaria brizantha* there were better physicals results.

M.Sc Dissertation in Soil Science. Soil Science Department – Santa Catarina State University, Lages, SC (69p.). April, 2006.

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde o Brasil Colônia, a mineração de carvão tem papel importante na economia do País, sendo uma importante alternativa de fonte de energia em relação ao gás e ao petróleo. O Brasil tem uma produção significativa de carvão mineral tipo energético, a qual teve um crescimento constante durante a década de 1990, atingindo  $6,7 \cdot 10^6$  Mg em 2002 mas reduziu para próximo de  $5 \cdot 10^6$  Mg devido aos reservatórios das hidrelétricas brasileiras terem recuperado seu nível de segurança, o que reduziu a geração de termelétricidade a carvão mineral em 28 % no País (DNPM, 2005).

O carvão mineral constitui 2/3 dos recursos energéticos não renováveis nacionais, com reservas 20 vezes maiores que as de petróleo e 75 vezes superiores às de gás natural. A maioria das reservas de carvão mineral do Brasil está localizada nos Estados do Rio Grande do Sul (86,5 % do total) e Santa Catarina (13,2 % do total), totalizando 99,7 % do País (Sanchez & Formoso, 1990).

O Estado do Rio Grande do Sul também é atualmente o maior produtor do País, com 52% da produção, seguido de Santa Catarina com 46% e do Paraná com 1,5 % (DNPM, 2005). Em Santa Catarina, as reservas concentram-se em área alongada no sentido Norte-Sul, situada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller, com aproximadamente 70 km de comprimento por 15-20 km de largura (DNPM, 1994).

Segundo Gaivizzo et al. (2000), durante o beneficiamento de carvão, entre 30 a 40 % do material minerado é refogado, resultando grande volume de rejeitos, constituídos basicamente por materiais carbonosos e minerais; uma parcela significativa dos resíduos não tem aproveitamento, sendo disposta de forma indiscriminada no perímetro urbano e nas zonas rurais, contaminando águas, solos e ar (Rohde & Rodriguez, 2000).

Grande parte da rede hidrográfica da região carbonífera (que compõe uma área de 1900 km<sup>2</sup> na região de Criciúma, SC) apresenta-se crítica na questão de abastecimento de água (Krebs et al., 1994), devido à contaminação por metais pesados. Citam-se metais pesados como Cd, Pb, Cu e Zn ocorrendo em solos reconstruídos com resíduos de estéreis de mina (Kabata-Pendias & Pendias, 1985).

Conforme levantamento da Mitsubishi Material Corporation do Japão, a degradação ambiental em SC, derivada da mineração do carvão, atinge 4.700 ha; também relata que os rios na região de Lauro Müller/SC, próximos aos locais minerados, apresentam pH entre 2 e 4, além de metais como Fe, Al e Mn em níveis muito elevados em relação àqueles de uma boa qualidade de água (JICA, 1997).

Como consequência de explorações antigas abandonadas, sem reabilitação em suas áreas, pode citar-se o efeito das Minas de Arinterio (La Coruña, Espanha), que produzem acidificação das águas e contaminação por Al, Zn, Cu e Ni, além de sulfatos, até níveis não toleráveis para a vida animal, recreação e abastecimento (Calvo de Anta et al., 1991). Cita-se ainda a mineração a céu aberto como causa de desertificação (Porta et al., 2003), pois as áreas mineradas abandonadas, ou não reabilitadas, ficam sujeitas às ações erosivas, com os solos descobertos devido à dificuldade de crescimento de plantas.

Assim, torna-se necessário estudar métodos de reabilitação da qualidade do solo reconstruído com o objetivo inicial de revegetar para prevenir a erosão, aportar matéria orgânica, ciclar nutrientes, estruturar o solo, promover a atividade biológica e conseqüentemente a formação de novo perfil de solo.

Neste estudo serão avaliados tratamentos envolvendo adição de corretivos da acidez do solo e adubação mineral, orgânica (cama-de-aves) e semeadura de gramínea para cobertura do solo (*Brachiaria brizantha*), finalizando com o plantio de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*. Avaliações químicas e físicas do solo foram realizadas para monitorar a qualidade do solo e o efeito dos diferentes tratamentos na área reconstruída.

## 2. CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO RECONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO

Autor: Antônio Lunardi Neto

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Álvaro Luís Mafra

### RESUMO

As áreas reconstruídas após mineração de carvão apresentam-se normalmente degradadas em suas características físicas, devido ao processo empregado na sua reconstrução. Quando sem critérios técnicos, o solo reconstruído apresenta-se com pedregosidade, solo e subsolo misturados, juntamente com resíduos de estéreis da mina. Comumente não se realizam sistemas de drenagem, e o solo fica exposto à ação erosiva e com dificuldade de estabelecimento da vegetação, em função de suas características físicas, químicas e biológicas desfavoráveis. No sentido de amenizar tal problemática, instalou-se um experimento na Mina do Apertado, em Lauro Müller, SC, com delineamento de blocos ao acaso e três repetições, analisando-se os tratamentos: testemunha, Dregs, calcário, calcário + *Brachiaria brizantha*, calcário + *Brachiaria brizantha* + cama-de-aves. Foram transplantadas mudas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*. Foram efetuadas análises físicas referentes à estabilidade dos agregados, densidade, porosidade, granulometria e disponibilidade de água. Houve interação entre tratamento e profundidade somente nos parâmetros Água Prontamente Disponível (APD) e Grau de Floculação (GF). No tratamento contendo calcário, fertilização orgânica e *Brachiaria brizantha* foram observadas melhorias nas condições físicas do solo, sendo recomendado para reabilitação de solos reconstruídos com características semelhantes às da Mina do Apertado.

Palavras-chave: Áreas degradadas, mineração de carvão, Dregs.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A mineração de carvão a céu aberto vem substituindo as tradicionais minerações subterrâneas, pois maquinários modernos e custos mais reduzidos removem cada vez maiores volumes de material em menor tempo. Nesse caso, é necessário remover o solo e os materiais subjacentes (rochas ou estéreis) que se encontram sobre o carvão e depositá-los em outro local até o término da exploração, para então recolocá-los ao lugar original.

Uma das características da mineração de carvão a céu aberto é o impacto visual negativo que ocasiona, com vultosos movimentos de terra e rochas. Esse processo geralmente acarreta forte degradação ambiental, incluindo solos agrícolas e contaminação de águas, pois ao retirar-se o solo de seu estado natural é modificado todo o equilíbrio que necessitou centenas ou milhares de anos para a natureza produzir. Durante as escavações, as camadas e horizontes de solo deveriam ser separados para melhorar o processo de reconstrução, entretanto em muitas minas isto não é feito, originando áreas reconstruídas com características indesejáveis para um crescimento normal de vegetais (elevada acidez do solo, desestruturação física, baixa atividade biológica etc).

Nos solos reconstruídos os vegetais têm dificuldades para explorar camadas mais profundas devido às restrições químicas e físicas do solo, agravando a situação em caso de déficit hídrico ou de umidade excessiva. Restrições físicas são comuns, como baixa porosidade, redução na infiltração de água, sinais de escoamento superficial e transporte de solo (erosão), pedregosidade entre outros. Portanto, é necessário melhorar a qualidade física e monitorar as alterações ocorridas nestes locais.



Camillo et al. (2003) detectaram, em solos reconstruídos no Rio Grande do Sul, baixos índices de porosidade, diminuição na infiltração de água, com aumento da erosão hídrica e perda do solo da camada superficial, prejudicando o crescimento de plantas e o processo de revegetação, pontos essenciais na recuperação de áreas degradadas.

Na Mina do Apertado foi detectada deficiência na reconstrução do solo, seja pela disposição inadequada dos materiais e resíduos da mineração utilizados, seja pelos impactos negativos ocorridos nas propriedades físicas e químicas do solo reconstruído (Campos et al., 2003).

Quando se considera o solo apenas como um material estéril, por ocasião de sua retirada no momento da mineração, sem o cuidado da separação e recolocação do material edáfico em seu local original, haverá a necessidade posterior de aporte de material orgânico e de adubos (Sort & Alcaniz, 1999) além de sementes (Porta et al., 2003) ou mudas de espécies florestais.

Kämpf et al. (1997) afirmam que as propriedades físicas de solos reconstruídos pós-mineração de carvão são condicionadas pelo material de origem e pelo processo de reconstrução e Daniels & Dove (1996) assinalam que a compactação excessiva e, conseqüentemente, a capacidade de retenção de água do solo, aliada à acidez potencial, são os fatores mais limitantes ao sucesso de recuperação de áreas mineradas nos EUA, dificultando o crescimento radicular das plantas.

Em estudo de caracterização de três áreas de solos reconstruídos após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller/SC, Campos (2000) relata algumas características físicas negativas: camada superficial compactada, fraca estrutura do solo, presença de fragmentos de rocha, baixa permeabilidade de água e sinais de erosão hídrica, que dificultam o estabelecimento da vegetação.

Comentam Daniels et al. (1996) que muito pouco tem sido documentado sobre o uso de plantas florestais para a revegetação e recuperação de áreas mineradas; indicam

algumas experiências realizadas por empresas industriais que utilizaram *Pinus strobus* e *Pinus resinosa* no sudoeste da Virgínia, USA.

O material reposto na superfície, por ocasião do preenchimento da cava, pode apresentar características desfavoráveis, como baixo reaproveitamento do banco genético de sementes que se encontrava no local original, grande quantidade de pedras, variabilidade textural, baixa espessura para enraizamento e baixo teor de matéria orgânica (Porta et al., 2003), condições estas também observadas na implantação do experimento na Mina do Apertado.

É difícil encontrar sementes de espécies nativas no mercado, referentes à área cujo ambiente foi alterado, e a conservação do material edáfico para reabilitar áreas naturais implica armazenar com ele as sementes, os rizomas e os bulbos presentes na área, além de matéria orgânica e nutrientes (Porta et al., 2003).

Dalcanton et al. (2003) relatam que a atividade microbiana em solos reconstruídos em zona de mineração de carvão é menor que aquela de solos sob condições naturais, mesmo após seis anos de estabilização desse sistema; ressaltam ainda que nas áreas reconstruídas o índice de cobertura vegetal é menor em relação ao natural, desencadeando processos erosivos e conseqüente degradação ambiental, inclusive podendo tornar-se irreversível, em alguns casos. Indicam ainda que os microrganismos exerçam papel preponderante na agregação do solo, pela liberação de substâncias que agem de forma cimentante ou pela ação física das hifas dos fungos.

Mendonça (2002) concluiu que a utilização de calagem e adição de esterco animal aumentou os teores de carbono da biomassa microbiana e melhorou as características biológicas do solo reconstruído, em pesquisa realizada na Mina do Apertado, em Lauro Müller/SC, em estudo intitulado “Características biológicas indicadoras de recuperação da qualidade de um solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto com adição de calcário e esterco animal”.

Em área com solo reconstruído após a exploração de carvão a céu aberto foi instalado um experimento com o objetivo de se avaliar os parâmetros físicos do solo afetados por diferentes tratamentos, a fim de que sejam geradas informações de seus efeitos sobre sua utilização neste solo, permitindo melhorias físicas para o estabelecimento de vegetação e posterior recomendação tecnológica sustentada por pesquisas.

Para tanto, utilizou-se um resíduo alcalino de indústria de celulose (Klabin SA, unidade de Otacílio Costa, SC), com preço baixo por ser descartado em aterros sanitários pela indústria, mas que pode ser utilizado como fonte de correção da acidez do solo, devido aos seus conteúdos elevados de óxido de cálcio.

Também se utilizou calcário dolomítico e adubação orgânica (cama-de-aves), além de plantas de *Brachiaria brizantha* como cobertura superficial contra a erosão e o estabelecimento de espécies arbóreas, que ao longo do tempo poderão melhorar o ambiente superficial do solo reconstruído, devido ao acúmulo de material orgânico e ao favorecimento de atividade microbiana.

A área da Mina do Apertado, em Lauro Müller/SC, vem servindo de base experimental para estudo científico como área degradada pela mineração de carvão a céu aberto. No solo reconstruído foram realizadas pesquisas por Campos (2000), Maçaneiro (2001) e Mendonça (2002).

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no Distrito de Guatá, pertencente ao Município de Lauro Müller, SC, em localidade denominada Mina do Apertado. O município está situado nas coordenadas 28°20' S e 49°20' W, apresentando clima, segundo a classificação de Köeppen, do tipo mesotérmico úmido com verão quente (Cfa), com precipitação e temperatura média anual de 1400 mm e 19°C, respectivamente (Santa Catarina, 1986).

Conforme registra o Departamento Nacional de Produção Mineral (1987), a geologia local é constituída por rochas sedimentares das formações gonduânicas da Bacia do Paraná, representadas localmente pelas formações Palermo e Rio Bonito, camada minerada Barro Branco.

No Mapa de Solos do Mundo (FAO, 1988), há solos classificados como fortemente modificados pelas atividades humanas, sendo denominados Anthrosols (do grego anthropos= homem). Campos (2000) analisou um solo adjacente à área minerada e classificou-o como Alissolo Crômico Argilúvico (EMBRAPA, 1999), relatando sua correspondência ao antigamente denominado Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, Tb, A moderado, textura média/argilosa.

O solo reconstruído na Mina do Apertado apresentava degradação intensa, erosão hídrica e cobertura vegetal incipiente, mesmo tendo transcorrido 10 anos da sua reconstrução (Figura 1) através da utilização de solo e subsolo de um morro vizinho à área, que foi decapeado (Figura 2). Serviu de base experimental para desenvolvimento de estudos sobre a variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas do solo (Campos,

2000), do efeito da calagem e da adubação orgânica nas propriedades químicas e no estabelecimento de gramíneas (Maçaneiro, 2001) e nas suas propriedades biológicas (Mendonça, 2002). A partir dos resultados observados nesses estudos, outro experimento com o uso de calcário, cama-de-aves e *Brachiaria brizantha* foi implantado na área, conforme descrito a seguir.

Em 2001, foi iniciado o manejo do solo para a implantação do experimento, com escarificação, remoção manual de pedras para fora da área, e incorporação parcial de corretivos, seguida de gradagem para incorporação final de corretivo de acidez (Figuras 3, 4, 5 e 6).



Figura 1. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, antes da implantação dos tratamentos.



Figura 2. Vista do morro decapeado após a retirada de solo utilizado para a recomposição da área onde houve exploração de carvão em Lauro Müller - SC.



Figura 3. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, durante a implantação dos tratamentos e antes do plantio do eucalipto em 2001.



Figura 4. Incorporação de corretivos ao solo com gradagem na área de mineração de carvão em Lauro Müller-SC.



Figura 5. Escarificação do solo da área experimental em Lauro Müller-SC.

O delineamento experimental consistiu de três blocos de 25 x 18 m, cada um deles dividido em quatro parcelas de 12,5 x 9 m, onde foram aplicados os seguintes tratamentos: 1. testemunha; 2. calcário; 3. calcário + cama-de-aves e 4. calcário + cama de aves + *Brachiaria brizantha*. Em novembro de 2001 foram aplicados os tratamentos. O aporte de cama de aves constou de dose única (6 Mg ha<sup>-1</sup> de peso seco) e o calcário foi na dose de 25 Mg ha<sup>-1</sup>, PRNT 100 %. A testemunha não recebeu adubação orgânica nem calcário. Na instalação do experimento, em toda a área, o solo foi suplementado com P, K

e N nas quantidades de 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 66 kg ha<sup>-1</sup> de N, com base na recomendação oficial. A gramínea foi semeada a lanço na dose de 6,0 kg ha<sup>-1</sup>.

Foi transplantado eucalipto em toda a área do experimento, num espaçamento de 1,5 x 2,5 m, sendo adicionado mais 40 g de calcário por cova. Apesar dos tratamentos com adubos minerais, orgânicos e a calagem, o eucalipto não apresentou crescimento adequado, provavelmente por restrições físicas e químicas do solo ainda existentes. Em função disso, em agosto de 2004 os tratamentos foram reaplicados (Figura 6), introduzindo-se um tratamento adicional com a aplicação de Dregs, um resíduo alcalino da indústria de celulose, geralmente descartado em aterros sanitários e, portanto, de baixo custo para uso agrícola nas regiões próximas às indústrias de papel e celulose.

O Dregs é um material sólido de cor escura, sedimentado e removido na clarificação do licor verde. Tem sua formação pronunciada na queima do licor negro no processo de recuperação dos licores residuais gerados no polpamento da madeira. Este material, após o tanque clarificador de licor verde passa ao tanque adensador e é enviado para um filtro tipo tambor para posterior descarte (do inglês Dregs: resíduo, refugo, sedimento). Devido ao seu elevado conteúdo em óxidos de cálcio (anexo 4) o Dregs tem sido pesquisado para poder ser utilizado como corretivo de acidez em solos, apresentando o inconveniente de também possuir quantidade significativa de Na em sua constituição, o que pode facilitar a dispersão de argila (Waldemar & Herrera, 1986).

A *Brachiaria brizantha* foi a espécie escolhida porque apresentou a melhor capacidade de rebrote entre *Brachiaria brizantha*, *Setaria anceps*, *Axonopus sp.*, e *Paspalum saurea* (Maçaneiro, 2001).





Figura 6. Vista da área experimental recomposta após exploração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC, durante a implantação dos tratamentos e antes do plantio de *Pinus* e *Eucalyptus* em 2004.

A calagem foi efetuada para elevar o pH a 6,0 segundo o método do SMP (CQFS - RS/SC, 2004), com quantidade de 0,150 Mg por parcela, equivalente a 13 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, com PRNT 100 %, espalhado manualmente. Para o Dregs, a dosagem foi equivalente, efetuando-se a correção para umidade (0,24 kg kg<sup>-1</sup>), em dose de 0,225 Mg por parcela. A cama-de-aves foi aplicada na dosagem de 9 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca (dosagem maior que a do experimento anterior).

Em agosto de 2004, em todos os tratamentos, exceto na testemunha, aplicaram-se a lanço e sem incorporação doses de N, P e K correspondentes a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl). Nos tratamentos correspondentes semeou-se a *Brachiaria brizantha*, na dose de 6 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, sem incorporação.

Em outubro de 2004 foram transplantadas mudas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*, em todos os tratamentos, em covas de 0,2 x 0,2 x 0,2 m. Em cada cova adicionaram-se 72 g de calcário, 0,44 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O e 0,2 g de N. Nas parcelas contendo Dregs, misturou-se na cova 108 g do produto. Em todas as covas houve a homogeneização

do adubo e do corretivo com o solo. Utilizou-se o espaçamento de 1,5 m entre plantas x 2,5 m entre fileiras, totalizando 30 mudas/parcela, sendo 15 de *Pinus* e 15 de *Eucalyptus*.

Em dezembro de 2004 foram feitas capinas de coroamento ao redor das mudas transplantadas, assim como o corte da parte aérea das gramíneas, devido ao seu intenso estabelecimento inicial (permanecendo no local a massa vegetal cortada). Na mesma data, também foi aplicado 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, na forma de uréia, sem incorporação.

Amostras com estrutura preservada do solo foram coletadas em abril de 2005, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, em anéis com 50 mm de diâmetro interno e 53 mm de altura, acondicionadas em latas de alumínio e levadas até o laboratório, para a determinação de porosidade total (PT), macro e microporosidade, densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp), umidade gravimétrica (UG) e água prontamente disponível (APD). Nesses mesmos pontos foram coletadas amostras adicionais, acondicionadas em sacos plásticos e levadas até o laboratório, para a determinação de teores de areia, silte e argila total, argila dispersa (AD), grau de floculação (GF) e diâmetro médio ponderado (DMP).

A macro e microporosidade foram determinadas nos anéis usando-se a metodologia da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), com sucção de 0,6 m de coluna de água; a Ds pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986), após realizadas as outras determinações; a Dp, pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997); a PT foi calculada utilizando-se a fórmula:  $PT = 1 - (Ds)/(Dp)$ , sendo as unidades de porosidades em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e Ds e Dp em Mg m<sup>-3</sup>.

As amostras com estrutura preservada nos anéis foram submetidas a pressões de 0,1, 0,3, 0,5 e 1 bar utilizando a Câmara de Richards (Klute, 1986). A água prontamente disponível (APD) foi calculada pela diferença entre a água retida a -10 kPa e -100 kPa (Costa, 2005)

Amostras para determinação da estabilidade de agregados foram peneiradas entre 8,0 e 4,75 mm segundo o método de Kemper & Chepil (1965) e os resultados foram

expressos pelo diâmetro médio ponderado (DMP). As peneiras utilizadas para agitação em água foram as de tamiz: 4,75, 2,00, 1,00 e 0,25 mm. Antes da agitação os agregados permaneceram imersos em água por dez minutos e após foram submetidos à agitação por 10 minutos, com 40 oscilações/minuto e curso de oscilação vertical de 3,8 cm.

A distribuição de tamanhos de partículas foi determinada pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), usando-se água mais hidróxido de sódio (NaOH) e em outra amostra apenas a água (como dispersantes) após agitação a 150 rpm por 2 horas. A fração areia foi removida por tamisamento em peneira de 0,053 mm. As frações silte (0,002 a 0,053 mm) e argila (< 0,002 mm) foram separadas por sedimentação e posterior pipetagem da argila em suspensão. As frações argila e areia foram calculadas após pesagem em estufa a 105 graus Celsius e o silte foi calculado por diferença.

Campos (2000) analisou a mineralogia da fração argila do solo reconstruído na Mina do Apertado, sendo composta predominantemente por caulinita (reflexos em 7,15 e 3,58 Ângstrons), seguida de argilominerais 2:1 do grupo da vermiculita, com polímeros de hidróxidos de Al nas entrecamadas, e ilita (reflexos em torno de 14 e 10 Ângstrons), interestratificados mica-vermiculita (banda entre 14 e 10 Ângstrons, no segundo reflexo) e, em pequenas proporções, por quartzo (reflexo a 3,33 Ângstrons).

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. A variância foi feita pelo teste F e a comparação de médias dos efeitos principais e das interações por teste DMS em nível de 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o teste de correlação de Pearson para verificar relações entre os diferentes atributos avaliados.

### 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos modificaram alguns parâmetros físicos enquanto outros não foram afetados. Houve efeito significativo da interação entre tratamento e camada para AD, GF e APD; efeito de tratamento para areia, silte, DMP e microagregados. As demais variáveis físicas não foram modificadas significativamente pelos tratamentos ou camadas (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as causas de variação: bloco, tratamento, camada e a interação tratamento x camada para algumas propriedades físicas do solo da área reconstruída. Lauro Müller-SC, 2005.

| Causa de variação | Propriedades <sup>(1)</sup> |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|-----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | Areia                       | Silte | Arg  | AD   | GF   | Dp   | Ds   | Ma   | Mi   | PT   |
| Bloco             | 0,01                        | 0,97  | 0,00 | 0,68 | 0,47 | 0,56 | 0,82 | 0,59 | 0,64 | 0,92 |
| Tratamento        | 0,01                        | 0,03  | 0,17 | 0,01 | 0,01 | 0,21 | 0,83 | 0,08 | 0,09 | 0,48 |
| Camada            | 0,36                        | 0,98  | 0,54 | 0,01 | 0,01 | 0,56 | 0,69 | 0,69 | 0,45 | 0,63 |
| Trat x Camada     | 0,92                        | 0,64  | 0,79 | 0,01 | 0,04 | 0,25 | 0,67 | 0,58 | 0,93 | 0,69 |

| Causa de variação | Propriedades |      |      |          |      |
|-------------------|--------------|------|------|----------|------|
|                   | APD          | UV   | EAr  | Microagr | DMP  |
| Bloco             | 0,53         | 0,87 | 0,87 | 0,20     | 0,68 |
| Tratamento        | 0,20         | 0,40 | 0,34 | 0,01     | 0,04 |
| Camada            | 0,92         | 0,80 | 0,74 | 0,75     | 0,93 |
| Trat x Camada     | 0,01         | 0,51 | 0,22 | 0,99     | 0,45 |

<sup>(1)</sup> AD= argila dispersa em água; GF = grau de floculação; Ds = Densidade do solo; Dp= Densidade de partículas; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total; APD = água prontamente disponível; UV = umidade volumétrica; Ear = espaço aéreo; Microagr = percentagem de microagregados menores do que 0,25 mm e; DMP = diâmetro médio ponderado; Areia = Areia total; Silte = Silte total; Argila = Argila total.

A distribuição de tamanho das partículas variou entre os tratamentos para os teores de silte e areia (Figura 7), enquanto o teor de argila não variou, ficando com média de 280 g kg<sup>-1</sup>. O tratamento com maior teor de areia (410 g kg<sup>-1</sup>) e menor de silte

(328 g kg<sup>-1</sup>) foi a testemunha, diferindo dos que receberam corretivos da acidez (Figura 7), à exceção do tratamento que recebeu somente calcário (Cl), que apresentou valores intermediários. Estas diferenças podem ser devido à variabilidade espacial existente na área, pois a mesma foi recomposta com materiais de diversas camadas (Campos, 2001), entretanto é mais provável que seja devido à dispersão das partículas nos tratamentos com maior pH devido à criação de cargas negativas dependentes do pH (Albuquerque et al., 2000). Esta hipótese é reforçada pela correlação positiva entre teor de areia e saturação por Al ( $r= 0,37$ ;  $p=0,003$ ) e negativa com CTC<sub>pH7</sub> ( $r= - 0,30$ ;  $p=0,02$ ) (Anexo 6).

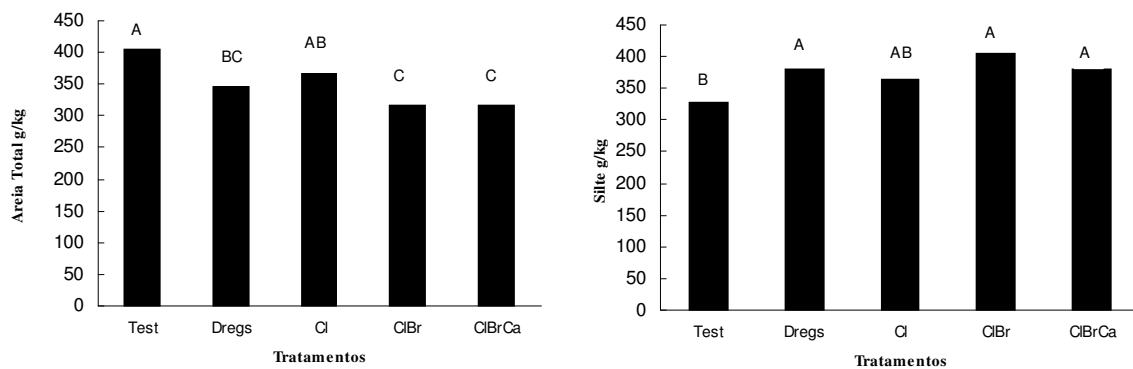


Figura 7. Teores de areia e silte na média das camadas avaliadas nos tratamentos. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

Na testemunha e no Dregs o teor de argila dispersa foi próximo de zero nas duas camadas, enquanto nos tratamentos com calcário, aumentou para 135 g kg<sup>-1</sup> no ClBr, para 222 g kg<sup>-1</sup> no ClBrCa na camada de 0 a 5 cm e para 39 g kg<sup>-1</sup> no Cl e 102 g kg<sup>-1</sup> no ClBrCa na camada de 5 a 10 cm (Figura 8).

A maior dispersão da argila reduziu o grau de floculação de próximo de 100% na testemunha para 30 a 50% nos tratamentos com calcário (Figura 8). Este efeito pode estar

associado ao aumento do pH com a redução do grau de floculação ( $r = - 0,59$ ;  $p=0,01$ ) (Anexo 6) para valores que variaram de 6,0 a 7,3 nos tratamentos com calcário, com a criação de cargas negativas dependentes do pH. Soprano (2002) trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico, no Rio Grande do Sul, concluiu que a argila dispersa em água aumentou com a quantidade de calcário aplicada, contudo foi inversamente dependente do teor de MO do solo.

No tratamento com Dregs, devido à presença de Na, era esperada maior dispersão da argila, entretanto isto não foi observado. Houve pequena diferença na acidez do solo, tendo o Dregs corrigido o solo para pH entre 6,6 a 6,8 enquanto com calcário o pH foi maior. Outra diferença entre o calcário e o Dregs é a composição dos cátions, tendo o Dregs Ca em alta quantidade e Na e Mg em baixas quantidades conforme Waldemar & Herrera (1986) (35 % de CaO, 3,6 % de MgO e 4,7 % de Na, em base seca – Anexos 4 e 5), enquanto o calcário dolomítico tem Ca em alta quantidade mas apresenta também Mg em média quantidade. Estas diferenças podem interferir na energia de ligação entre as partículas através do mecanismo de ponte de cátions.

Em alguns estudos já realizados, observa-se que a relação Ca/Mg no resíduo Dregs é muito variável, tendo Albuquerque et al. (2002) encontrado uma relação de 5/1, enquanto Bissani et al. (2003) encontraram uma relação de 40/1.

O uso do Dregs em um Cambissolo Húmico dispersou a argila em estudo realizado por Rengel et al. (2001), os quais concluíram que o uso do Dregs deve ser melhor avaliado, principalmente com relação às doses que podem ser utilizadas, para se evitar a degradação do solo em função da dispersão da argila.

Para íons de mesma valência, os de menor tamanho apresentam maior hidratação que os maiores; assim, o Na, por exemplo, apresenta maior hidratação que o K. A diferença de pressão osmótica entre a dupla camada e a solução externa relaciona-se às pressões de expansão das argilas quando absorvem água, e dependendo do estado de

hidratação e da composição dos íons trocáveis, as partículas de argila podem flocular ou dispersar (Klar, 1984). O íon Na por ser monovalente e possuir um grande raio hidratado pode produzir dispersão e quando a argila dispersada for desidratada haverá formação de uma densa massa dura, com baixa permeabilidade, o inverso ocorrendo com a argila floculada, quando ocorre a formação de pequenos agregados (Klar, 1984).

A dispersão de argila diminui a permeabilidade do solo e a infiltração da água (Reichert & Norton, 1994), pois a argila dispersa obstrui os poros e forma selo superficial facilitando o processo erosivo e a desintegração mecânica dos agregados do solo (Reichert et al., 1994).

Albuquerque et al. (2000) também encontraram dispersão de argila em experimento realizado num Latossolo Bruno em Santa Catarina, com aplicação de  $18 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário, decorrente da maior repulsão entre as partículas do solo, pelo aumento da carga líquida negativa e da espessura da dupla camada elétrica difusa, ocasionada pela substituição do Al pelo Ca e Mg.

Nunes (2002), em área de mineração de carvão, relacionou também menor GF com maior pH, em estudo de comparação de atributos físicos em solo natural comparado a solos reconstruídos em diferentes épocas. Demonstra também em seu trabalho que a argila dispersa em água apresentou um alto coeficiente de variação na camada de 0 a 10 cm, com teor variando de 1 a  $147 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os tratamentos não afetaram a densidade de partículas ( $2,52 \text{ g kg}^{-1}$ ), a densidade do solo ( $1,35 \text{ g kg}^{-1}$ ), a macroporosidade ( $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), a microporosidade ( $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), a porosidade total ( $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e o teor de MO ( $7,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Anexos 1 e 2). Entretanto, observa-se que a qualidade dos poros em toda a área está prejudicada, pois a macroporosidade encontra-se abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , valor este considerado o limite inferior para a maioria das culturas de sequeiro (Hillel, 1988). Solos com poucos macroporos apresentam sérias restrições ao crescimento vegetal diminuindo as trocas

gasosas e a infiltração de água, ocasionando maiores riscos de erosão hídrica, conforme é constatado visualmente nesta área. Desta forma, este atributo deve ser melhorado na área em questão, através da adição de matéria orgânica e de plantas de cobertura adaptadas ao ambiente.

Segundo Kiehl (1979) a relação micro/macroporos ideal está em torno de 2:1, evidenciando a má distribuição de poros nessa área reconstruída, que teve a relação média de 22:1 (Anexo 3), induzindo à redução da infiltração de água e aumento do escoamento superficial. Nunes et al. (2002) encontraram coeficientes de variação na relação micro/macroporos de até 50 % em solos reconstruídos.

Nunes et al. (2002) encontraram menores valores médios de porosidade total em solos reconstruídos no Rio Grande do Sul, em relação aos solos naturais correspondentes e atribuíram isso ao tráfego intenso de maquinário sobre a área e também devido ao modo de reconstrução dos solos, com mistura de estéreis de mina.

Um longo período de exposição do solo sem cobertura vegetal também pode ter favorecido a diminuição de macroporos e apesar de os tratamentos favorecerem melhorias na estrutura provavelmente necessitem de um maior período de tempo para manifestações mais significativas.

A densidade crítica do solo situa-se entre 1,6 a 1,8 Mg m<sup>-3</sup>, para solos de textura média (franco), conforme indicam Reynolds et al. (2002). No experimento, com o solo apresentando textura franco argilosa, a densidade média ficou em 1,35 Mg m<sup>-3</sup>, inferior, portanto, ao limite crítico.

Ceconi et al. (2005) encontraram densidade aparente média de 1,53 Mg m<sup>-3</sup> em experimento realizado em área de carvão no Rio Grande do Sul, em solo de textura franco argilosa. Daniels & Dove (1996) relatam que a compactação excessiva tem sido identificada como o maior fator físico limitante para o sucesso de recuperação de áreas mineradas nos EUA, dificultando o crescimento radicular de plantas.



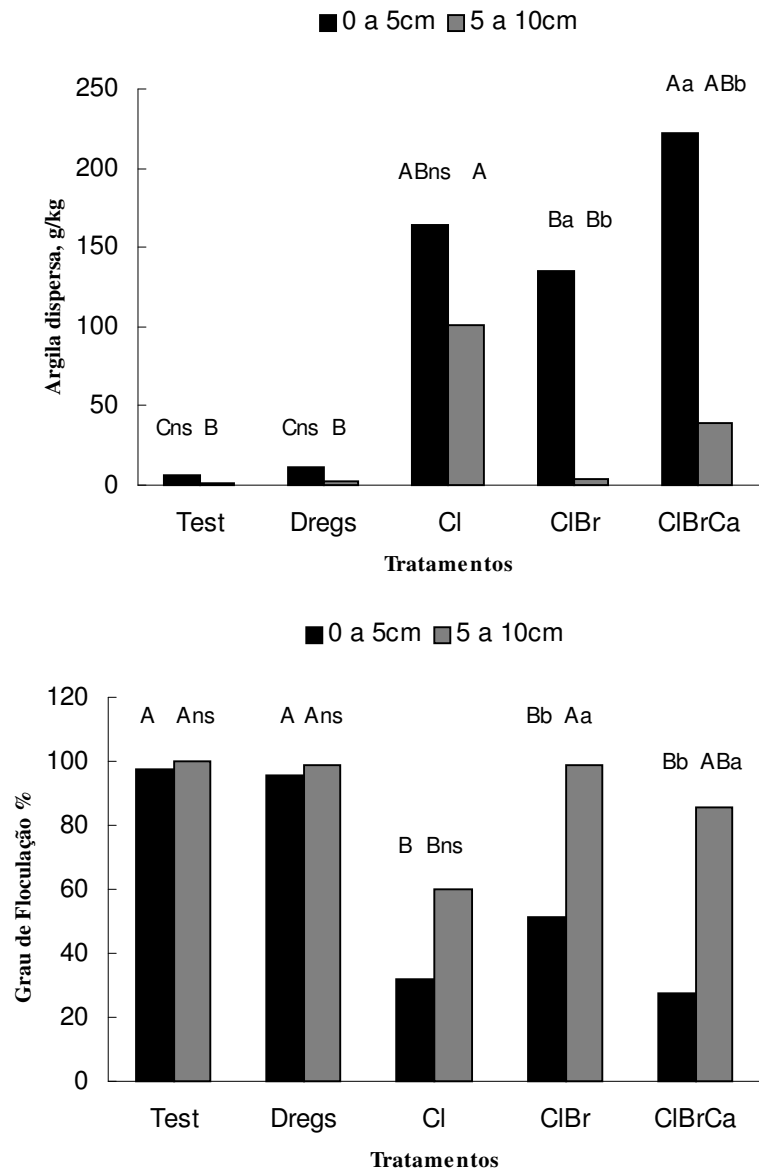


Figura 8. Teores de argila dispersa em água e grau de floculação da argila nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

O tratamento com calcário aumentou a quantidade de agregados menores que 0,25 mm (29%), denominados de microagregados, em relação à testemunha (17%), provavelmente pelo aumento do pH para 7,3 naquele tratamento, favorecendo o

enfraqüecimento das ligações entre as partículas e a dispersão da argila. Com isto foi observada uma redução do DMP no tratamento com calcário (3,1 mm) em relação à testemunha (3,9 mm). Entretanto, com a introdução de *Brachiaria* (DMP=4,1 mm) e de *Brachiaria* mais a cama-de-aves (DMP=5,0 mm) a estabilidade foi recuperada para níveis acima do solo sem corretivo (Figura 9).

Não houve relação significativa entre estabilidade de agregados e GF ( $r = -0,03$ ;  $p = 0,79$ ) (Anexo 6). Já Albuquerque et al. (2000) encontraram relação negativa entre DMP e GF num estudo em Latossolo Bruno de Santa Catarina, também observado por Costa (2001) em Latossolo Bruno do Paraná, embora na literatura existam relações positivas.

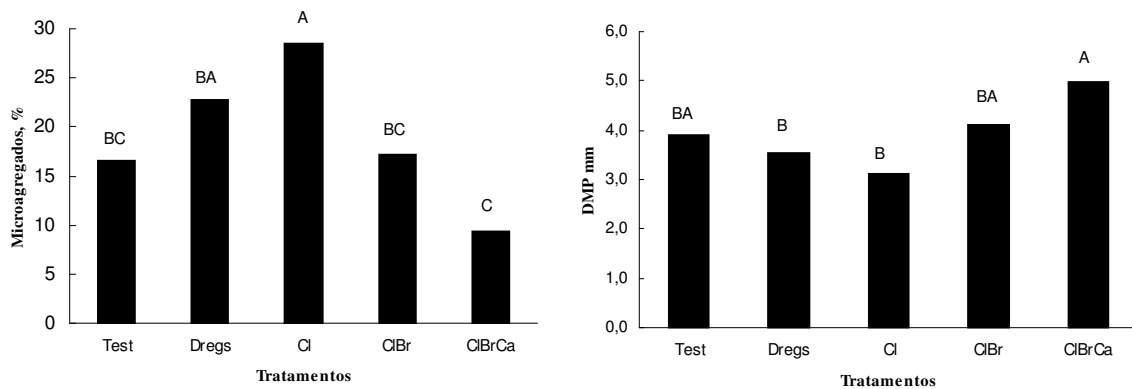


Figura 9. Percentagem de microagregados e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) na média dos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

A água prontamente disponível (APD), compreendida entre potenciais matriciais de  $-10$  a  $-100$  kPa (Costa, 2005), diferiu entre os tratamentos, variando de  $0,050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no tratamento com calcário até  $0,077 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no tratamento com Dregs, ambos na camada de 5 a 10 cm (Figura 10). Porém na testemunha a APD foi menor nas duas camadas avaliadas, enquanto no tratamento ClBrCa foi maior nas duas camadas.

Pauletto et al. (2003) em estudo realizado em solos reconstruídos após mineração de carvão e em solo natural (Argissolo Vermelho eutrófico típico) concluíram que a

quantidade de água disponível entre o Ponto de Murcha Permanente (PMP) e a Capacidade de Campo (CC) foi baixa em ambos os tipos de solo, e que a quantidade disponível na camada de 0 a 10 cm foi a mesma nos diferentes solos, porém foi menor no solo reconstruído, em relação ao solo natural, nas camadas inferiores; o mesmo indicou Leitzke (2002): que a capacidade de armazenamento de água dos solos reconstruídos é inferior à dos solos naturais.

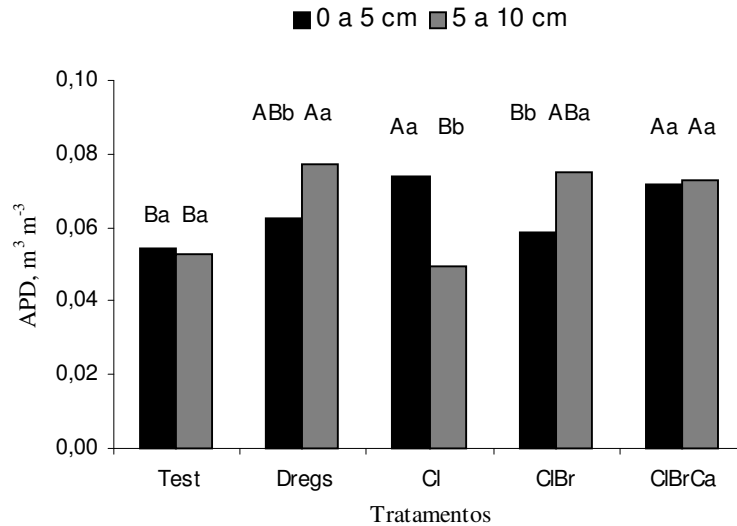


Figura 10. Água Prontamente Disponível (APD) nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

A estrutura do solo exerce influência na retenção de água desde valores de potenciais matriciais próximos a zero até valores entre -100 a -200 kPa (Hillel, 1998), enquanto a textura e a mineralogia exercem influência em tensões maiores (ou menores potenciais). É possível que o efeito de aplicação de resíduo orgânico associado com a parte aérea cortada da gramínea tenha contribuído para um aumento no teor de umidade nas parcelas do tratamento contendo calcário, fertilização orgânica e cobertura superficial com *Brachiaria brizantha*. Entretanto através da análise de correlação, observa-se que não houve correlação entre APD e argila e MO, no entanto houve correlação negativa entre

APD e Ds ( $r = -0,37$ ;  $p = 0,004$ ) (Anexo 6) apesar de a Ds não ter variado entre os tratamentos.

## 2.4. CONCLUSÕES

1. Os tratamentos não afetaram a densidade de partículas do solo, porosidade total, macro e microporosidade e umidade volumétrica. A Testemunha apresentou maiores teores de areia e menores de silte, enquanto os tratamentos com Calcário tiveram menores teores de areia e maiores de silte.
2. O teor de argila dispersa em água foi maior no tratamento com calcário enquanto o Dregs não aumentou a dispersão de argila, apesar de ter aumentado o pH e o teor de sódio trocável.
3. Tratamentos contendo Calcário e Dregs tiveram mais APD em relação à Testemunha e houve mais APD no tratamento Calcário mais cama-de-aves e *Brachiaria brizantha* em relação ao tratamento contendo Dregs.
4. Tratamentos com calcário e na presença de *Brachiaria brizantha* aumentaram o diâmetro médio ponderado (DMP), indicando melhorias físicas na estrutura do solo, sendo recomendados em solos reconstruídos após mineração de carvão a céu aberto. Tratamentos sem *Brachiaria brizantha* (Cl e Dregs) diminuíram o DMP e aumentaram os microagregados, indicando resultados físicos desfavoráveis e sugerindo a necessidade de utilização de plantas de cobertura.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:295-300, 2000.

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. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 26:1065-1073, 2002.

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.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, *American Society of Agronomy*, 1986. p. 363-375. (Agronomy, Monogr., 9).

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Perfil analítico do carvão*. 2 ed. Porto Alegre. 1987. 140 p. (Boletim, 6).

CAMILLO, M.F.; QUIÑONES,O.R.; INDA JUNIOR, A.V.; BISSANI, C.A.; GIASSON, E. Propriedades químicas de solos construídos em áreas de mineração de carvão no município de Minas do Leão, RS; Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção; *XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Ribeirão Preto, 2003.

CAMPOS, M.L.*Caracterização de três áreas de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina*. 2000. 62 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia-CAV/ UDESC, Lages, SC

CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A. & SOUZA, L.S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1123-1137, 2003

CECONI, D.E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; SCHUMACHER, M.V. & MARTINS, F.B. Caracterização química e densidade do solo em área degradada pela mineração de carvão. In: *XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2005, Recife. Solos. Sustentabilidade e qualidade ambiental, 2005.

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

COSTA, A. da. *Qualidade do solo e desenvolvimento do milho sob diferentes sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária*. 2005. 84 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia – CAV/UEDESC. Lages, SC.

COSTA, F.S. *Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo em experimento de longa duração*. 2001. 98 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia - CAV/UEDESC. Lages, SC.

DALCANTON, D.; QUADRO, M.S.; CASTILHOS, D.D.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.; HARTWIG, M.P. & SOUZA, L. Atividade microbiana em solos construídos em área de mineração de carvão. *XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Ribeirão Preto, 2003.

DANIELS, W.L. & DOVE, D. Reclamation of Coal Refuse Disposal Areas. *Department of Crop and Soil Environment Science*, Virginia State University. Public. N. 460-131, June 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412 p.

FAO/UNESCO. Soil Map of the World. Revised Legend. World Resources Report 60. FAO. Rome. Reprinted as Technical Paper 20, *ISRIC*. Wageningen, 1988.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLÜTE, A., ed. Methods of soil analysis. Madison: *American Society of Agronomy*, 1986. p.383-411. (Agronomy, Monogr. 9).

HILLEL, D. *Environmental Soil Physics*. 1 ed. New York, Academic Press, 1998. 770 p.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. & GIASSON, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. *Revista Bras. de Ciência do Solo*, 21: 79-88, 1997.

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C. A.; EVANS, D. D. & WHITE, J. L. (eds.) Methods of soil analysis. Madison: *American Society of Agronomy* 1965. p. 499-510. (Agronomy, Monogr., 9).

KIEHL, E.J. *Manual de Edafologia*. São Paulo, SP, ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979, 262p.

KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo: Nobel, 1984, 408 p.

KLUTE, A. Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods: 2 ed. Madison, ASA/SSSA, 1986, 1188 p.

LEITZKE, V.W. *Armazenagem e disponibilidade de água de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota, RS*. 2002. 129 p. (Dissertação de Mestrado). Programa de pós-graduação em Agronomia. Fac. Agron. Eliseu Maciel. UFP.Pelotas, RS.

MAÇANEIRO, K. C. . Efeito da calagem e da adubação orgânica no estabelecimento de gramíneas em área de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, SC 2001. 58 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia –CAV/UEDESC. Lages, SC.

MENDONÇA, D. Características biológicas indicadoras de recuperação da qualidade de um solo reconstruído após a mineração de carvão a céu aberto com a adição de calcário e esterco animais. 2002. 54 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia – CAV/UEDESC, Lages, SC.



NUNES, M.C.D. *Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota,RS*. 2002. 131 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas-UFPEL-Pelotas, RS.

NUNES, M.C.D.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.;LEITZKE, V.W.; SANTOS, E.; PESKE, M. & SILVA, J.B. da. Impactos da mineração de carvão sobre a densidade e a porosidade do solo ao longo de uma transeção. *Resumos da XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.1. p.61-61.

PAULETTO, E.A.; LEITZKE, V.W.; PINTO, L.F.S.; NUNES, M.C.D.; HARTWIG, M.P.; SANTOS, E.L.; WESTPHAL, M.R. & TEIXEIRA, C.F.A. Água disponível de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota/RS. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003. XIX, 1. *XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Ribeirão Preto, SP.

PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. & ROQUERO, C. *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2003. 929 p.

REICHERT, J.M. & NORTON, L .D. Fluidized Bed Bottom-Ash Effects on Infiltration and Erosion of Swelling Soils. *Soil Science Soc. Am. J.* 58:1483-1488. 1994.

REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. & HUANG, C. Sealing, Amendment, and Rain Intensity Effects on Erosion of High-Clay Soils. *Soil Science Soc. Am. J.* 58:1199-1205. 1994.

RENGEL,M.; ALBUQUERQUE, J.A.; CAMILO, K.C.; RAMOS, E.; RECH, T.D.; KLAUBER 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.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN.C.S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality. Density and storage parameters. *Geoderma*, 110:131-146, 2002.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de estatística, geografia e informática. *IBGE*, 1986.

SOPRANO, E. *Estabilidade de agregados e dispersão de argila em função da calagem*. 2002. 91 p. (Tese de Doutorado em Solos). UFRGS, Porto Alegre.

SORT,X. & ALCANIZ, J.M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research*, 49:337-345. 1999.

WALDEMAR,C.C. & HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização do Dregs e do grits como corretivo de acidez e fertilizante na agricultura. In: *XIX Congresso Anual da ABCP*, 19., São Paulo, 1986. Trabalhos técnicos. São Paulo, ABCP, 1986.

### 3. CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO RECONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO

#### RESUMO

Autor: Antônio Lunardi Neto

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-Orientador: Dr. Álvaro Luís Mafra

A oxidação de pirita em solos reconstruídos após a mineração de carvão deixa o solo extremamente ácido, a ponto de inibir o crescimento de espécies vegetais. A disponibilidade de nutrientes é afetada e a solubilidade de íons como Fe, Al e Mn pode ser aumentada em quantidades tóxicas às plantas. Na pirita, também podem ocorrer metais pesados a exemplo de Pb, Zn, Cu, As e outros. As áreas reconstruídas podem permanecer sem vegetação, com fraca estruturação do solo e maior risco de erosão hídrica. No Distrito de Guatá, Município de Lauro Müller, SC, em local denominado Mina do Apertado, realizou-se um experimento, delineado em blocos ao acaso, com três repetições, para avaliar o efeito de tratamentos de recuperação do solo, a saber: Testemunha, Dregs, Calcário, Calcário + *Brachiaria brizantha*, Calcário + *Brachiaria brizantha* + Cama-de-aves, sobre as características químicas de um solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto. Em todos os tratamentos foram aplicados adubos químicos e transplantadas mudas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*. Os tratamentos com Dregs e Calcário melhoraram as características químicas no solo, elevaram o pH e os teores de cátions básicos trocáveis e reduziram o teor e a saturação por Al. Entretanto o uso do Dregs apresentou algumas restrições. Os níveis de P apresentaram-se limitantes ao desenvolvimento de plantas em todos os tratamentos.

Palavras-chave: Áreas degradadas, Dregs, mineração de carvão.

### 3.1. INTRODUÇÃO

A mineração de carvão a céu aberto causa grande impacto ao meio ambiente. Afeta a água, o solo e o ar e suas conseqüências não se limitam ao local de mineração, mas estendem-se por um raio de quilômetros ao redor das minas (Zimmermann & Trebien, 2001).

É preconizado que após a retirada do carvão a cava gerada deve ser preenchida com o resíduo piritoso e com os fragmentos de rocha sobrejascentes, recobrando-a com o solo e subsolo anteriormente retirado da área. Por fim são feitas práticas de contenção de enxurradas no terreno e a semeadura de espécies vegetais para a fixação do solo (DNPM, 1994).

É importante que no local da mineração os horizontes de solo sejam separados em diferentes pilhas para serem utilizados na posterior recomposição da área, que deverá ser fertilizada e revegetada para minimizar o impacto ambiental. A simples reposição de materiais no local, sem maiores critérios, com o fim único de preencher a cava e diminuir o impacto visual, é uma obra mais econômica e, portanto, mais favorável a algumas empresas, mas não reabilita a área degradada. A responsabilidade da empresa na reabilitação da área degradada está regulamentada pela Constituição Federal, Art. 225, Parágrafo 2: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

A correção da acidez do solo na maioria dos casos é necessária em solos reconstruídos, seguida de adição de nutrientes, material orgânico e revegetação da área com espécies adaptadas a este ambiente. Entretanto, a legislação brasileira pertinente é omissa ou carente de detalhes quanto a estes aspectos, deixando margens a interpretações que justifiquem a má reabilitação do solo reconstruído por algumas firmas responsáveis por tal processo. O presente estudo é uma continuidade de pesquisas anteriores que avaliaram o efeito de diferentes tratamentos para melhorar as características dos solos reconstruídos após a mineração de carvão a céu aberto.

O principal objetivo destes tratamentos é melhorar a qualidade do solo e dar condições que possibilitem o crescimento de espécies para adicionar matéria orgânica e reduzir a erosão hídrica. Estas melhorias permitem que espécies florestais sejam cultivadas nestas áreas.

Kirsch (1972) define as rochas como sendo corpos terrestres que consistem em mistura de minerais que nelas estão combinados de modos específicos, sendo a maioria de origem inorgânica e apenas algumas de origem orgânica, no caso deste estudo o carvão. Discorre que a massa total de substâncias orgânicas nas rochas da superfície terrestre é formada por folhelhos ( $3 \cdot 10^{15}$  Mg), calcários ( $15 \cdot 10^{14}$  Mg) e carvões ( $6 \cdot 10^{12}$  Mg) e constituem metade do total de matéria orgânica existente na Terra.

Nos estados do RS e SC estão situadas mais de 95% das reservas de carvão do Brasil e a sua exploração causou grandes impactos ambientais. A reação ácida decorrente da oxidação da pirita constitui a principal limitação química para o estabelecimento de espécies vegetais nos solos reconstruídos.

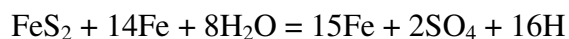
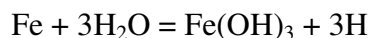
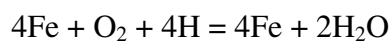
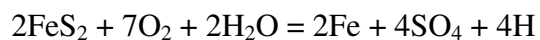
A pirita é o mais universal e abundante de todos os sulfetos, apresentando-se sob todas as condições de deposições mineralógicas. Na província de Huelva, Espanha, existem as massas de pirita mais importantes do mundo. É praticamente impossível relatar

todas as formas de sua apresentação, aparecendo em quase todos os tipos de jazidas conhecidas (Font-Altaba, 1977).

O nome pirita ( $\text{FeS}_2$ ) vem do grego Pyros e significa fogo, pois ao ser golpeada pode produzir faíscas. Sua composição química representa 46,6% de Fe e 53,4 % de S. A pirita é a forma de enxofre mais encontrada na crosta terrestre e forma-se nas mais diversas condições geológicas, sendo um dos principais constituintes empregados para a obtenção de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), com conteúdo médio de S, nas minas beneficiadas com tal fim, entre 40 e 50 % (Betejtin, 1977). Pode conter também Ni, Co, Cu, Zn, Ag, Au, As (Leprevost, 1975).

Ernst (1996) menciona a *galena* ( $\text{PbS}$ ) e a *esfalerita* ( $\text{ZnS}$ ) coexistindo com a pirita no distrito chumbo-zinco do Vale do Mississipi, em Broken Hill e em Nova Gales do Sul. No Arizona, nas jazidas de Butte, Montana e em Bisbee, a pirita está associada aos minerais de cobre *calcosita* ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), *bornita* ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) e *calcopirita* ( $\text{CuFeS}_2$ ). Citam-se metais pesados como Cd, Pb, Cu e Zn ocorrendo em solos reconstruídos com resíduos de estéreis de mina (Kabata-Pendias & Pendias, 1985).

Van Bremen (1976) em seu diagrama Eh x pH (potencial redox versus potencial hidrogeniônico) demonstra que a pirita é estável em amplo intervalo de pH, de zero a 12, sempre e quando as condições sejam redutoras (ou parcialmente redutoras). Submetida à oxidação, a pirita é instável, forma sulfato ferroso, o qual, na presença de oxigênio, transforma-se em sulfato férrico que, ao hidrolisar-se, decompõe-se em hidróxido férrico, insolúvel e ácido sulfúrico livre (Betejtin, 1977; Hossner, 1988).



A acidificação do solo até pH =2, ou menor, solubiliza elementos tóxicos. Podem chegar a alcançar concentrações tais na água que circula por esses materiais, a ponto de inibir o crescimento de espécies utilizadas na revegetação (Porta et al., 2003). Na mina de Puentes (La Coruña, Espanha), tem-se experimentos com doses de 5 a 15 Mg de calcário ha<sup>-1</sup> quando o pH é superior a 3,5 (Gil et al., 1990; Macias et al., 1992).

Na mina do Apertado, em Lauro Müller/SC, os materiais da coluna geológica não apresentam carbonatos, sendo fundamental a utilização de corretivos de acidez para o estabelecimento de plantas, conforme definiu Maçaneiro (2001).

O solo deve ser reabilitado com condições mínimas para que resulte adequado para o crescimento de plantas, inclusive com adição de adubações, quando necessárias (Alcaniz, 2001).

Acrescenta-se que há uma diferença entre os termos restaurar e reabilitar. O termo restaurar tem sido generalizado, mas sua definição implica o restabelecimento original do ecossistema alterado; no entanto é questionado se uma paisagem modificada pode ser restituída ao seu estado totalmente original. Reabilitar implica restituir ao estado anterior, mesmo não sendo o original, mas inteiramente funcional (Brown et al., 1986).

No presente trabalho avaliou-se o efeito de corretivos de acidez (calcário dolomítico e Dregs) com relação à correção do solo e à disponibilidade de nutrientes em solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto. Também plantas de cobertura foram implantadas na área, como *Brachiaria brizantha* (gramínea) e mudas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*, além de adubação orgânica com cama-de-aves.

O objetivo das gramíneas é de propiciar cobertura superficial no solo e desenvolver o sistema radicular, propiciando efeitos contra a erosão e melhorias na agregação do solo. As espécies arbóreas têm por objetivo, em prazo maior, propiciar um ambiente favorável à formação de um novo horizonte no solo, acumulando matéria orgânica e favorecendo o desenvolvimento microbiológico.

O resíduo Dregs, alcalino, de baixo custo, constitui-se como fonte alternativa em programas de correção de acidez de solo, por ser rico em óxidos de cálcio, embora apresente também problemas com alto teor de Na, o que pode tornar limitante o seu uso, quando aplicado isoladamente no solo (Waldemar & Herrera, 1986). As indústrias do setor de papel e celulose geralmente dispõem esse resíduo em aterros sanitários, e seu uso em solos reconstruídos pode ser viabilizado, utilizando-se de dados gerados por pesquisas, daí a justificativa para o seu uso neste trabalho.



### 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento para avaliação das características químicas foi o mesmo descrito no item 2.2.

As amostras para determinações químicas foram coletadas em abril de 2005, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Em fevereiro de 2005 foram coletadas amostras de solo deformadas (utilizando-se de pá-de-corte) e acondicionadas em sacos plásticos até o laboratório, para determinação dos atributos químicos, pH em água, pH SMP, pH em Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), K, Na, Ca, Mg trocáveis, P extraível, Carbono Orgânico (CO), acidez potencial (H + Al), Al trocável, saturação por Al (m) e a soma de bases (SB), saturação por bases (V) e capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ( $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ).

As amostras de solo foram secas em estufa a 60 graus Celsius, destorroadas e moídas. As análises químicas foram feitas na fração TFSA (passadas em peneira de dois mm). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por Tedesco et al. (1995). Na e K foram extraídos com solução neutra de acetato de amônio e quantificados por fotometria de chama; a acidez total (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$  em pH 7 e quantificada por titulometria de neutralização com hidróxido de sódio (NaOH); Ca e Mg foram extraídos com solução neutra de cloreto de potássio (KCl)  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; Al trocável por titulometria de neutralização com NaOH; Soma de bases (SB), saturação por bases (V),  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$  calculados conforme EMBRAPA (1997); P extraível pelo método Mehlich, com o extrator de solução ácida

contendo 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), com leitura da transmitância em colorímetro com comprimento de onda ajustado para 660 nm. As determinações de pH SMP foram feitas na relação 1:1 com leituras em potenciômetro (Tedesco et al., 1995).

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. A análise da variância foi feita através do teste F e comparação de médias dos efeitos principais e das interações por teste DMS em nível de 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se teste de correlação de Pearson para verificar relações entre os diferentes atributos avaliados.

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos modificaram as características químicas da área avaliada. Houve interação entre tratamentos e camadas para os parâmetros: K, Na e pH em água; houve efeito de tratamentos para Ca, Mg, SB, CTC<sub>a pH 7,0</sub>, V e m; houve efeito de camada para P e não houve efeito de tratamento ou camada para MO (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as causas de variação: bloco, tratamento, camada e a interação tratamento x camada para algumas propriedades químicas do solo da área reconstruída. Lauro Müller-SC, 2005.

|               | MO   | pH   | m    | K    | Na   | Ca   | Mg   | SB   | V    | P    |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Bloco         | 0,70 | 0,21 | 0,88 | 0,31 | 0,04 | 0,81 | 0,35 | 0,78 | 0,99 | 0,36 |
| Trat          | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,16 |
| Camada        | 0,09 | 0,01 | 0,22 | 0,00 | 0,06 | 0,52 | 0,74 | 0,62 | 0,47 | 0,00 |
| Trat x<br>Cam | 0,25 | 0,02 | 0,38 | 0,02 | 0,02 | 0,43 | 0,93 | 0,43 | 0,78 | 0,31 |

MO = matéria orgânica; pH = atividade do Al em solução; m = saturação por Al; K = potássio; Na = sódio; Ca= cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; V = saturação por bases e P = fósforo.

O teor de MO não foi alterado pelos tratamentos ou camadas avaliadas e na média foi de 7,4 g kg<sup>-1</sup> (Anexo 2) um pouco mais elevado que o teor encontrado por Campos (2000) na Mina do Apertado, que foi de 3,2 g kg<sup>-1</sup> (na camada de 0 a 20 cm) e muito menor que o observado no perfil do solo pré-mineração (26,6 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 23 cm), encontrado pelo mesmo autor. Este baixo teor de MO caracteriza o efeito negativo da exploração de carvão na qualidade do solo reconstruído. Além disso, na região com clima quente, os teores de Matéria Orgânica (MO) no solo geralmente não são altos, e com a mistura de horizontes nos solos reconstruídos, estes teores são ainda mais diluídos.

Com isso, os efeitos benéficos da MO sobre a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes não são observados e o crescimento de plantas fica prejudicado.

Camillo et al. (2003) relatam que em solos com 2 e 24 anos de reconstrução, no RS, foram determinados baixos valores de CO na camada de 0 a 10 cm, e menores ainda nas camadas inferiores. Os rejeitos carboníferos são naturalmente pobres em matéria orgânica (MO) e desprovidos de N por constituírem-se basicamente de rocha intemperizada e fragmentos de carvão (Daniels, 1996).

O pH do solo corrigido ficou acima de 6,0 em todos os tratamentos possibilitando a criação de uma frente de alcalinização (necessária neste ambiente em função da reação da pirita) embora para algumas culturas os valores próximo a 7 atingidos possam trazer desequilíbrios nutricionais.

O pH em água foi mais elevado no tratamento com calcário na camada de 0 a 5 cm (igual a 7,3) independentemente da presença de *Brachiaria* e/ou cama-de-aves (Figura 11). Nesta camada o Dregs elevou o pH (pH=6,6), menor portanto do que o atingido pelo calcário, embora bem superior ao solo sem corretivo (pH=4,3), muito ácido. Este comportamento foi semelhante na camada de 5 a 10 cm, embora nos tratamentos com *Brachiaria* ocorreu ligeira redução do pH em relação ao tratamento somente com calcário.

Daniels & Dove (1996) citam que a elevada acidez potencial (é o caso da testemunha), devido ao efeito tóxico do Al, pode ser causa de insucesso na revegetação de áreas mineradas por carvão, assinalando que em pH abaixo de 4,5 podem ocorrer problemas com o crescimento radicular de muitas espécies.

A aplicação de cama-de-aves na dosagem de 9 Mg ha<sup>-1</sup> parece não ter afetado o pH, como era esperado, pois esse possível aumento de pH, ocasionado pela adição de resíduo orgânico não é duradouro e depende da quantidade de fertilizante orgânico aplicado, conforme concluíram Ernani & Gianello (1983) em pesquisa realizada num solo Litólico distrófico, no Rio Grande do Sul.

A elevação do pH para níveis acima de 6 pela aplicação de corretivos em doses elevadas contrabalança o processo acidificante da pirita, quando exposta à oxidação e hidrólise (Hossner, 1988). Mas com os valores elevados de pH atingidos neste experimento levanta-se uma preocupação com relação à calagem nesse solo reconstruído, pois há o perigo de ocorrer uma supercalagem, quando da reaplicação do calcário 3 anos após a primeira calagem.

Campos et al. (2003) encontraram grande desuniformidade nos valores de H + Al entre os diversos pontos amostrados na área, com grandes variações de pH, indicando que o processo de oxidação da pirita em certos locais também foi intenso, graças à mistura localizada de resíduos piritosos com o material de cobertura. Santos et al. (2004) também encontraram grande variabilidade na acidez potencial em áreas de mineração no RS, mesmo após a aplicação de calcário, indicando que seus efeitos corretivos não foram uniformemente eficientes em toda a área.

O pH muito ácido e a elevada saturação por Al na testemunha ( $m = 70\%$ ) foram corrigidos, tendo a saturação por Al ficado próximo de zero nos tratamentos com corretivos (Figura 12). Para este parâmetro, valores acima de 20% (CQFS - RS/SC, 2004) podem ser considerados tóxicos para a maioria das culturas comerciais. Maçaneiro (2001) encontrou valores semelhantes com aplicação de tratamentos envolvendo calagem e adubação orgânica, na área da Mina do Apertado, aumentando o pH e diminuindo o Al trocável.

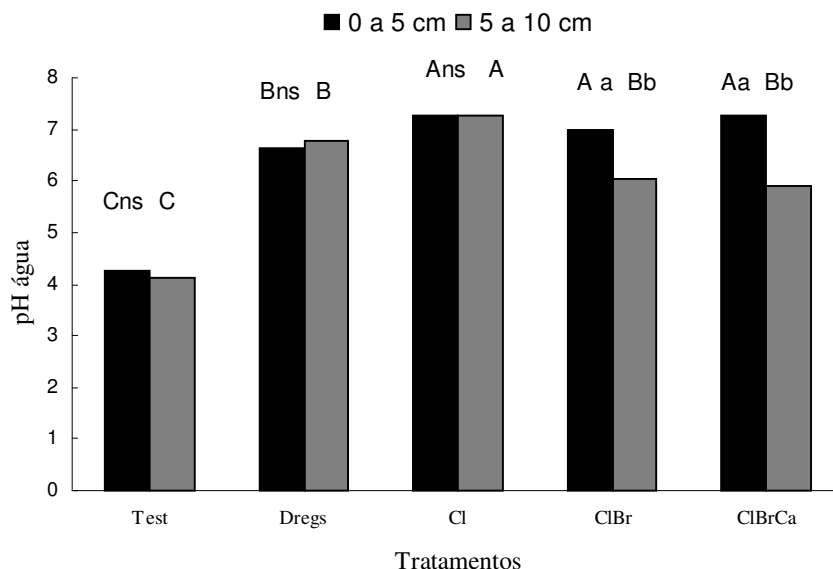


Figura 11. pH em água nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

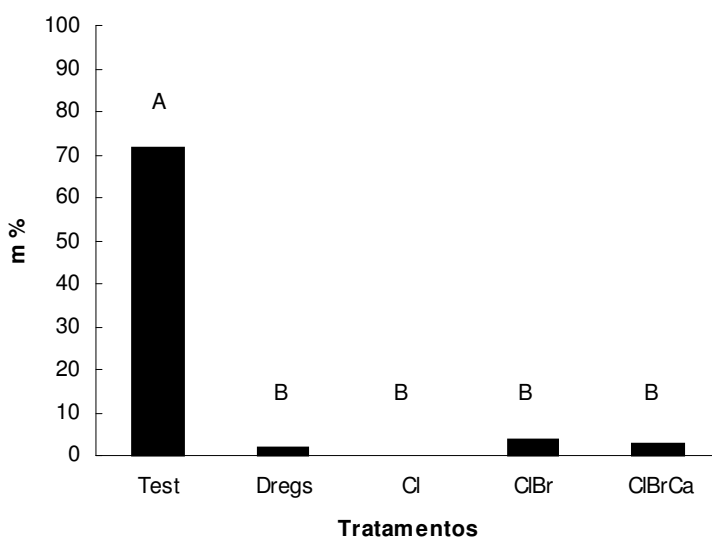


Figura 12. Saturação por Al nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de-aves.

Na camada de 0 a 5 cm, o teor de K (Figura 13) foi maior nos tratamentos com Dregs ( $0,33 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e com calcário ( $0,28 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), comparados à testemunha

(0,16  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ). Segundo a CQFS - RS/SC (2004), para solos com  $\text{CTC}_{\text{pH } 7}$  entre 5,1 e 15  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , o teor crítico de K para o desenvolvimento de culturas comerciais deve ser de 0,15  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (neste estudo a  $\text{CTC}_{\text{pH } 7}$ , variou entre 7,3  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na testemunha e 13,1  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  no tratamento com Dregs). Na testemunha, portanto, o teor de K é considerado alto, enquanto nos demais tratamentos é muito alto (Figura 13).

Com o aumento do pH para valores entre 6,5 e 7,3, na camada de 0 a 10 cm, houve criação de cargas negativas e com isso a adsorção de K pode ter sido aumentada, enquanto na testemunha, com pH de 4,2, a retenção de cátions é menor. Outro efeito a ser considerado é o deslocamento do K da fase sólida para a solução através da ação de massas, principalmente através da adição de Ca e Mg do calcário e Ca do Dregs. Este efeito pode favorecer a perda de K por lixiviação, no entanto este efeito pode não ter ocorrido ou ocorreu com baixa intensidade, já que os teores de K no solo foram maiores nas áreas com Dregs e também com calcário.

O deslocamento seletivo de elementos químicos pode ter ocorrido com o Na nos tratamentos que receberam calcário, onde o teor médio foi de 0,30  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , porém o teor determinado na testemunha foi de 0,20  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Figura 14). No tratamento com Dregs, o qual apresenta Na em sua composição química, variou entre as camadas de 0,46 (de 0 a 5 cm) a 0,72  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (de 5 a 10 cm). O maior teor de Na no tratamento com Dregs foi observado na camada de 5 a 10 cm, pois o Na é muito móvel, facilmente deslocado das cargas quando aumentam as concentrações dos elementos químicos bivalentes, a exemplo do Ca, acrescentado em quantidade elevada neste tratamento. Na área com Dregs o teor de Na é elevado, alcançando saturação no complexo de troca de até 5%.

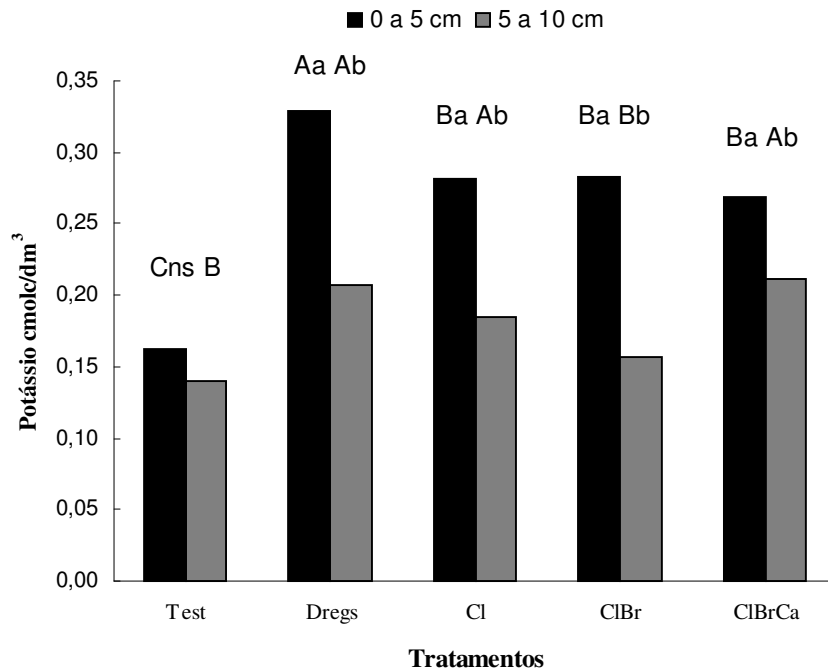


Figura 13. Potássio trocável nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

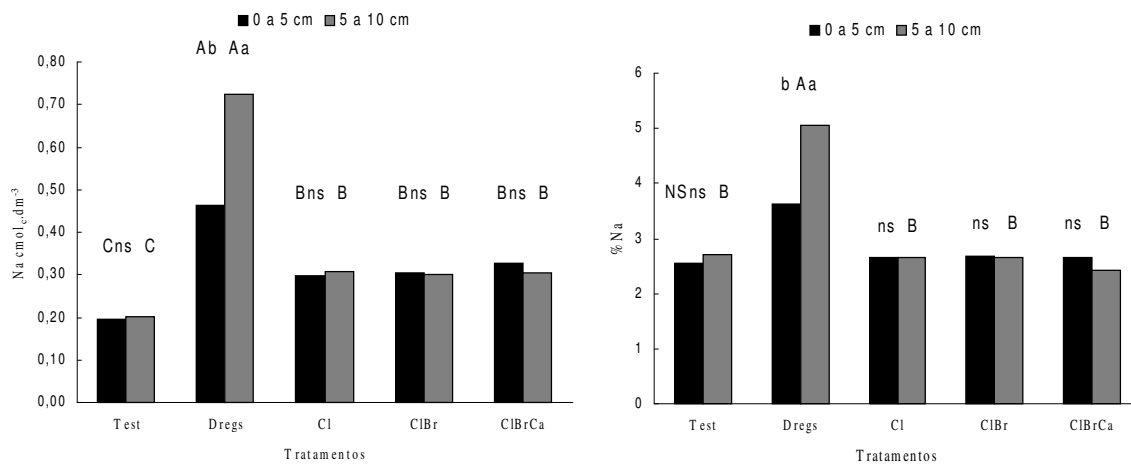


Figura 14. Sódio trocável e saturação por sódio na CTC pH<sub>7,0</sub> nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.



O teor de Ca aumentou de  $1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na testemunha para  $8,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  no solo com Dregs e próximo de  $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos tratamentos com calcário. O teor de Mg aumentou de  $0,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na testemunha para  $1,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos tratamentos com calcário enquanto no Dregs não diferiu da testemunha (Figura 15). Isto ocorreu devido à constituição do calcário, contendo Ca e Mg e do Dregs contendo mais Ca, mas pequena quantidade de Mg.

Os teores de Ca atingiram níveis altos nos tratamentos com calcário e Dregs. Também o Mg atingiu níveis altos nos tratamentos com calcário, porém o tratamento com Dregs manteve o Mg no mesmo nível crítico apresentado pela testemunha.

Maçaneiro (2001) também observou aumento nos teores de Ca e Mg em experimento realizado com solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto, em Lauro Müller, SC, por ocasião de calagem na área experimental.

A adição de calcário e Dregs, com constituições químicas diferenciadas, modificou a relação Ca/Mg de próximo de 10,5 na testemunha para 5 nos tratamentos com calcário e 50 no Dregs (Figura 16). Segundo CQFS - RS/SC (2004) esta relação varia entre 1 a 5 nos solos normais, e o rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relações variando de 0,5 até mais de 10, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência. A elevada relação Ca/Mg do solo com Dregs é uma forte limitação ao uso isolado deste resíduo em solos com baixos níveis de Mg. Poderia ser utilizado, com relação a esse problema, em solos que apresentam relação Ca/Mg estreita, ou então recomendar-se sua utilização em associação com o calcário.

Isto indica que a utilização do Dregs pode prejudicar a absorção de Mg pelas plantas devido à alta quantidade de Ca em sua constituição, e além disso a ação de massas do Ca pode deslocar o Mg para a solução e favorecer a lixiviação.

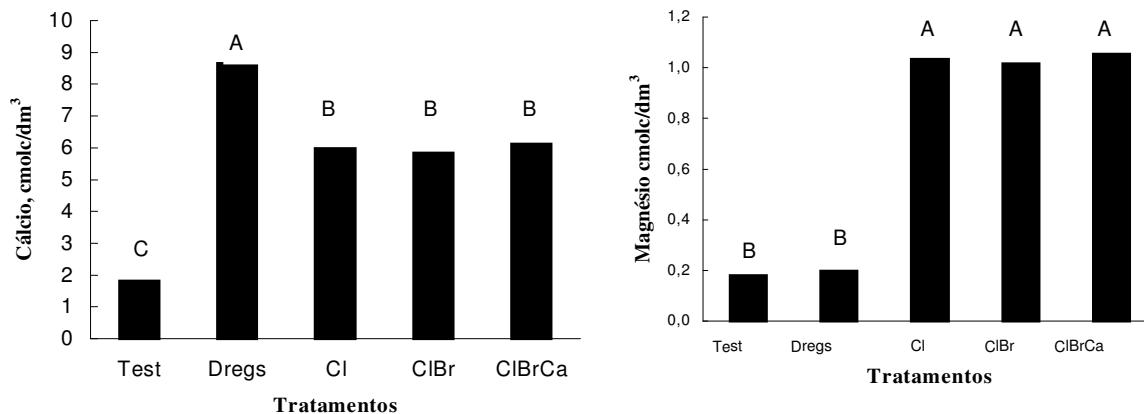


Figura 15. Cálcio e Magnésio trocáveis nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

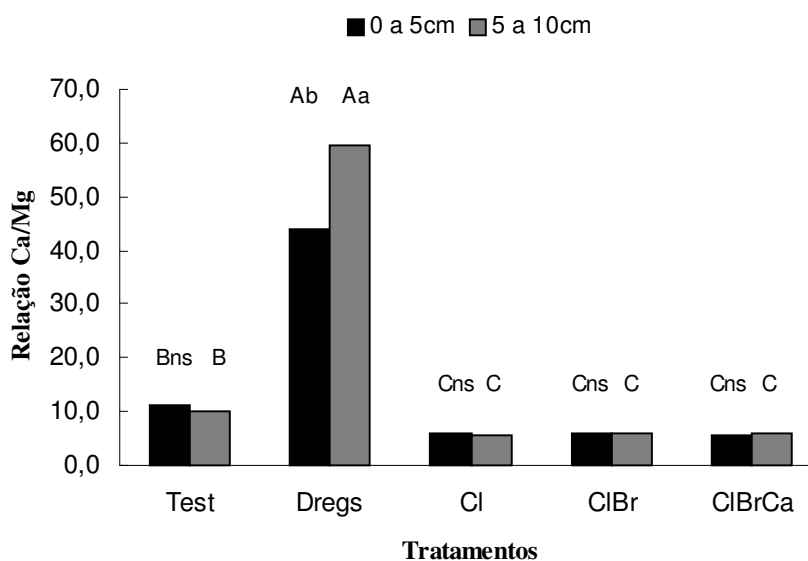


Figura 16. Relação Ca/Mg nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos em cada camada e minúsculas comparam o efeito da camada em cada tratamento (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

A soma de bases aumentou de 2,3 na testemunha para 7,5 na média dos tratamentos com calcário e 9,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> no tratamento contendo Dregs, o que aumentou a saturação por bases (V) de 30% na testemunha, para 64% na média dos tratamentos com calcário e 74% naquele com Dregs (Figura 17). A CTC pH<sub>7</sub> aumentou de 7,8 na

testemunha para 11,9 na média dos tratamentos com calcário e 13,1  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  naquele contendo Dregs (Figura 18). Portanto as doses de corretivos utilizadas foram adequadas para elevar a V para níveis recomendados pela CQFS - RS/SC (2004) para a maioria das culturas comerciais.

Os menores valores de CTC  $\text{pH}_7$  na testemunha pode ser devido à presença de polímeros amorfos de hidróxidos de Al positivamente carregados  $(\text{Al}(\text{OH})_2^+)_n$  identificados na mineralogia deste solo nas entrecamadas de argilominerais 2:1 por Campos et al (2003), os quais são fortemente sorvidos sobre a superfície das argilas, reduzindo a carga negativa superficial. Esta pode ser uma explicação para o valor da CTC  $\text{pH}_7$  na testemunha não ter acompanhado os valores dos demais tratamentos, uma vez que os teores de carbono orgânico não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Ceconi et al. (2005) também observaram aumento de SB, CTC  $\text{pH}_{7,0}$ , V e diminuição da saturação por Al (m), em estudo de caracterização química em área degradada pela mineração de carvão no Rio Grande do Sul.

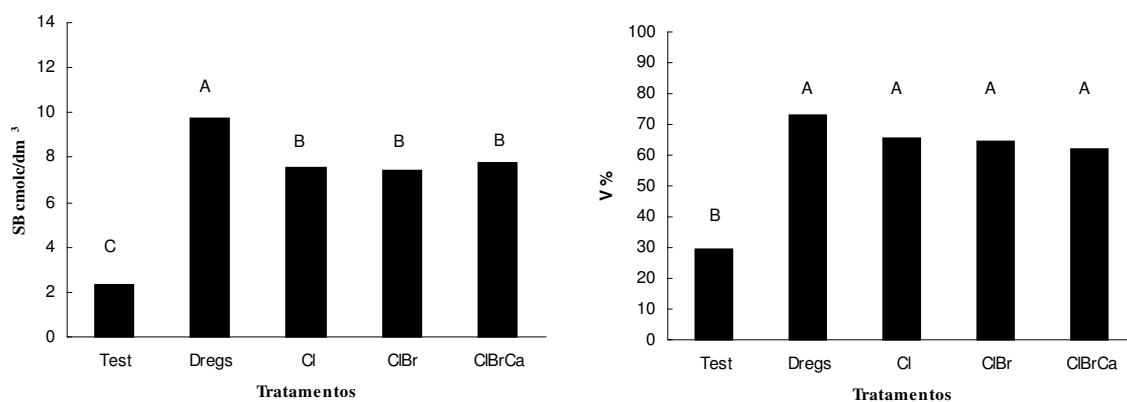


Figura 17. Soma de bases (SB) e saturação por bases (V) nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

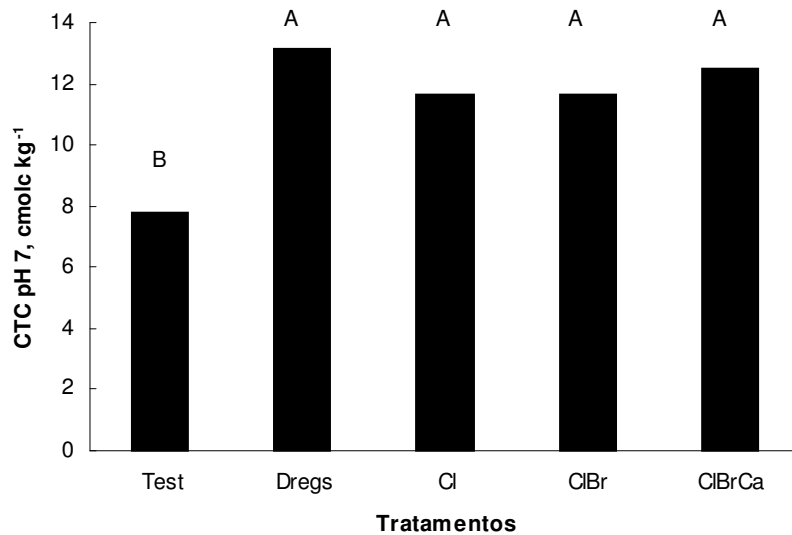


Figura 18. Capacidade de troca de cátions a pH 7 nos tratamentos avaliados. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

O teor médio de P extraível (Figura 19) não variou entre os tratamentos e na média dos tratamentos foi maior na camada de 0 a 5 cm ( $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) do que na camada de 5 a 10 cm ( $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Houve aumento do teor médio de P nos tratamentos com corretivos, entretanto a diferença significativa não ocorreu, pois o CV foi alto (84%) (Anexo 6). As maiores médias foram observadas nos tratamentos ClBrCa e Dregs pois a cama-de-aves e o Dregs contém P em sua constituição.

Santos et al. (2004) também encontraram valores de P considerados baixos e muito baixos em experimento realizado na área de mineração de carvão de Candiota, no Rio Grande do Sul, mesmo após adição de N, P, K e calagem, o mesmo ocorrendo com Ceconi et al. (2005) após adição de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK fórmula 5-20-10.

Para o solo do experimento com  $280 \text{ g .kg}^{-1}$  de argila e classe textural 3, o teor crítico de P é de  $12 \text{ mg.dm}^{-3}$ , portanto os teores presentes no solo são considerados muito baixos, de acordo com CQFS - RS/SC (2004), indicando que as plantas podem apresentar forte limitação de P na área experimental.

A baixa quantidade de P em toda a área é explicada, pois o solo é derivado de misturas de diferentes horizontes mais suas camadas subjacentes, originadas de rochas sedimentares, principalmente arenito, pobre neste nutriente.

As quantidades de SFT adicionadas foram aplicadas a lanço. Portanto, sendo o P pouco móvel no solo houve concentração na camada superficial. O aumento do pH, através da ação de oxidrilas, contribui para o deslocamento do P dos seus sítios de troca aumentando sua disponibilidade na solução, sendo, porém necessária a correção específica deste nutriente no solo.

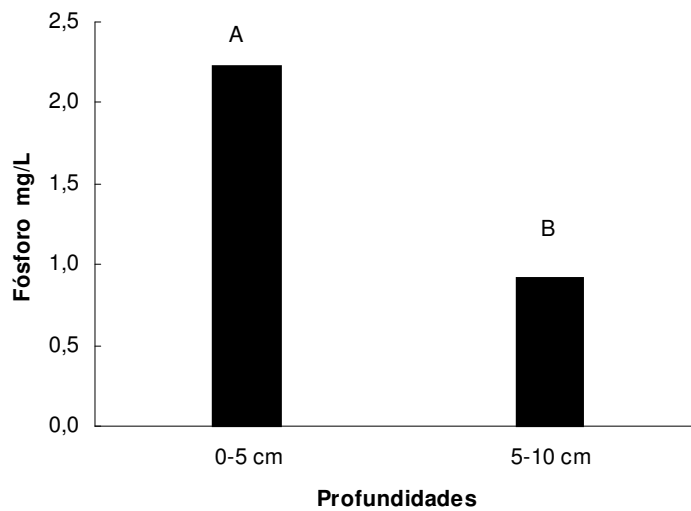


Figura 19. Fósforo extraível nos tratamentos e camadas avaliadas. Letras maiúsculas comparam médias das camadas (LSD 5%). \*Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

### 3.4. CONCLUSÕES

1. O solo reconstruído apresentou teores críticos para Ca, Mg e P, além de elevada saturação por Al, características limitantes ao desenvolvimento vegetal. A adição de calcário e Dregs em solo reconstruído após exploração de carvão modificaram as propriedades químicas do solo: diminuiu o teor e a saturação por Al, elevaram o pH, os teores de Ca, K, a soma de bases (SB), a saturação de bases (V) e a CTC pH<sub>7</sub>; o calcário elevou, ainda, os teores de Mg e o Dregs o teor de Na.
2. Apesar da qualidade química do solo ter sido melhorada pelos corretivos, o uso do Dregs elevou a relação Ca/Mg para 50, indicando possível deficiência de Mg para o desenvolvimento de plantas.
3. Os teores de P apresentaram-se limitantes ao desenvolvimento de culturas, mesmo após a adição de adubo fosfatado, sugerindo a necessidade de adubações com altas doses deste nutriente, para situações semelhantes às do experimento, por ocasião da implantação de espécies para revegetação no solo reconstruído.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANIZ, J.M. *Utilización de lodos de depuradoras urbanas en la restauración de canteras*. En: Aplicación agrícola de residuos orgánicos. J. BOIXADERA & M. R. TEIRA (eds.). V Curso de Ingeniería Ambiental: 123-141. Universidad de LLeida. LLeida, 2001.

BETEJTIN, A. *Curso de Mineralogía*. 3 ed. Editorial Mir. Moscou, 739 p. 1977.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Informativo anual da indústria carbonífera*. Brasília, 265 p. 1994.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. SENADO FEDERAL, 1988.

BROWN, D.; HALLMAN, R. G.; LEE, C.H.; SKOGERBOE, J.G.; PRICE, R.A.; PAGE, N.R.; CLAR, M.; KORT, R. & HOPKINS, H. Reclamation and vegetative restoration of problem soils and disturbed lands. *Noyes Data Corporation*, 560 pp. New Jersey, 1986.

CAMILLO, M.F.; QUINONES, O.R.; INDA JUNIOR, A.V.; BISSANI, C.A. & GIASSON, E. Propriedades químicas de solos construídos em áreas de mineração de carvão no município de Minas do Leão, RS. Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção; 2003. 1;1;4: *XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*; Ribeirão Preto.

CAMPOS, M.L. *Caracterização de três áreas de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, SC*. 2000. 62 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - CAV/UEDESC. Lages, SC.

CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A. & SOUZA, L.S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, nov./dez. 2003, vol. 27, n.6, p. 1123-1137, ISSN 0100-0683.

CECONI, D.E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; SCHUMACHER, M.V. & MARTINS, F.B. Caracterização química e densidade do solo em área degradada pela mineração de carvão. In: *XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2005, Recife. Solos. Sustentabilidade e qualidade ambiental, 2005. v.1.

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

DANIELS, W.L. Manipulating the chemical properties of mine soils and mining wastes. In: *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*, Viçosa, 1995. *Anais...* Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996, p. 867-897.

DANIELS, W.L. & DOVE, D. Reclamation of Coal Refuse Disposal Areas. Department of Crop and Soil Environmental Sciences, *Virginia Tech. Publ.* N. 460-131, June 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERNANI, P.R. & GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7:161-165, 1983.

ERNST, W.G. *Minerais e rochas*. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda, 1996. p.59-61.

FONT-ALTABA, M. *Atlas de Mineralogía*. 3 ed. Moscou. Editorial Mir, 1977. 739 p.

GIL, A.; VAL, C.; MACIAS, F. & MONTERROSO, C. Influence of waste selection in the dump reclamation at Puentes Mine. In: *Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Wastes*. En Rainbow (ed): *Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Wastes*: 203-208. 1990.

HOSSNER, L.R. *Reclamation of Surface-Mined Land*. Vol. I e II. Boca Raton, Florida, 219-250. 1988.



HOWARD, J.L.; AMOS, D.F. & DANIELS, W.L. Phosphorus and potassium relationships in southwestern Virginia coal-mine spoils. *Journal of Environmental Quality*, 17:695-700, 1988.

KIRSCH, H. *Mineralogia Aplicada*. São Paulo, Polígono, Ed. da Univ. de São Paulo, 1972. 291 p.

LEPREVOST, A. *Química analítica dos minerais*. Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A., Curitiba, UFPR, 1975. 393 p.

MAÇANEIRO, K. C. Efeito da calagem e da adubação orgânica no estabelecimento de gramíneas em área de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, SC. 2001. 58 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia - CAV-UDESC. Lages, SC

MACÍAS, F.; BARRAL, M.T.; MONTERROSO, C. & CALVO, R.M. Metales pesados en las esconbreras de la *mina* Puentes (La Coruña): influencia de las condiciones Eh-pH. *Suelo y Planta*, 2, 1:139-150. 1992.

PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. & ROQUERO, C. *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2003. 929 p.

SANTOS, N.M.L.dos; ÁVILA, M.S.V.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A. & NUNES, M.C. Caracterização química de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota, Lages, SC, 2004. In RS. *FERTBIO*, 2004.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. *Análises de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, UFRGS, 1995.

VAN BREMEN, N. Genesis and solution chemistry of acid sulfate soils in Thailand.. Pudoc. Wageningen, 262 p. 1976.

ZIMMERMAN, D. G. & TREBIEN, D. O. P. Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente. *Rev. Tecnol. Ambiente*, Criciúma, v. 7, n.1, p. 61-103. 2001.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1. Características físicas e químicas podem ser melhoradas através da adição de corretivos, fertilização mineral e orgânica, além de implantação de plantas de cobertura e de espécies florestais. Mas cabe salientar que a exploração econômica dessas áreas, da maneira como se apresenta na Mina do Apertado, pode agravar as condições físicas e químicas do solo reconstruído, dependendo do manejo utilizado.

2. A utilização de plantas de cobertura, resíduos orgânicos de qualidade e corretivos de acidez, com a implantação de espécies florestais, indica ser uma alternativa de reabilitação dos solos reconstruídos, apesar do crescimento vegetal mais lento do que nos solos naturais correspondentes. Com isso haveria proteção superficial do solo e o desenvolvimento de uma camada de solo com restos vegetais, favorecendo a formação de horizontes do solo.

3. O processo de reabilitação de solos reconstruídos após mineração de carvão a céu aberto deve ser rigorosamente acompanhado por técnicos, pois é nesta etapa que as camadas de rejeito e horizontes do solo devem ser dispostos adequadamente, em ordem inversa de sua retirada durante o processo de lavra.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Informativo anual da indústria carbonífera*. Brasília, 1994. 265 p.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Informativo anual da indústria carbonífera*. Brasília, 2005.

CALVO DE ANTA, R.; PÉREZ, A. & ÁLVAREZ, E. Efectos de las minas de Arinterio (La Coruña) sobre la calidad de agua super y subsuperficiales. *Ecología*, 5:87-100. 1991.

GAIVIZZO, L.B.; VIDOR, D. & TEDESCO, M.J. Recuperação de áreas utilizadas para depósito de rejeitos de minas de carvão. In *Carvão e meio ambiente*. Centro de ecologia e meio ambiente. UFRGS. Porto Alegre, Ed. Universidade. 2000. p. 461-468

KABATA – PENDIAS, A. & PENDIAS, H. *Trace elements in soil and plants*. Boca Raton: cRc Press, 1985. 315 p.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. Interim report for the feasibility study on recuperation of mined-out areas in the south of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil. Criciúma: *Mitsubishi Materials Corporation*, 1997, 248 p.

KREBS, A.S.J.; DIAS, A.A. & VIERO, A.C. *Áreas mineradas por carvão no município de Criciúma*, SC. 2 ed. Porto Alegre CPRM, 1994. 31 p.

PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. & ROQUERO, C. *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2003. 929 p.

ROHDE, G.M. & RODRIGUEZ, M.T.R. Diagnóstico ambiental das cinzas de carvão. In *Carvão e meio ambiente*. Centro de ecologia e meio ambiente. UFRGS. Porto Alegre, Ed. Universidade. 2000. p. 461-468.

SANCHEZ, J.C.D. & FORMOSO, M.L.L. Utilização do carvão e meio ambiente. Porto Alegre: *CIENTEC*, 1990. n. 10, 34 p.

## 6. ANEXOS

Anexo 1. Valores referentes às determinações físicas de agregados: Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Densidades do solo (Ds) e de partículas (Dp), Porosidade total (PT), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Porosidade total calculada (PTcalc); Areia total (Areia), Silte total (Silte), Argila total (Arg), Argila dispersa em água (AD), Água Prontamente Disponível (APD), Grau de Flocculação (GF) e Umidade volumétrica (UV). Trat = Tratamentos; Prof = Profundidade; Bloco = Blocos; Repc = Repetição de campo. Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

| Trat | Prof | Bloco | Repc | DMP  | DMG  | Dp   | Ds   | Ma   | Mi   | PT   | PTcalc |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| BrCl | 1    | 1     | 1    | 3,27 | 1,35 | 2,51 | 1,43 | 0,03 | 0,44 | 0,47 | 0,43   |
| BrCl | 1    | 1     | 2    | 4,09 | 2,37 | 2,38 | 1,43 | 0,01 | 0,49 | 0,50 | 0,40   |
| BrCl | 1    | 2     | 1    | 4,47 | 2,58 | 2,72 | 1,26 | 0,07 | 0,42 | 0,49 | 0,54   |
| BrCl | 1    | 2     | 2    | 4,31 | 2,58 | 2,75 | 1,41 | 0,03 | 0,46 | 0,48 | 0,49   |
| BrCl | 1    | 3     | 1    | 4,66 | 2,63 | 2,52 | 1,41 | 0,01 | 0,48 | 0,48 | 0,44   |
| BrCl | 1    | 3     | 2    | 4,25 | 2,42 | 2,46 | 1,41 | 0,00 | 0,49 | 0,50 | 0,43   |
| BrCl | 2    | 1     | 1    | 3,41 | 1,46 | 2,53 | 1,38 | 0,04 | 0,45 | 0,49 | 0,46   |
| BrCl | 2    | 1     | 2    | 4,06 | 2,60 | 2,65 | 1,18 | 0,07 | 0,57 | 0,64 | 0,55   |
| BrCl | 2    | 2     | 1    | 3,70 | 2,28 | 2,44 | 1,35 | 0,02 | 0,45 | 0,48 | 0,45   |
| BrCl | 2    | 2     | 2    | 4,75 | 3,04 | 2,44 | 1,29 | 0,08 | 0,43 | 0,51 | 0,47   |
| BrCl | 2    | 3     | 1    | 3,22 | 1,38 | 2,47 | 1,52 | 0,00 | 0,43 | 0,43 | 0,38   |
| BrCl | 2    | 3     | 2    | 4,97 | 3,51 | 2,41 | 1,52 | 0,00 | 0,43 | 0,43 | 0,37   |
| Cl   | 1    | 1     | 1    | 3,93 | 2,06 | 2,59 | 1,37 | 0,05 | 0,43 | 0,48 | 0,47   |
| Cl   | 1    | 1     | 2    | 2,56 | 0,85 | 2,51 | 1,44 | 0,04 | 0,42 | 0,45 | 0,43   |
| Cl   | 1    | 2     | 1    | 2,38 | 0,81 | 2,53 | 1,15 | 0,13 | 0,42 | 0,55 | 0,55   |
| Cl   | 1    | 2     | 2    | 2,66 | 0,94 | 2,59 | 1,29 | 0,02 | 0,47 | 0,50 | 0,50   |
| Cl   | 1    | 3     | 1    | 3,25 | 1,46 | 2,46 | 1,35 | 0,04 | 0,46 | 0,50 | 0,45   |
| Cl   | 1    | 3     | 2    | 2,78 | 1,44 | 2,54 | 1,38 | 0,03 | 0,43 | 0,46 | 0,46   |

|        |   |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cl     | 2 | 1 | 1 | 4,19 | 2,27 | 2,58 | 1,42 | 0,07 | 0,39 | 0,46 | 0,45 |
| Cl     | 2 | 1 | 2 | 2,92 | 0,97 | 2,49 | 1,48 | 0,01 | 0,45 | 0,46 | 0,41 |
| Cl     | 2 | 2 | 1 | 3,41 | 1,61 | 2,54 | 1,26 | 0,08 | 0,49 | 0,57 | 0,50 |
| Cl     | 2 | 2 | 2 | 3,56 | 1,81 | 2,44 | 1,30 | 0,05 | 0,45 | 0,50 | 0,47 |
| Cl     | 2 | 3 | 1 | 3,23 | 1,36 | 2,42 | 1,20 | 0,13 | 0,41 | 0,53 | 0,50 |
| Cl     | 2 | 3 | 2 | 2,45 | 0,84 | 2,75 | 1,39 | 0,00 | 0,48 | 0,49 | 0,50 |
| ClBrCa | 1 | 1 | 1 | 4,90 | 2,90 | 2,38 | 1,24 | 0,07 | 0,44 | 0,51 | 0,48 |
| ClBrCa | 1 | 1 | 2 | 4,53 | 2,62 | 2,47 | 1,27 | 0,07 | 0,43 | 0,50 | 0,48 |
| ClBrCa | 1 | 2 | 1 | 4,97 | 4,53 | 2,31 | 1,34 | 0,04 | 0,45 | 0,48 | 0,42 |
| ClBrCa | 1 | 2 | 2 | 4,72 | 2,91 | 2,41 | 1,26 | 0,12 | 0,38 | 0,50 | 0,48 |
| ClBrCa | 1 | 3 | 1 | 6,07 | 5,82 | 2,39 | 1,26 | 0,09 | 0,41 | 0,50 | 0,47 |
| ClBrCa | 1 | 3 | 2 | 5,89 | 5,25 | 2,40 | 1,45 | 0,01 | 0,46 | 0,47 | 0,40 |
| ClBrCa | 2 | 1 | 1 | 4,02 | 2,12 | 2,56 | 1,30 | 0,02 | 0,47 | 0,49 | 0,49 |
| ClBrCa | 2 | 1 | 2 | 4,29 | 2,50 | 2,55 | 1,27 | 0,03 | 0,50 | 0,52 | 0,50 |
| ClBrCa | 2 | 2 | 1 | 4,60 | 3,07 | 2,52 | 1,45 | 0,05 | 0,40 | 0,45 | 0,42 |
| ClBrCa | 2 | 2 | 2 | 4,55 | 2,82 | 2,51 | 1,42 | 0,06 | 0,44 | 0,50 | 0,43 |
| ClBrCa | 2 | 3 | 1 | 5,67 | 4,72 | 2,57 | 1,38 | 0,07 | 0,40 | 0,47 | 0,47 |
| ClBrCa | 2 | 3 | 2 | 5,68 | 5,15 | 2,58 | 1,32 | 0,09 | 0,41 | 0,50 | 0,49 |
| Dr     | 1 | 1 | 1 | 2,53 | 0,91 | 2,55 | 1,28 | 0,08 | 0,43 | 0,50 | 0,50 |
| Dr     | 1 | 1 | 2 | 4,04 | 2,40 | 2,55 | 1,35 | 0,04 | 0,42 | 0,46 | 0,47 |
| Dr     | 1 | 2 | 1 | 3,93 | 2,04 | 2,52 | 1,35 | 0,04 | 0,42 | 0,46 | 0,46 |
| Dr     | 1 | 2 | 2 | 2,65 | 1,09 | 2,50 | 1,35 | 0,04 | 0,42 | 0,46 | 0,46 |
| Dr     | 1 | 3 | 1 | 4,47 | 2,66 | 2,57 | 1,46 | 0,04 | 0,39 | 0,44 | 0,43 |
| Dr     | 1 | 3 | 2 | 2,57 | 1,06 | 2,60 | 1,41 | 0,04 | 0,41 | 0,46 | 0,46 |
| Dr     | 2 | 1 | 1 | 2,80 | 1,01 | 2,59 | 1,42 | 0,03 | 0,44 | 0,46 | 0,45 |
| Dr     | 2 | 1 | 2 | 2,29 | 0,89 | 2,46 | 1,39 | 0,01 | 0,48 | 0,49 | 0,43 |
| Dr     | 2 | 2 | 1 | 3,47 | 1,60 | 2,52 | 1,39 | 0,02 | 0,44 | 0,46 | 0,45 |
| Dr     | 2 | 2 | 2 | 4,17 | 2,11 | 2,62 | 1,49 | 0,04 | 0,38 | 0,41 | 0,43 |
| Dr     | 2 | 3 | 1 | 5,07 | 3,79 | 2,53 | 1,29 | 0,05 | 0,47 | 0,52 | 0,49 |
| Dr     | 2 | 3 | 2 | 4,31 | 2,56 | 2,40 | 1,34 | 0,04 | 0,44 | 0,48 | 0,44 |

|   |   |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 1 | 1 | 1 | 4,00 | 1,97 | 2,49 | 1,43 | 0,04 | 0,43 | 0,46 | 0,43 |
| T | 1 | 1 | 2 | 5,81 | 5,36 | 2,50 | 1,27 | 0,06 | 0,44 | 0,50 | 0,49 |
| T | 1 | 2 | 1 | 3,94 | 2,08 | 2,51 | 1,40 | 0,04 | 0,41 | 0,45 | 0,44 |
| T | 1 | 2 | 2 | 3,86 | 2,04 | 2,50 | 1,37 | 0,06 | 0,41 | 0,47 | 0,45 |
| T | 1 | 3 | 1 | 3,75 | 1,93 | 2,54 | 1,28 | 0,12 | 0,38 | 0,51 | 0,50 |
| T | 1 | 3 | 2 | 2,67 | 1,07 | 2,46 | 1,33 | 0,07 | 0,43 | 0,50 | 0,46 |
| T | 2 | 1 | 1 | 3,66 | 1,78 | 2,60 | 1,23 | 0,15 | 0,36 | 0,50 | 0,53 |
| T | 2 | 1 | 2 | 5,05 | 3,57 | 2,57 | 1,44 | 0,03 | 0,40 | 0,43 | 0,44 |
| T | 2 | 2 | 1 | 3,08 | 1,79 | 2,55 | 1,31 | 0,06 | 0,42 | 0,48 | 0,49 |
| T | 2 | 2 | 2 | 3,61 | 1,78 | 2,49 | 1,37 | 0,04 | 0,44 | 0,47 | 0,45 |
| T | 2 | 3 | 1 | 3,56 | 2,03 | 2,55 | 1,28 | 0,06 | 0,42 | 0,48 | 0,50 |
| T | 2 | 3 | 2 | 3,78 | 2,00 | 2,43 | 1,47 | 0,02 | 0,44 | 0,45 | 0,39 |
|   |   |   |   | 3,92 | 2,31 | 2,52 | 1,35 | 0,05 | 0,43 | 0,48 | 0,46 |

Continuação

Anexo 1. Valores referentes às determinações físicas de agregados: Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Densidades do solo (Ds) e de partículas (Dp), Porosidade total (PT), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Porosidade total calculada (PTcalc); Areia total (Areia), Silte total (Silte), Argila total (Arg), Argila dispersa em água (AD), Água Prontamente Disponível (APD), Grau de Flocculação (GF) e Umidade volumétrica (UV).

| Trat | Prof | Bloco | Repc | APD  | UV  | Areia | Silte | Arg | AD  | GF  |
|------|------|-------|------|------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|
| BrCl | 1    | 1     | 1    | 0,06 | 0,3 | 335   | 410   | 255 | 183 | 28  |
| BrCl | 1    | 1     | 2    | 0,04 | 0,3 | 328   | 416   | 257 | 199 | 22  |
| BrCl | 1    | 2     | 1    | 0,09 | 0,3 | 317   | 388   | 294 | 73  | 75  |
| BrCl | 1    | 2     | 2    | 0,05 | 0,3 | 410   | 340   | 251 | 11  | 96  |
| BrCl | 1    | 3     | 1    | 0,07 | 0,3 | 313   | 406   | 281 | 145 | 48  |
| BrCl | 1    | 3     | 2    | 0,05 | 0,3 | 258   | 423   | 319 | 200 | 37  |
| BrCl | 2    | 1     | 1    | 0,08 | 0,3 | 312   | 402   | 286 | 6   | 98  |
| BrCl | 2    | 1     | 2    | 0,06 | 0,5 | 323   | 410   | 267 | 5   | 98  |
| BrCl | 2    | 2     | 1    | 0,07 | 0,3 | 326   | 458   | 216 | 0   | 100 |
| BrCl | 2    | 2     | 2    | 0,08 | 0,3 | 287   | 402   | 311 | 0   | 100 |
| BrCl | 2    | 3     | 1    | 0,03 | 0,3 | 329   | 378   | 292 | 4   | 99  |
| BrCl | 2    | 3     | 2    | 0,03 | 0,3 | 261   | 419   | 320 | 11  | 97  |
| Cl   | 1    | 1     | 1    | 0,07 | 0,3 | 491   | 312   | 197 | 160 | 19  |
| Cl   | 1    | 1     | 2    | 0,06 | 0,3 | 405   | 363   | 232 | 192 | 18  |
| Cl   | 1    | 2     | 1    | 0,10 | 0,4 | 353   | 370   | 276 | 200 | 28  |
| Cl   | 1    | 2     | 2    | 0,08 | 0,4 | 303   | 403   | 294 | 208 | 29  |
| Cl   | 1    | 3     | 1    | 0,05 | 0,3 | 250   | 528   | 223 | 223 | 0   |
| Cl   | 1    | 3     | 2    | 0,08 | 0,3 | 375   | 332   | 293 | 5   | 98  |
| Cl   | 2    | 1     | 1    | 0,06 | 0,3 | 437   | 350   | 213 | 1   | 100 |
| Cl   | 2    | 1     | 2    | 0,04 | 0,3 | 352   | 397   | 251 | 200 | 20  |
| Cl   | 2    | 2     | 1    | 0,06 | 0,4 | 369   | 377   | 254 | 216 | 15  |
| Cl   | 2    | 2     | 2    | 0,05 | 0,3 | 368   | 374   | 258 | 178 | 31  |
| Cl   | 2    | 3     | 1    | 0,06 | 0,3 | 330   | 298   | 372 | 0   | 100 |
| Cl   | 2    | 3     | 2    | 0,04 | 0,3 | 359   | 270   | 371 | 15  | 96  |

|        |   |   |   |      |     |     |     |     |     |     |
|--------|---|---|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ClBrCa | 1 | 1 | 1 | 0,09 | 0,4 | 305 | 262 | 433 | 207 | 52  |
| ClBrCa | 1 | 1 | 2 | 0,08 | 0,3 | 359 | 395 | 246 | 226 | 8   |
| ClBrCa | 1 | 2 | 1 | 0,08 | 0,3 | 298 | 399 | 303 | 216 | 29  |
| ClBrCa | 1 | 2 | 2 | 0,06 | 0,3 | 318 | 395 | 287 | 189 | 34  |
| ClBrCa | 1 | 3 | 1 | 0,09 | 0,3 | 347 | 358 | 295 | 244 | 17  |
| ClBrCa | 1 | 3 | 2 | 0,04 | 0,3 | 323 | 345 | 332 | 248 | 25  |
| ClBrCa | 2 | 1 | 1 | 0,10 | 0,4 | 239 | 616 | 145 | 1   | 99  |
| ClBrCa | 2 | 1 | 2 | 0,10 | 0,4 | 372 | 364 | 264 | 223 | 15  |
| ClBrCa | 2 | 2 | 1 | 0,06 | 0,3 | 323 | 369 | 308 | 3   | 99  |
| ClBrCa | 2 | 2 | 2 | 0,06 | 0,3 | 367 | 341 | 292 | 0   | 100 |
| ClBrCa | 2 | 3 | 1 | 0,05 | 0,3 | 242 | 380 | 378 | 5   | 99  |
| ClBrCa | 2 | 3 | 2 | 0,06 | 0,3 | 293 | 330 | 378 | 1   | 100 |
| Dr     | 1 | 1 | 1 | 0,08 | 0,3 | 414 | 365 | 222 | 19  | 92  |
| Dr     | 1 | 1 | 2 | 0,05 | 0,3 | 393 | 384 | 223 | 0   | 100 |
| Dr     | 1 | 2 | 1 | 0,07 | 0,3 | 354 | 385 | 260 | 2   | 99  |
| Dr     | 1 | 2 | 2 | 0,07 | 0,3 | 295 | 380 | 325 | 0   | 100 |
| Dr     | 1 | 3 | 1 | 0,05 | 0,3 | 312 | 403 | 285 | 18  | 94  |
| Dr     | 1 | 3 | 2 | 0,05 | 0,3 | 323 | 418 | 259 | 26  | 90  |
| Dr     | 2 | 1 | 1 | 0,06 | 0,3 | 443 | 327 | 230 | 3   | 99  |
| Dr     | 2 | 1 | 2 | 0,09 | 0,3 | 408 | 359 | 233 | 1   | 100 |
| Dr     | 2 | 2 | 1 | 0,10 | 0,3 | 366 | 394 | 241 | 6   | 98  |
| Dr     | 2 | 2 | 2 | 0,06 | 0,2 | 294 | 307 | 399 | 3   | 99  |
| Dr     | 2 | 3 | 1 | 0,09 | 0,3 | 239 | 426 | 335 | 0   | 100 |
| Dr     | 2 | 3 | 2 | 0,06 | 0,3 | 311 | 406 | 283 | 3   | 99  |
| T      | 1 | 1 | 1 | 0,05 | 0,3 | 472 | 292 | 236 | 4   | 98  |
| T      | 1 | 1 | 2 | 0,05 | 0,3 | 387 | 367 | 247 | 0   | 100 |
| T      | 1 | 2 | 1 | 0,06 | 0,3 | 433 | 306 | 261 | 22  | 92  |
| T      | 1 | 2 | 2 | 0,05 | 0,3 | 394 | 343 | 263 | 7   | 97  |
| T      | 1 | 3 | 1 | 0,05 | 0,3 | 390 | 321 | 289 | 2   | 99  |



|       |   |   |   |       |      |     |     |     |    |     |
|-------|---|---|---|-------|------|-----|-----|-----|----|-----|
| T     | 1 | 3 | 2 | 0,06  | 0,3  | 390 | 321 | 289 | 0  | 100 |
| T     | 2 | 1 | 1 | 0,04  | 0,3  | 447 | 319 | 233 | 0  | 100 |
| T     | 2 | 1 | 2 | 0,06  | 0,3  | 405 | 340 | 256 | 0  | 100 |
| T     | 2 | 2 | 1 | 0,06  | 0,3  | 428 | 338 | 234 | 0  | 100 |
| T     | 2 | 2 | 2 | 0,04  | 0,3  | 395 | 317 | 288 | 1  | 100 |
| T     | 2 | 3 | 1 | 0,07  | 0,3  | 323 | 342 | 335 | 1  | 100 |
| T     | 2 | 3 | 2 | 0,05  | 0,3  | 398 | 337 | 265 | 2  | 99  |
| MÉDIA |   |   |   | 0,065 | 0,32 | 350 | 371 | 279 | 69 | 75  |



Anexo 2. Valores referentes a análises químicas de pH em água, SMP, CaCl<sub>2</sub>, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Hidrogênio + Alumínio, Alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Fósforo (mg.dm<sup>-3</sup>), Matéria Orgânica (g dm<sup>-3</sup>), Carbono Orgânico (g.dm<sup>-3</sup>), Soma de Bases, CTC<sub>a</sub> pH 7,0, Saturação por Bases e Saturação por Alumínio da área recomposta após mineração de carvão em Lauro Müller-SC. Trat = Tratamentos; Prof = Profundidade; Bloco = Blocos; Repc = Repetição de campo. Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

| Trat | Prof | Bloco | Repc | pHagua | pHsmp | pHCaCl | K    | Na   | Ca   | Mg   | H+Al | Al  |
|------|------|-------|------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----|
| BrCl | 1    | 1     | 1    | 7,3    | 7,6   | 7,6    | 0,30 | 0,36 | 5,70 | 0,93 | 4,0  | 0,0 |
| BrCl | 1    | 1     | 2    | 7,2    | 7,5   | 7,0    | 0,31 | 0,40 | 5,40 | 0,91 | 4,0  | 0,0 |
| BrCl | 1    | 2     | 1    | 6,6    | 7,3   | 6,5    | 0,28 | 0,26 | 6,10 | 1,03 | 6,1  | 0,0 |
| BrCl | 1    | 2     | 2    | 7,2    | 7,5   | 7,0    | 0,27 | 0,27 | 6,50 | 1,00 | 4,3  | 0,0 |
| BrCl | 1    | 3     | 1    | 7,0    | 7,4   | 6,8    | 0,26 | 0,29 | 7,00 | 1,13 | 3,2  | 0,0 |
| BrCl | 1    | 3     | 2    | 6,7    | 7,2   | 6,4    | 0,28 | 0,25 | 5,10 | 0,97 | 2,4  | 0,0 |
| BrCl | 2    | 1     | 1    | 4,4    | 5,6   | 4,5    | 0,14 | 0,33 | 3,70 | 0,41 | 7,4  | 3,9 |
| BrCl | 2    | 1     | 2    | 6,8    | 7,3   | 6,7    | 0,16 | 0,35 | 5,30 | 1,02 | 3,8  | 0,0 |
| BrCl | 2    | 2     | 1    | 5,7    | 6,9   | 5,9    | 0,15 | 0,28 | 7,80 | 1,36 | 5,3  | 0,0 |
| BrCl | 2    | 2     | 2    | 6,2    | 7,1   | 6,0    | 0,15 | 0,29 | 6,30 | 1,22 | 5,6  | 0,0 |
| BrCl | 2    | 3     | 1    | 6,3    | 7,1   | 6,2    | 0,18 | 0,28 | 5,80 | 1,16 | 3,2  | 0,0 |
| BrCl | 2    | 3     | 2    | 6,8    | 7,3   | 6,7    | 0,16 | 0,28 | 5,40 | 1,05 | 1,6  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 1     | 1    | 7,2    | 7,5   | 7,0    | 0,26 | 0,27 | 5,10 | 0,83 | 4,6  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 1     | 2    | 7,5    | 7,5   | 7,2    | 0,26 | 0,40 | 6,10 | 0,96 | 3,0  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 2     | 1    | 7,4    | 7,5   | 7,2    | 0,46 | 0,27 | 6,50 | 1,11 | 3,2  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 2     | 2    | 7,4    | 7,4   | 7,2    | 0,33 | 0,30 | 5,80 | 1,01 | 3,2  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 3     | 1    | 7,2    | 7,4   | 6,0    | 0,19 | 0,28 | 7,10 | 1,13 | 4,8  | 0,0 |
| Cl   | 1    | 3     | 2    | 7,0    | 7,3   | 6,8    | 0,19 | 0,27 | 5,70 | 1,11 | 3,0  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 1     | 1    | 7,2    | 7,5   | 7,1    | 0,15 | 0,29 | 5,50 | 0,91 | 3,2  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 1     | 2    | 7,6    | 7,5   | 7,3    | 0,19 | 0,43 | 5,50 | 0,85 | 3,0  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 2     | 1    | 7,6    | 7,5   | 7,3    | 0,18 | 0,27 | 6,60 | 1,14 | 4,8  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 2     | 2    | 7,7    | 7,6   | 7,4    | 0,33 | 0,28 | 5,80 | 0,96 | 4,5  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 3     | 1    | 6,9    | 7,3   | 6,6    | 0,11 | 0,31 | 6,70 | 1,22 | 5,8  | 0,0 |
| Cl   | 2    | 3     | 2    | 6,7    | 7,2   | 6,6    | 0,15 | 0,27 | 5,30 | 1,17 | 5,8  | 0,0 |

|        |   |   |   |     |     |     |      |      |       |      |     |     |
|--------|---|---|---|-----|-----|-----|------|------|-------|------|-----|-----|
| ClBrCa | 1 | 1 | 1 | 7,3 | 7,4 | 7,1 | 0,35 | 0,35 | 5,10  | 0,92 | 5,8 | 0,0 |
| ClBrCa | 1 | 1 | 2 | 7,5 | 7,6 | 7,2 | 0,21 | 0,40 | 5,90  | 0,96 | 4,7 | 0,0 |
| ClBrCa | 1 | 2 | 1 | 7,1 | 7,3 | 7,0 | 0,25 | 0,30 | 6,40  | 1,14 | 3,2 | 0,0 |
| ClBrCa | 1 | 2 | 2 | 7,0 | 7,4 | 6,8 | 0,28 | 0,31 | 6,30  | 1,05 | 5,3 | 0,0 |
| ClBrCa | 1 | 3 | 1 | 7,4 | 7,5 | 7,1 | 0,28 | 0,29 | 5,30  | 1,03 | 4,6 | 0,0 |
| ClBrCa | 1 | 3 | 2 | 7,3 | 7,4 | 7,0 | 0,26 | 0,32 | 6,60  | 1,11 | 4,8 | 0,0 |
| ClBrCa | 2 | 1 | 1 | 4,8 | 6,2 | 4,7 | 0,18 | 0,30 | 5,30  | 0,70 | 6,6 | 2,3 |
| ClBrCa | 2 | 1 | 2 | 7,7 | 7,5 | 7,4 | 0,19 | 0,37 | 6,50  | 0,95 | 2,6 | 0,0 |
| ClBrCa | 2 | 2 | 1 | 5,4 | 6,8 | 5,3 | 0,21 | 0,32 | 6,70  | 1,16 | 3,7 | 0,3 |
| ClBrCa | 2 | 2 | 2 | 5,8 | 7,0 | 5,8 | 0,23 | 0,29 | 6,10  | 1,17 | 4,0 | 0,0 |
| ClBrCa | 2 | 3 | 1 | 5,8 | 6,7 | 5,5 | 0,29 | 0,28 | 6,60  | 1,26 | 6,1 | 0,5 |
| ClBrCa | 2 | 3 | 2 | 5,9 | 6,8 | 5,7 | 0,16 | 0,27 | 6,70  | 1,19 | 6,2 | 0,0 |
| Dr     | 1 | 1 | 1 | 6,4 | 7,5 | 7,3 | 0,30 | 0,60 | 8,00  | 0,26 | 3,7 | 0,0 |
| Dr     | 1 | 1 | 2 | 7,5 | 7,5 | 7,4 | 0,33 | 0,57 | 9,20  | 0,26 | 4,3 | 0,0 |
| Dr     | 1 | 2 | 1 | 6,4 | 7,0 | 6,3 | 0,21 | 0,43 | 10,60 | 0,26 | 3,2 | 0,0 |
| Dr     | 1 | 2 | 2 | 5,0 | 6,3 | 4,8 | 0,46 | 0,26 | 4,70  | 0,24 | 4,0 | 1,5 |
| Dr     | 1 | 3 | 1 | 7,0 | 7,3 | 6,9 | 0,26 | 0,33 | 8,10  | 0,20 | 2,4 | 0,0 |
| Dr     | 1 | 3 | 2 | 7,5 | 7,5 | 7,4 | 0,42 | 0,58 | 8,60  | 0,09 | 2,9 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 1 | 1 | 7,5 | 7,5 | 7,4 | 0,24 | 0,87 | 9,80  | 0,14 | 3,0 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 1 | 2 | 7,0 | 7,3 | 6,9 | 0,18 | 0,94 | 9,30  | 0,23 | 3,7 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 2 | 1 | 7,0 | 7,3 | 6,9 | 0,12 | 1,27 | 11,80 | 0,20 | 3,2 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 2 | 2 | 6,2 | 7,1 | 6,2 | 0,27 | 0,28 | 8,50  | 0,25 | 3,2 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 3 | 1 | 5,8 | 6,7 | 5,6 | 0,15 | 0,29 | 5,80  | 0,16 | 4,6 | 0,0 |
| Dr     | 2 | 3 | 2 | 7,2 | 7,3 | 7,1 | 0,29 | 0,70 | 9,50  | 0,08 | 3,0 | 0,0 |
| T      | 1 | 1 | 1 | 4,7 | 5,8 | 4,3 | 0,13 | 0,20 | 2,90  | 0,35 | 6,6 | 3,7 |
| T      | 1 | 1 | 2 | 4,4 | 5,5 | 4,6 | 0,14 | 0,19 | 2,60  | 0,26 | 4,8 | 4,9 |
| T      | 1 | 2 | 1 | 4,1 | 4,9 | 3,9 | 0,15 | 0,19 | 1,80  | 0,11 | 4,0 | 6,4 |
| T      | 1 | 2 | 2 | 4,2 | 4,6 | 3,8 | 0,30 | 0,18 | 0,40  | 0,05 | 5,0 | 6,3 |
| T      | 1 | 3 | 1 | 4,2 | 4,6 | 3,9 | 0,14 | 0,20 | 1,70  | 0,16 | 5,0 | 7,5 |

|       |   |   |   |     |     |     |      |      |      |      |     |     |
|-------|---|---|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|
| T     | 1 | 3 | 2 | 4,0 | 4,4 | 3,7 | 0,11 | 0,21 | 2,00 | 0,14 | 7,8 | 7,7 |
| T     | 2 | 1 | 1 | 4,6 | 5,6 | 4,2 | 0,11 | 0,20 | 2,90 | 0,30 | 4,8 | 3,9 |
| T     | 2 | 1 | 2 | 4,4 | 5,2 | 4,1 | 0,10 | 0,23 | 2,20 | 0,31 | 5,3 | 5,3 |
| T     | 2 | 2 | 1 | 4,0 | 4,7 | 3,8 | 0,12 | 0,18 | 1,80 | 0,12 | 4,8 | 6,0 |
| T     | 2 | 2 | 2 | 3,8 | 4,4 | 3,7 | 0,19 | 0,18 | 0,40 | 0,10 | 4,0 | 7,7 |
| T     | 2 | 3 | 1 | 4,1 | 4,6 | 3,8 | 0,18 | 0,20 | 1,20 | 0,14 | 6,2 | 6,6 |
| T     | 2 | 3 | 2 | 3,9 | 4,3 | 3,7 | 0,14 | 0,23 | 1,90 | 0,12 | 7,4 | 7,9 |
| MÉDIA |   |   |   | 6,3 | 6,8 | 6,1 | 0,22 | 0,34 | 6,68 | 0,70 | 4,4 | 1,4 |

Continuação

Anexo 2. Valores referentes a análises químicas de pH em água, SMP, CaCl<sub>2</sub>, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Hidrogênio + Alumínio, Alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Fósforo (mg.dm<sup>-3</sup>), Matéria Orgânica (g dm<sup>-3</sup>), Carbono Orgânico (g.dm<sup>-3</sup>), Soma de Bases, CTC<sub>a</sub> pH 7,0, Saturação por Bases e Saturação por Alumínio da área recomposta após mineração de carvão em Lauro Müller-SC.

| Trat | Prof | Bloco | Repc | P   | MO  | SB  | CTC7 | V  | m  | CO  |
|------|------|-------|------|-----|-----|-----|------|----|----|-----|
| BrCl | 1    | 1     | 1    | 1,9 | 0,8 | 7,3 | 11,3 | 65 | 0  | 4,9 |
| BrCl | 1    | 1     | 2    | 2,5 | 1,1 | 7,0 | 11,0 | 64 | 0  | 6,5 |
| BrCl | 1    | 2     | 1    | 3,2 | 0,9 | 7,7 | 13,7 | 56 | 0  | 5,3 |
| BrCl | 1    | 2     | 2    | 3,4 | 0,9 | 8,0 | 12,4 | 65 | 0  | 5,4 |
| BrCl | 1    | 3     | 1    | 1,8 | 0,2 | 8,7 | 11,9 | 73 | 0  | 1,5 |
| BrCl | 1    | 3     | 2    | 2,3 | 0,3 | 6,6 | 9,0  | 73 | 0  | 1,5 |
| BrCl | 2    | 1     | 1    | 0,3 | 1,1 | 4,6 | 11,9 | 38 | 46 | 6,3 |
| BrCl | 2    | 1     | 2    | 0,4 | 1,1 | 6,8 | 10,7 | 64 | 0  | 6,3 |
| BrCl | 2    | 2     | 1    | 1,7 | 0,9 | 9,6 | 14,9 | 64 | 0  | 5,2 |
| BrCl | 2    | 2     | 2    | 1,1 | 0,6 | 8,0 | 13,6 | 59 | 0  | 3,2 |
| BrCl | 2    | 3     | 1    | 0,5 | 0,3 | 7,4 | 10,6 | 70 | 0  | 1,6 |
| BrCl | 2    | 3     | 2    | 1,0 | 0,2 | 6,9 | 8,5  | 81 | 0  | 1,4 |
| Cl   | 1    | 1     | 1    | 3,2 | 0,5 | 6,5 | 11,1 | 58 | 0  | 2,7 |
| Cl   | 1    | 1     | 2    | 1,4 | 0,4 | 7,7 | 10,8 | 72 | 0  | 2,5 |
| Cl   | 1    | 2     | 1    | 4,4 | 0,6 | 8,3 | 11,5 | 72 | 0  | 3,3 |
| Cl   | 1    | 2     | 2    | 0,5 | 1,0 | 7,4 | 10,6 | 70 | 0  | 5,5 |
| Cl   | 1    | 3     | 1    | 0,5 | 0,2 | 8,7 | 13,5 | 64 | 0  | 1,3 |
| Cl   | 1    | 3     | 2    | 0,5 | 0,8 | 7,3 | 10,3 | 71 | 0  | 4,8 |
| Cl   | 2    | 1     | 1    | 0,6 | 0,2 | 6,9 | 10,1 | 68 | 0  | 1,2 |
| Cl   | 2    | 1     | 2    | 0,7 | 0,5 | 7,0 | 10,0 | 70 | 0  | 2,9 |
| Cl   | 2    | 2     | 1    | 0,3 | 0,4 | 8,2 | 13,0 | 63 | 0  | 2,4 |
| Cl   | 2    | 2     | 2    | 0,1 | 0,5 | 7,4 | 11,8 | 62 | 0  | 2,9 |
| Cl   | 2    | 3     | 1    | 0,2 | 1,0 | 8,3 | 14,1 | 59 | 0  | 5,9 |
| Cl   | 2    | 3     | 2    | 0,3 | 1,1 | 6,9 | 12,7 | 54 | 0  | 6,1 |

|        |   |   |   |     |     |      |      |    |    |      |
|--------|---|---|---|-----|-----|------|------|----|----|------|
| ClBrCa | 1 | 1 | 1 | 3,2 | 0,8 | 6,7  | 12,5 | 54 | 0  | 4,5  |
| ClBrCa | 1 | 1 | 2 | 0,7 | 0,7 | 7,5  | 12,2 | 61 | 0  | 4,0  |
| ClBrCa | 1 | 2 | 1 | 3,1 | 1,1 | 8,1  | 11,3 | 72 | 0  | 6,5  |
| ClBrCa | 1 | 2 | 2 | 4,2 | 1,4 | 7,9  | 13,2 | 60 | 0  | 7,9  |
| ClBrCa | 1 | 3 | 1 | 3,6 | 1,9 | 6,9  | 11,5 | 60 | 0  | 11,2 |
| ClBrCa | 1 | 3 | 2 | 3,9 | 1,4 | 8,3  | 13,1 | 63 | 0  | 7,9  |
| ClBrCa | 2 | 1 | 1 | 0,6 | 0,4 | 6,5  | 13,0 | 50 | 26 | 2,3  |
| ClBrCa | 2 | 1 | 2 | 0,8 | 0,6 | 8,0  | 10,6 | 76 | 0  | 3,5  |
| ClBrCa | 2 | 2 | 1 | 1,6 | 0,8 | 8,4  | 12,1 | 70 | 3  | 4,7  |
| ClBrCa | 2 | 2 | 2 | 2,3 | 1,2 | 7,8  | 11,8 | 66 | 0  | 6,8  |
| ClBrCa | 2 | 3 | 1 | 2,6 | 0,9 | 8,4  | 14,5 | 58 | 6  | 5,1  |
| ClBrCa | 2 | 3 | 2 | 2,4 | 0,8 | 8,3  | 14,6 | 57 | 0  | 4,6  |
| Dr     | 1 | 1 | 1 | 2,7 | 0,7 | 9,2  | 12,8 | 71 | 0  | 3,8  |
| Dr     | 1 | 1 | 2 | 3,8 | 0,7 | 10,4 | 14,7 | 71 | 0  | 4,2  |
| Dr     | 1 | 2 | 1 | 1,3 | 0,7 | 11,5 | 14,7 | 78 | 0  | 4,2  |
| Dr     | 1 | 2 | 2 | 7,5 | 0,5 | 5,7  | 9,7  | 59 | 21 | 3,1  |
| Dr     | 1 | 3 | 1 | 0,6 | 1,1 | 8,9  | 11,3 | 79 | 0  | 6,6  |
| Dr     | 1 | 3 | 2 | 0,7 | 1,0 | 9,7  | 12,6 | 77 | 0  | 5,7  |
| Dr     | 2 | 1 | 1 | 0,9 | 0,3 | 11,1 | 14,1 | 78 | 0  | 2,0  |
| Dr     | 2 | 1 | 2 | 0,4 | 0,6 | 10,6 | 14,3 | 74 | 0  | 3,2  |
| Dr     | 2 | 2 | 1 | 0,1 | 0,8 | 13,4 | 16,6 | 81 | 0  | 4,5  |
| Dr     | 2 | 2 | 2 | 1,4 | 1,1 | 9,3  | 12,5 | 74 | 0  | 6,1  |
| Dr     | 2 | 3 | 1 | 0,4 | 0,9 | 6,4  | 11,0 | 58 | 0  | 5,4  |
| Dr     | 2 | 3 | 2 | 0,5 | 1,1 | 10,6 | 13,6 | 78 | 0  | 6,4  |
| T      | 1 | 1 | 1 | 1,0 | 0,6 | 3,6  | 10,1 | 35 | 51 | 3,4  |
| T      | 1 | 1 | 2 | 2,0 | 1,0 | 3,2  | 8,0  | 40 | 60 | 5,9  |
| T      | 1 | 2 | 1 | 0,9 | 0,4 | 2,3  | 6,3  | 36 | 74 | 2,2  |
| T      | 1 | 2 | 2 | 0,6 | 0,6 | 0,9  | 5,9  | 16 | 87 | 3,6  |
| T      | 1 | 3 | 1 | 0,6 | 0,6 | 2,2  | 7,2  | 31 | 77 | 3,8  |
| T      | 1 | 3 | 2 | 0,8 | 1,1 | 2,5  | 10,3 | 24 | 76 | 6,3  |
| T      | 2 | 1 | 1 | 0,4 | 0,4 | 3,5  | 8,3  | 42 | 53 | 2,4  |

|       |   |   |   |     |      |     |      |    |    |     |
|-------|---|---|---|-----|------|-----|------|----|----|-----|
| T     | 2 | 1 | 2 | 0,5 | 0,5  | 2,8 | 8,1  | 35 | 65 | 3,0 |
| T     | 2 | 2 | 1 | 0,9 | 0,2  | 2,2 | 7,0  | 32 | 73 | 1,1 |
| T     | 2 | 2 | 2 | 4,0 | 0,3  | 0,9 | 4,9  | 18 | 90 | 1,9 |
| T     | 2 | 3 | 1 | 0,2 | 0,9  | 1,7 | 8,0  | 22 | 79 | 5,4 |
| T     | 2 | 3 | 2 | 0,2 | 0,4  | 2,4 | 9,7  | 24 | 77 | 2,6 |
| MÉDIA |   |   |   | 1,6 | 0,74 | 6,9 | 11,3 | 59 | 16 | 0,4 |

Anexo 3. Relação Ca/Mg dos tratamentos aplicados na área recomposta após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller-SC. Test=Testemunha; Cl=Calcário; ClBr=Calcário + *Brachiaria*; ClBrCa=Calcário + *Brachiaria* + Cama-de aves.

|          | Test | Dregs | Cl | ClBr | ClBrCa | Média |
|----------|------|-------|----|------|--------|-------|
| 0 a 5cm  | 8    | 9     | 12 | 51   | 11     | 18    |
| 5 a 10cm | 11   | 21    | 41 | 48   | 11     | 26    |
| Média    | 9    | 15    | 26 | 50   | 11     | 22    |

Anexo 4. Composição química do Dregs “in natura” (Waldemar & Herrera, 1986):

| Análise Dregs*                | (%)      |
|-------------------------------|----------|
| Umidade                       | 67,3     |
| CaO                           | 35,7     |
| MgO                           | 3,6      |
| SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | 1,6      |
| Nitrogênio amoniacal          | < 0,005* |
| Nitrogênio total              | < 0,01*  |
| Carbono no material           | 20,8*    |
| Compostos de sódio            | 4,7      |

\* Referente ao material colhido antes de passar pelo filtro de Dregs.

Anexo 5. Teor de metais contidos no Dregs expressos em base seca:

| Metais | (%)      |
|--------|----------|
| Al     | 0,48     |
| Sb     | < 0,002  |
| Cd     | < 0,0005 |
| Pb     | < 0,005  |
| Cu     | 0,01     |
| As     | 0,0003   |
| Fe     | 0,48     |
| Mg     | 1,6      |
| Mn     | 0,58     |
| Ni     | 0,01     |
| Ti     | < 0,05   |
| Zn     | 0,04     |

\* Referente ao material colhido antes de passar pelo filtro de Dregs.



Anexo 6. Quadro com a análise de correlação das características do solo reconstruído após exploração de carvão em Lauro Muller-SC.

|                   |   | K    | Na   | Ca   | Mg    | Ca/Mg | MO   | SB   | CTC7 | V    | m     | ST    | Areia | Silte | Arg   | AD    | GF    | Ds    | Macro | Micro | PT    | APD   | Microa | DMP   |
|-------------------|---|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| pH <sub>H2O</sub> | r | 0,45 | 0,42 | 0,73 | 0,52  | 0,17  | 0,14 | 0,78 | 0,58 | 0,84 | -0,89 | 0,27  | -0,17 | 0,18  | -0,01 | 0,59  | -0,59 | -0,02 | -0,14 | 0,29  | 0,16  | 0,18  | 0,18   | -0,04 |
|                   | p | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,21  | 0,27 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,04  | 0,20  | 0,18  | 1,00  | 0,01  | 0,01  | 0,90  | 0,30  | 0,03  | 0,21  | 0,17  | 0,16   | 0,78  |
| K                 | r |      | 0,09 | 0,29 | 0,09  | 0,20  | 0,16 | 0,31 | 0,17 | 0,37 | -0,38 | 0,08  | -0,22 | 0,11  | 0,12  | 0,40  | -0,37 | -0,07 | -0,02 | -0,03 | -0,02 | 0,08  | 0,19   | -0,11 |
|                   | p |      | 0,48 | 0,02 | 0,48  | 0,12  | 0,21 | 0,01 | 0,20 | 0,01 | 0,01  | 0,56  | 0,10  | 0,41  | 0,34  | 0,02  | 0,01  | 0,62  | 0,96  | 0,82  | 0,90  | 0,57  | 0,15   | 0,42  |
| Na                | r |      |      | 0,71 | -0,24 | 0,67  | 0,04 | 0,67 | 0,56 | 0,52 | -0,38 | 0,91  | 0,08  | 0,12  | -0,23 | -0,07 | 0,06  | 0,11  | -0,23 | 0,15  | -0,08 | 0,28  | 0,31   | -0,26 |
|                   | p |      |      | 0,01 | 0,07  | 0,01  | 0,78 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,01  | 0,53  | 0,35  | 0,08  | 0,62  | 0,64  | 0,40  | 0,08  | 0,27  | 0,54  | 0,03  | 0,02   | 0,05  |
| Ca                | r |      |      |      | 0,22  | 0,52  | 0,16 | 0,99 | 0,86 | 0,89 | -0,83 | 0,45  | -0,25 | 0,29  | -0,03 | 0,10  | -0,10 | 0,09  | -0,18 | 0,12  | -0,04 | 0,28  | 0,13   | -0,05 |
|                   | p |      |      |      | 0,09  | 0,01  | 0,22 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,01  | 0,05  | 0,02  | 0,80  | 0,46  | 0,45  | 0,52  | 0,18  | 0,35  | 0,75  | 0,03  | 0,32   | 0,70  |
| Mg                | r |      |      |      |       | -0,57 | 0,11 | 0,34 | 0,35 | 0,41 | -0,62 | -0,42 | -0,36 | 0,18  | 0,21  | 0,49  | -0,47 | -0,09 | 0,01  | 0,27  | 0,29  | 0,12  | -0,13  | 0,23  |
|                   | p |      |      |      |       | 0,01  | 0,41 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,17  | 0,11  | 0,01  | 0,01  | 0,50  | 0,91  | 0,04  | 0,02  | 0,37  | 0,33   | 0,08  |
| Ca/Mg             | r |      |      |      |       |       | 0,11 | 0,43 | 0,31 | 0,33 | -0,13 | 0,66  | 0,02  | 0,08  | -0,11 | -0,30 | 0,29  | 0,13  | -0,13 | -0,10 | -0,21 | 0,02  | 0,16   | -0,19 |
|                   | p |      |      |      |       |       | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,31  | 0,01  | 0,88  | 0,53  | 0,40  | 0,02  | 0,02  | 0,34  | 0,31  | 0,47  | 0,11  | 0,85  | 0,21   | 0,15  |
| MO                | r |      |      |      |       |       |      | 0,17 | 0,29 | 0,07 | -0,19 | -0,10 | -0,24 | -0,08 | 0,36  | 0,10  | -0,04 | -0,19 | 0,17  | -0,02 | 0,18  | 0,05  | -0,30  | 0,34  |
|                   | p |      |      |      |       |       |      | 0,19 | 0,02 | 0,59 | 0,14  | 0,44  | 0,07  | 0,54  | 0,01  | 0,45  | 0,76  | 0,14  | 0,18  | 0,89  | 0,17  | 0,71  | 0,02   | 0,02  |
| SB                | r |      |      |      |       |       |      |      | 0,87 | 0,91 | -0,88 | 0,40  | -0,28 | 0,30  | -0,02 | 0,17  | -0,17 | 0,07  | -0,17 | 0,16  | 0,01  | 0,29  | 0,12   | -0,03 |
|                   | p |      |      |      |       |       |      |      | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,01  | 0,03  | 0,02  | 0,95  | 0,19  | 0,19  | 0,60  | 0,19  | 0,22  | 0,99  | 0,02  | 0,34   | 0,82  |
| CTC7              | r |      |      |      |       |       |      |      |      | 0,62 | -0,73 | 0,19  | -0,30 | 0,27  | 0,05  | 0,08  | -0,08 | -0,08 | -0,03 | 0,13  | 0,11  | 0,30  | 0,06   | 0,04  |
|                   | p |      |      |      |       |       |      |      |      | 0,01 | 0,01  | 0,14  | 0,02  | 0,04  | 0,69  | 0,53  | 0,55  | 0,54  | 0,85  | 0,33  | 0,42  | 0,02  | 0,67   | 0,79  |
| V                 | r |      |      |      |       |       |      |      |      |      | -0,92 | 0,36  | -0,29 | 0,31  | -0,02 | 0,28  | -0,28 | 0,17  | -0,25 | 0,20  | -0,03 | 0,26  | 0,14   | -0,03 |
|                   | p |      |      |      |       |       |      |      |      |      | 0,01  | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,94  | 0,03  | 0,03  | 0,20  | 0,05  | 0,13  | 0,80  | 0,05  | 0,29   | 0,79  |
| M                 | r |      |      |      |       |       |      |      |      |      |       | -0,14 | 0,37  | -0,29 | -0,11 | -0,38 | 0,38  | -0,03 | 0,15  | -0,26 | -0,13 | -0,27 | -0,08  | -0,06 |
|                   | p |      |      |      |       |       |      |      |      |      |       | 0,27  | 0,01  | 0,03  | 0,41  | 0,01  | 0,01  | 0,83  | 0,25  | 0,04  | 0,31  | 0,04  | 0,55   | 0,64  |
| ST                | r |      |      |      |       |       |      |      |      |      |       |       | 0,22  | 0,04  | -0,29 | -0,09 | 0,08  | 0,19  | -0,28 | 0,13  | -0,15 | 0,16  | 0,36   | -0,33 |
|                   | p |      |      |      |       |       |      |      |      |      |       |       | 0,10  | 0,74  | 0,03  | 0,48  | 0,53  | 0,14  | 0,03  | 0,31  | 0,25  | 0,22  | 0,01   | 0,01  |

Anexo 6. Continuação

|        |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Areia  | r | -0,59 | -0,48 | -0,15 | 0,10  | 0,05  | 0,14  | -0,20 | -0,11 | -0,21 | 0,25  | -0,30 |
|        | p | 0,01  | 0,01  | 0,25  | 0,45  | 0,72  | 0,27  | 0,12  | 0,40  | 0,10  | 0,05  | 0,02  |
| Silte  | r | -0,42 | 0,16  | -0,20 | -0,02 | -0,26 | 0,32  | 0,11  | 0,25  | -0,07 | 0,04  |       |
|        | p | 0,01  | 0,22  | 0,13  | 0,90  | 0,04  | 0,01  | 0,42  | 0,06  | 0,57  | 0,76  |       |
| Arg    | r |       | -0,01 | 0,11  | -0,03 | 0,12  | -0,12 | 0,01  | -0,03 | -0,21 | 0,30  |       |
|        | p |       | 0,98  | 0,42  | 0,80  | 0,37  | 0,37  | 0,94  | 0,81  | 0,11  | 0,02  |       |
| AD     | r |       |       | -0,98 | -0,16 | -0,03 | 0,28  | 0,25  | 0,11  | 0,07  | 0,10  |       |
|        | p |       |       | 0,01  | 0,22  | 0,83  | 0,03  | 0,05  | 0,39  | 0,61  | 0,46  |       |
| GF     | r |       |       |       | 0,14  | 0,03  | -0,28 | -0,25 | -0,08 | -0,11 | -0,04 |       |
|        | p |       |       |       | 0,29  | 0,82  | 0,03  | 0,06  | 0,52  | 0,39  | 0,79  |       |
| Ds     | r |       |       |       |       | -0,72 | -0,10 | -0,79 | -0,37 | 0,07  | -0,02 |       |
|        | p |       |       |       |       | 0,01  | 0,44  | 0,01  | 0,01  | 0,58  | 0,97  |       |
| Macro  | r |       |       |       |       |       | -0,47 | 0,47  | 0,05  | -0,11 | 0,09  |       |
|        | p |       |       |       |       |       | 0,01  | 0,01  | 0,68  | 0,40  | 0,48  |       |
| Micro  | r |       |       |       |       |       |       | 0,54  | 0,14  | 0,08  | -0,10 |       |
|        | p |       |       |       |       |       |       | 0,01  | 0,28  | 0,54  | 0,47  |       |
| PT     | r |       |       |       |       |       |       |       | 0,19  | -0,03 | -0,01 |       |
|        | p |       |       |       |       |       |       |       | 0,16  | 0,84  | 0,93  |       |
| APD    | r |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,02  | -0,02 |       |
|        | p |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,89  | 0,90  |       |
| Microa | r |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | -0,89 |
|        | p |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,01  |

