



**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE**  
**Departamento de Engenharia Ambiental**

**ADEMAR SAVI FILHO**

**UTILIZAÇÃO DE ESTÉREIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO COMO  
SUBSTRATO PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS -  
DISCUSSÃO DE METODOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. M. Sc. Marcos Back

**CRICIÚMA, 2004**



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE  
Departamento de Engenharia Ambiental

ADEMAR SAVI FILHO

**UTILIZAÇÃO DE ESTÉREIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO COMO  
SUBSTRATO PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS -  
DISCUSSÃO DE METODOLOGIA**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Criciúma – SC, dia de mês de ano.

---

Prof. M. Sc. Marcos Back  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

---

Prof. M. Sc. Mário Ricardo Guadagnin  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

---

Prof. M. Sc. Eder Luis Santo  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

## DEDICATÓRIAS

*Aqueles que em absolutamente todos os momentos, mesmo os em que não eram solicitados, sempre estiveram prontos a me ajudar. Seu exemplo de humildade, honestidade e perseverança é altamente gratificante quando vemos que realmente a mudança mais importante para um mundo melhor é aquela que se dá no meio de nós. Meus pais Ademir Savi e Anadir Ramos Savi.*

## AGRADECIMENTOS

*Primordialmente agradeço a toda a família IPAT, especialmente aos professores Marcos Back, Rosana Peporini Lopes e Nadja Zim Alexandre que nunca deixaram de me auxiliar, à família Unesc, especialmente aos colegas de graduação e aos professores Mário Ricardo Guadagnin e Marcos Marques da Silva Paula que sempre foram companheiros e amigos, aos meus Irmãos Andrei e Alexandre Ramos Savi e aos amigos Luiz Gonzaga Rodrigues Júnior, Juliano Bitencourt Campos, Ricardo Vicente e Geovane Gomes que muito se dedicaram para a realização deste e de muitos outros trabalhos.*

## **EPÍGRAFE**

*“... Tudo o que acontecer a terra, acontecerá aos filhos da terra. Se os homens cospem no solo, estão cuspiendo em si mesmos...”.*

*Cacique da tribo Seattle em carta encaminhada ao presidente dos EUA.*

## RESUMO

Grande é o impacto ambiental gerado pela exploração de carvão a céu aberto. Esta afirmação se torna mais convincente quando vemos a situação de muitas centenas de hectares abandonados na região carbonífera de Santa Catarina, onde a vegetação se torna quase que inexistente. Os custos de recuperação destas áreas são altos, principalmente quando se agrega a necessidade do transporte de grandes volumes de argila. Para tentar minimizar os custos, buscou-se desenvolver, uma metodologia para possibilitar o desenvolvimento da vegetação sobre os estéreis resultantes da mineração de carvão a céu aberto. O estudo foi realizado em caixas de madeira, buscando composições de estéreis, argila, adubos e matéria orgânica que permitissem o desenvolvimento da vegetação e desta forma a substituição da argila para o recobrimento, impermeabilização e para subsidiar o desenvolvimento de vegetação nos projetos de recuperação de áreas degradadas. Foram feitas 84 (oitenta e quatro) caixas, sendo dispostas 21 (vinte e uma) composições com quatro repetições. As composições foram formadas entre o Substrato de Mineração à Céu Aberto (SMCA), argila, calcário dolomítico, turfa ambiental, fertilizante organomineral líquido, cama de aviário e adubo NPK 4-14-8. O SMCA foi retirado de uma área da antiga mina Malha II Oeste, localizada no município de Siderópolis, sendo essa objeto de um projeto de recuperação ambiental em realização pelo IPAT (Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas). No projeto a área total a ser recuperada foi dividida em 19 zonas homólogas onde existiam dados de caracterização do material, sendo o mesmo retirado da zona 14, aquela que apresentava o SMCA em piores condições quando consideramos a presença de rejeitos, arenitos piritosos e folhelhos. A partir dos dados a serem gerados, buscar-se-á uma melhora na eficiência econômica e ambiental para os projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto.

**Palavras-chave:** Substrato de mineração de carvão a céu aberto, recuperação de áreas degradadas, revegetação, minimização de custos.

## ABSTRACT

The land mined restoration costs are usually very high, specially when the transportation of high volumes of clay is necessary. In order to minimize this costs we have been developing a methodology to use spoil from open pit coal mine as a substratum for revegetation growth. The experimental study consists in to mixture spoil, clay, organic matter and fertilizer in diferent proportions. The 21 componds and 3 repetition each one was distributed in 84 wooden boxes diplayed outside in the IPAT area. The compositions was made using peat, liquid organic mineral fertilizer, “cama de aviário”, and NPK 4-14-8 fertilizer. The spoil come from an ancient mined area named Malha II Oeste, located in Siderópolis municipality, where land restoration projected made by IPAT have been applied. In this project, the Malha II Oeste area was divided in 19 homogeneous zones where substratum analisys are avaliable. In These experimental studies, spoil sample from the zone 14 – which has the worst quality because of coal waste, sandstone with piryte and shale presence – have been used as one of the substratum componds. The data collecion from these experiments can be usefull to make some coal land mined restoration projects more efficient in therms of environmental protection and economical feasibility.

**Keywords:** Substratum of surface coal mining, reclamation of degraded areas, revegetation, minimization of costs.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
4.1 ÁREAS DEGRADADAS X MINERAÇÃO .....	18
4.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO .....	21
4.3 CALAGEM E ADUBAÇÃO DE SOLOS .....	28
4.4 VEGETAÇÃO A SER UTILIZADA .....	30
4.5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DA ÁREA DE RETIRADA DO MATERIAL .....	32
<b>5 TRABALHOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>35</b>
5.1 TESTE PRELIMINAR.....	35
5.2 TESTE PRINCIPAL .....	37
5.2.1 <i>Argila</i> .....	39
5.2.2 <i>Calcário</i> .....	40
5.2.3 <i>Adubo mineral</i> .....	42
5.2.4 <i>Cama de aviário</i> .....	42
5.2.5 <i>Turfa Ambiental</i> .....	43
5.2.6 <i>Fertilizante Organomineral</i> .....	44
5.3 TRATAMENTOS .....	45
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS .....	49
5.5 PROGRAMA DE AMOSTRAGEM.....	49
5.6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO .....	50
5.7 CUSTOS DE EXECUÇÃO DO PROJETO .....	52
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>56</b>
<b>ANEXO 1 – ANÁLISE DO SMCA</b> .....	<b>60</b>
<b>ANEXO 2 – RECOMENDAÇÃO DE GRAMÍNEAS DE ESTAÇÃO QUENTE</b> .....	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01: Pré-teste com <i>Brachiaria</i> no pátio do IPAT.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 02: Área de retirada do SMCA em Siderópolis, Mina Malha II Oeste .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 03: SMCA depositado no IPAT .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 04: Extração de argila em talude no IPAT .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 05: Caixas destinadas as diferentes composições, locadas no pátio do IPAT.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 06: Betoneira para homogeneização das composições .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01: Escala Internacional de Classificação Granulométrica de Solos.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 02: Análise composta da argila. ....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 03: Equivalências de NPK para as caixas.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 04: Análise da Cama de aviário .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 05: Quantidade de cama de aviário por caixa .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 06: Caracterização das composições.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 07: Distribuição das composições nas caixas A e B.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 08: Distribuição das composições nas caixas C e D.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 09: Ensaio a serem realizados .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração do carvão continua sendo uma das atividades de maior importância para a economia sul catarinense. Devido às pressões da população, à legislação mais rígida, hoje os métodos utilizados para extração e beneficiamento devem considerar os critérios presentes nas normas técnicas e principalmente na legislação, características que até o início da década de 90 não eram consideradas, resultando em desastre ambiental, tanto que em 1980 a região carbonífera foi decretada como uma das quatorze áreas críticas nacionais para fins de monitoramento e controle ambiental (Decreto 85206/1980). Não havia praticamente nenhuma recuperação das áreas já mineradas, o que tornou completamente imprestáveis mais de 4700 ha de terras férteis (FATMA-BID, 2003; SANTOS, 2003).

Grande parte destas áreas foi minerada pelo método de exploração a céu aberto, formando pilhas através da mistura de arenitos e siltitos, folhelhos carbonosos e piritosos sobrepostos as camadas de argila e solo que ficavam soterrados devido à inversão de camadas provocadas pelo método de lavra utilizado na época (SANTOS, 2003). Os principais impactos causados pela mineração de carvão a céu aberto, além da inversão de camadas e seus impactos indiretos, pode-se citar a destruição da flora e fauna locais, poluição do solo, lixiviação

química, física e biológica das áreas mineradas e seus estéreis de elevado teor de enxofre, emissão de poeiras e vibrações (DNPM, 1986).

Segundo o DNPM (1986), os métodos de prevenção e controle da poluição neste método de mineração se baseiam no carregamento e disposição em separado do solo, da argila e do estéril, nivelamento e regularização das pilhas, correção e adubação do solo, sistematização da drenagem entre outros.

Com isto surge a necessidade de recuperação de áreas degradadas pela extração de carvão a céu aberto para integrá-las de algum modo ao uso social, ambiental ou produtivo, minimizando os seus impactos. Para tanto existe a necessidade de estudos com vegetação de áreas degradadas pela mineração de carvão e arredores, com a finalidade de obter subsídios para a sua recuperação (BOFF, 1999).

As características de suporte para o desenvolvimento de vegetação espontânea sobre estes estéreis sem tratamento do solo, não se mostraram positivas dado o passar de mais de 20 anos, persistindo em alguns locais pilhas de estéreis com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

Em projetos de recuperação realizados hoje na região da AMREC (Associação dos Municípios da Região Carbonífera) o solo é recomposto com argila que, em geral, não está disponível na área minerada. Por isto os estéreis minerais locais podem ser alternativamente aprimorados usando-se compostos orgânicos, esterco de animais ou qualquer outro composto que possa subsidiar direta ou indiretamente a formação de características próprias para o desenvolvimento da vegetação (FATMA-BID, 2003).

Neste trabalho trataremos diferentes composições de estéreis com turfa, cama de aviário e fertilizantes para indicar possibilidades efetivas de desenvolvimento acelerado de cobertura vegetal das áreas degradadas.

## **2 OBJETIVO**

Verificar a possibilidade de utilização dos chamados estéreis resultantes da mineração de carvão a céu aberto, que são formados principalmente por arenitos, siltitos e folhelhos, como possível substrato para revegetação (recuperação) das áreas degradadas por este tipo de exploração mineira, minimizando os custos de extração, transporte e disposição de argila e movimentação de grandes volumes de estéreis, além de evitar a degradação de outra área para extração de argila.

## 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as características físicas e químicas do Substrato de Mineração a Céu Aberto (SMCA);
- Verificar qual a possibilidade de desenvolvimento de vegetação (gramíneas) sobre o SMCA, após ter sua granulometria reduzida;
- Verificar a possibilidade de substituição da argila como substrato para o desenvolvimento da vegetação;
- Realizar comparativos entre diferentes quantidades de fertilizantes químicos e orgânicos aplicados sobre um mesmo SMCA;
- Subsidiar o desenvolvimento de pesquisas que busquem diminuir o uso da argila como impermeabilizante e substrato;
- Fomentar a criação de metodologia para utilização do estéril de mineração de carvão a céu aberto como substrato para a revegetação e substituição da argila.

### 3 JUSTIFICATIVA

Devido às necessidades energéticas, o carvão continuará desempenhando um importante papel no suprimento energético da região sul do Brasil. Conseqüentemente o setor carbonífero continuará sendo um dos principais mantenedores da economia sul catarinense. Para que esta continuidade se dê de forma menos impactante é indispensável que seja assegurada uma operação ambientalmente responsável por parte das empresas mineradoras e que estas cumpram integralmente as regulamentações existentes, principalmente no que diz respeito à recuperação de áreas degradadas (FATMA-BID, 2003).

Dos mais de 4700 ha de áreas degradadas, aproximadamente 2200 são frutos da mineração a céu aberto (JICA, 1997).

Dado o abandono destas áreas e dos processos de mineração realizados até o final da década de oitenta não contemplarem os critérios presentes na legislação, tais como a estocagem da camada de solo fértil, não houve possibilidade de regeneração natural da vegetação.

Em muitos casos é possível o estabelecimento de uma cobertura vegetal em materiais que, a primeira vista, parecem incapazes de subsidiar o desenvolvimento das plantas. Experi-

mentos instalados utilizando diferentes espécies e substratos poderão indicar um caminho e ser seguido.

No processo extrativo do carvão durante décadas não foi realizada a estocagem da camada de solo fértil, o que possibilitaria a recomposição vegetal após a recomposição topográfica e a recolocação do solo sobre a área. A ausência da prática preventiva de separação do solo e posterior mistura aos estéreis e rejeitos impossibilitou a recomposição vegetal em curto período temporal.

Os trabalhos de revegetação melhoram as características para recuperar áreas de pilhas de estéreis, bacias de rejeitos e áreas mineradas em geral (CETEM, 2003).

A dificuldade em prever o comportamento dos estéreis nos planos de revegetação estimula a realização de experiências em áreas pilotos ou em depósitos menores para se buscar certezas em meio a incertezas, adquirir experiência na resolução dos problemas e propor caminhos alternativos a serem avaliados a campo.

Nos projetos de recuperação destas áreas se faz necessário o estabelecimento de áreas de empréstimo, que não estão incluídas nas operações do empreendimento mineral, nas quais é retirada a argila que possibilita a impermeabilização sobre os estéreis e rejeitos e também deve subsidiar a revegetação, acarretando em grandes custos para a movimentação de grandes volumes. Esta movimentação aumenta os custos totais dos projetos de recuperação de áreas degradadas, além de que para recuperar uma área acaba por degradar outra. Por isto deve-se buscar outros meios para determinar a colocação da camada argila ou estéril sobre o rejeito (IBAMA, 1990).

## **4 REVISÃO TEÓRICA**

### **4.1 ÁREAS DEGRADADAS X MINERAÇÃO**

A mineração é uma das atividades de maior impacto ao meio ambiente, sendo seus efeitos poucas vezes percebidos, camuflados por ações mitigadoras de baixa eficiência (ZIMMERMANN, 2001).

Na mineração de carvão praticada na região da AMREC (Associação dos Municípios da Região Carbonífera) dois são os métodos utilizados: mineração subterrâneas e mineração a céu aberto, sendo gerados neste último os estéreis, os quais serão o objeto de pesquisa deste trabalho.

A mineração de carvão a céu aberto praticada na Bacia Carbonífera Catarinense, realizada em grande escala em décadas passadas é predatória, pois além da retirada da vegetação original o solo também foi completamente perdido na maioria das áreas. A paisagem resultante desta atividade é formada por pilhas de estéreis, quase sempre cônicas, com escassa cobertura vegetal que ali se instala. O processo de lavra a céu aberto descaracteriza os solos, modi-

ficando suas características, restando no local uma mistura dos horizontes do solo com a rocha matriz, e outros minerais existentes sobre a camada de carvão (SANTOS et al. 2004).

Na mineração a céu aberto é retirado o minério permanecendo, geralmente, estéreis e rejeitos sem o retorno dos horizontes superficiais. Disto é gerado um substrato remanescente formado por uma massa heterogênia de material geológico (DIAS e MELLO, 1998).

Minérios extraídos que possuam resíduos acidificados, como o carvão, apresentam alta solubilidade de metais acompanhantes do minério, tornando o substrato potencialmente danoso ao sistema hídrico local e aos processos de revegetação espontânea (DIAS e MELLO, 1998).

Segundo o IBAMA (1990), a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas, a camada de solo fértil for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico for alterada.

Para Carpanezi et al. (1990), um ecossistema degradado é aquele que após distúrbios, teve eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos, como banco de sementes, banco de plântulas, chuva de sementes e rebrota. Apresenta, portanto, baixo grau de resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior não pode ocorrer ou ser muito lento. Já o ecossistema perturbado, é aquele que sofreu distúrbios, mas manteve meios de regeneração bióticos.

Recuperar significa que o sítio degradado será retornado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa também que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um

novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (IBAMA, 1990).

Os processos de recuperação de áreas degradadas exigem procedimentos que levem em consideração as peculiaridades e o histórico da área a ser recuperada. Aspectos relacionados à composição florística original, ao tipo de degradação ocorrido e ao objetivo final da recuperação devem ser considerados em profundidade antes de se iniciar as atividades e ações que visem a recuperação da área em questão.

Em áreas degradadas pela mineração é comum a presença de substratos a serem recuperados, designados como rejeitos e estéreis, sendo os rejeitos materiais residuais resultantes do processo de beneficiamento de determinado minério e os estéreis aqueles com baixo teor do minério de interesse (DIAS e MELLO, 1998). A remoção destes materiais do solo e a redução de sua granulometria aumentam a reatividade dos minerais e a retenção de umidade, além de diminuir a permeabilidade do solo.

A realização de processos de abertura de cavas de mina exige exposição de encostas e a confecção de bermas, sendo que estas aumentam a sua exposição na medida em que a cava se aprofunda. A elevada declividade à exposição de rochas em taludes dificulta o processo de revegetação (DIAS e MELLO, 1998).

Independentemente do processo de degradação, a maioria dos substratos remanescentes apresenta baixa disponibilidade de nutrientes e baixos teores de matéria orgânica, características que dificultam o crescimento de raízes e a retenção de água (DIAS e MELLO, 1998).

Para o caso da mineração de carvão a céu aberto praticada até o final de década de oitenta na região carbonífera catarinense, onde ocorrem fragmentos de rochas com inversão de camadas, resultou em complicações da ordem física e química, que afetaram e continuam afe-

tando o estabelecimento e crescimento de plantas nos processos de revegetação, principalmente espontânea.

A camada resultante da mistura dos horizontes litológicos após a mineração de carvão a céu aberto, é constituída por silte, argilas, arenitos e folhelhos, não podendo ser classificada como solo, pois não apresenta um perfil, porosidade e estrutura característica (MARTINELLO, 1998).

No tocante ao substrato em área de mineração de carvão a céu aberto, segundo DIA (Diagnóstico Ambiental) feito pelo IPAT (2002a; 2002b) na mina Malha II Oeste para posterior elaboração do PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), o pH do substrato apresentou variações de 3,7 a 4,5 (Anexo 1), o que dificulta a absorção de nutrientes principalmente de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, aumentando a solubilização de metais como o alumínio, ferro e manganês, não assimilável pelos vegetais. Os níveis de matéria orgânica são muito baixos, variando entre 1,1 a 2,9%, impossibilitando a manutenção de nutrientes disponíveis as plantas e a manutenção da biota necessária a mineralização da matéria orgânica e fixação de nitrogênio no solo (BOFF, 1999).

#### **4.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO**

O solo é a parte superficial intemperizada da crosta terrestre, não consolidada, e contendo matéria orgânica e seres vivos. Nele se desenvolvem os vegetais, obtendo através das raízes, a água e os nutrientes. Este pode ser definido como um conjunto de partículas de diversos tamanhos e diferente natureza mineralógica. (RAIJ, 1987).

Luchesi, Favero e Lenzi (2002) definem o solo como uma mistura de compostos minerais e orgânicos formado pela ação de agentes físicos, químicos e biológicos inicialmente sobre a rocha primária. As ações desses agentes formam no solo faixas horizontais, denominadas horizontes, dando-lhes características próprias, sendo para as plantas além de um meio de fixação, fonte de nutrientes, água e oxigênio, necessários ao seu desenvolvimento.

A diferenciação dos horizontes é, geralmente, mais visível quanto maior for a intensidade dos fatores climáticos em ação e quanto maior a quantidade de matéria orgânica acumulada (CANECCHIO FILHO, 1973).

Segundo Dias e Mello (1998) as características dos solos são definidas por cinco fatores: o material de origem, o clima, os organismos, o relevo e o tempo, sendo estes considerados fatores passivos, ativos ou controladores, dependendo da sua atuação na formação do solo. Os fatores passivos são aqueles que não adicionam nem exportam matéria e energia, sendo estes o material de origem e o tempo. Fatores ativos contribuem com matéria e energia para o sistema. Este é constituído pelo clima e organismos. Fatores controladores são principalmente aqueles relacionados ao relevo. Como exemplo podemos citar o controle do fluxo de materiais na superfície e em profundidade além de controlar a intensidade de radiação solar recebida, conforme ângulo de orientação da encosta.

A EMBRAPA (1999) classifica o solo como uma coleção de corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades antrópicas. Quando examinado a partir da superfície o solo é constituído por seções aproximadamente paralelas – denominadas horizontes ou camadas – que se distinguem do material de origem possibilitando o desenvolvimento do sistema radicular de espécies vegetais, em um ambiente natural.

Do ponto de vista pedológico, o solo é considerado como um sistema disperso, constituído de três fases: sólida, líquida e gasosa, sendo que as fases líquida e gasosa ocupam os poros do sistema disperso no solo, variando sempre em função inversa uma da outra, e a fase sólida é formada de parte orgânica e parte mineral (MONIZ, 1972).

A fase sólida ocupa 50% em média do total em volume, sendo constituída por minerais provenientes da rocha matriz por intemperismo e da matéria orgânica pela mineralização e humificação (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002).

A fase líquida e a fase gasosa encontram-se nos espaços vazios da fase sólida, ou seja os poros do solo, sendo que em condições normais a fase líquida ocupa os microporos, e a gasosa os macroporos. A quantidade de micro ou macroporos de um solo depende da sua textura/granulometria, sendo que, em geral, solos arenosos possuem mais ar e os argilosos mais água (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002).

A fase líquida, que pode ser encontrada entre 15 e 35% do volume total do solo, sendo esses extremos, definidos para solos agrícolas como ponto de murcha permanente e capacidade de campo, respectivamente. Esta fase contém o solvente que é água e solutos provenientes da dissolução de componentes tanto da fração mineral quanto da fração orgânica, além do ar do solo. É na solução que são encontrados os nutrientes na forma iônica, daí sua grande importância na fertilidade. Contudo é formada na sua maior parte por água (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002).

A fase gasosa, também chamada de ar do solo, é de essencial importância para a aeração das raízes, como também para a absorção de oxigênio pelas mesmas. Num momento de capacidade máxima de retenção de água por um solo, o teor de ar tende a zero, contudo num solo com capacidade de campo permanece arejado (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002).

Muitas são as características que distinguem os solos, tais como a composição mineralógica, granulometria, riqueza em nutrientes, entre outras, sendo difícil definir exatamente a influência de cada variável sobre o rendimento dos mesmos (MALAVOLTA, 1980).

A granulometria pode influenciar no rendimento do solo, principalmente naqueles em que a quantidade de matéria orgânica é considerada insuficiente. As partículas do solo são classificadas por seu diâmetro, de acordo com a tabela 1:

**Tabela 01: Escala Internacional de Classificação Granulométrica de Solos**

Fração	Limites dos diâmetros das partículas (mm)
Matacão	> 200
Calhau	200 – 20
Cascalho	20 – 2
Areia Grossa	2 – 0,2
Areia Fina	0,2 – 0,02
Silte ou Limo	0,02 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: KAMP, SCHENEIDER e KLAMT, 1985; MALAVOLTA, 1980.

Como poucos são os solos com presença de pedras e cascalhos no Brasil, com exceção dos Cambissolos, geralmente o que define a granulometria é a textura do solo sendo imprescindível para um bom rendimento possuir em equilíbrio, quantidades de areia, silte e argila. Um solo pode ser dito arenoso quando possuir mais de 85% de areia, argiloso caso possua mais de 35% de argila e siltoso se contiver menos de 85% de areia e menos de 35% de argila. Solos muito arenosos possuem baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de reter água, por outro lado solos argilosos podem apresentar dificuldade para a penetração das raízes, além da possibilidade de indisponibilizar nutrientes (KAMP, SCHENEIDER e KLAMT, 1985).

O grau de compactação do solo também tem forte influência na otimização na revegetação. Um solo muito compactado pode prejudicar o crescimento das raízes das plantas, dimi-

nuir a capacidade de infiltração e distribuição de água, diminuindo a porosidade e as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, ocasionando o impedimento da ação capilar da água e o aumento da erosão laminar superficial (IBAMA, 1990).

A matéria orgânica talvez seja o componente mais importante para uma melhor produtividade do solo. Como a maioria dos solos brasileiros não possui matéria orgânica em quantidades suficientes para uma produtividade ideal, acaba por necessitar técnicas de adubação para garantir estas condições (RAIJ, 1987).

Ela atua nas propriedades físicas, químicas e biológicas, corrigindo e melhorando a fertilidade do solo, influenciando na formação de agregados, reduzindo a plasticidade e coesão do solo, possibilitando uma melhor aeração para a biota ali existente, além de aumentar a capacidade de retenção da água no solo, entre outras melhorias (RAIJ, 1987).

A fertilidade do solo tem sido predominantemente associada às condições químicas, mais diretamente relacionadas à reação do solo e à disponibilidade de nutrientes exigida pelas plantas. Assim sendo a fertilidade deve considerar conjuntamente suas condições físicas, químicas e biológicas (ARAÚJO, 2000).

A produção de plantas depende de uma série de fatores que estão intimamente relacionados com o ambiente onde elas se desenvolvem. Destes fatores, denominados de “Fatores de desenvolvimento das plantas”, os cinco abaixo relacionados dependem direta ou indiretamente de características do solo e estão interligados entre si (KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985):

- Suporte;
- Disponibilidade de nutrientes essenciais;

- Disponibilidade de água;
- Disponibilidade de oxigênio na zona das raízes;
- Ausência de fatores inibidores.

A capacidade de suporte se relaciona a possibilidade de desenvolvimento radicular, sendo fundamental para a nutrição das plantas e para a resistência ao tombamento de plantas de porte aéreo. Para oferecer boas condições de suporte para as plantas, o solo deve apresentar baixa resistência mecânica a penetração de raízes e um volume adequado de solo explorável pelas raízes (KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985).

O solo serve de suporte para plantas que nele se desenvolvem e dele obtêm grande parte dos elementos nutritivos que carecem. São considerados essenciais ao desenvolvimento das plantas dezesseis elementos, sendo que os elementos C, H e O compreendem 90% ou mais da massa seca da planta, sendo obtidos do ar, da água e por reações de fotossíntese. Os outros elementos provêm dos sólidos (minerais e matéria orgânica) e da solução do solo ou do ar, no caso do Nitrogênio. Estes também são denominados nutrientes e são divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Mn, Fe, B, Zn, Cu, Mo e Cl) (COSTA, 1977; KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985; PARANÁ, 1989).

A água influencia diretamente na produtividade das plantas. Sua quantidade no solo depende principalmente das condições de clima, topografia, natureza e constituição do solo e cultura sobre o mesmo (COSTA, 1977). A velocidade com qual a água é perdida por transpiração e, portanto, a necessidade de água pela planta depende principalmente da temperatura e da umidade relativa do ar. O solo deve ter capacidade de suprir esta água, caso contrário o crescimento das plantas será comprometido mesmo que os outros fatores estejam em níveis adequados (KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985).

Parte do oxigênio utilizado na respiração da planta é absorvido pelas raízes que em troca liberam dióxido de carbono para o solo. Este processo é indispensável para o bom desenvolvimento das raízes. Para isto é necessário que o solo apresente condições para suprir oxigênio às raízes em proporções adequadas. Esta condição está relacionada à quantidade de poros ocupados pelo ar (KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985).

Para que um solo ofereça condições adequadas ao desenvolvimento das plantas, deve oferecer um ambiente livre de fatores inibidores ao crescimento das plantas tais como: acidez excessiva, alcalinidade, organismos patógenos, substâncias tóxicas, entre outros.

O rendimento de uma cultura é influenciado pela quantidade de plantas presentes em determinada área, tipo de clima, solo, sendo que para cada área e tipo de substrato existe uma população ideal de plantas que proporciona o aproveitamento eficiente de água, luz, nutrientes e melhor controle de pragas e doenças (PARANÁ, 1989).

Para cada caso de cultura as épocas ideais para o plantio devem ser respeitadas de forma a melhorar o rendimento do processo de revegetação. O principal fator relacionado com a época de plantio é a quantidade de chuvas, principalmente na época do florescimento das plantas (PARANÁ, 1989).

A semeadura deve ser realizada somente em condições favoráveis de umidade do solo (PARANÁ, 1989).

O conjunto de organismos presentes no solo, sem considerar as raízes, também tem sua importância ao rendimento de um solo. Os principais microorganismos presentes no solo são as bactérias, fungos e actinomicetos (CANECCHIO FILHO, 1973).

Para realização de revegetação cria-se uma camada de capeamento de solo orgânico apropriada. A camada de capeamento requer geralmente uma espessura mínima entre 10 e 15

cm para prover um meio apropriado para o crescimento de plantas. A camada de vegetação deve consistir de plantas não lenhosas que permitam o escoamento superficial durante chuvas copiosas, inibindo a erosão (KAMP, SCHNEIDER e KLAMT, 1985).

### **4.3 CALAGEM E ADUBAÇÃO DE SOLOS**

A capacidade de troca de cátions (CTC) tem grande importância na agricultura e revegetação, pois ela mede a capacidade de retenção de cátions dos solos, tais como o cálcio, magnésio, potássio, entre outros, em menor quantidade, evitando que estes sejam carregados pelas águas e, ao mesmo tempo, os disponibilizando para os vegetais. Esta tem um valor geralmente constante para cada tipo de solo, não sendo alterada em curto prazo por práticas agrícolas. A relação entre os cátions que ocupam a capacidade de troca é que pode ser alterada. A capacidade de troca destes íons é observada em inúmeras substâncias naturais ou artificiais. Os trocadores de íons são materiais que apresentam um excesso de cargas elétricas, que são balanceadas por íons trocáveis de carga contrária e que ficam adsorvidos na superfície, ou seja, a capacidade de troca catiônica é a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso e volume (RAIJ, 1987). O solo apresenta-se em geral, como um trocador de cátions, sendo que a carga das partículas é negativa.

A troca catiônica é um processo reversível e os cátions podem se movimentar livremente no solo, não sendo necessário a ocupação de uma posição fixa, pois a atração entre os cátions e a superfície ocorre através das cargas, de maneira eletrostática (RAIJ, 1987; LUCHESSI, FAVERO e LENZI, 2002).

Para adubação do solo não devemos considerá-la isoladamente, mas em interação com outras práticas que também afetam a produção tais como a calagem, a variação de espécies, manejo eficiente do solo, entre outras (SBCS-NRS, 1994).

A prática da calagem visa a elevação do pH do solo, com intuito de neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou manganês, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes.

A elevação do pH depende da quantidade de corretivo aplicada, da mistura homogeneia do corretivo com o solo, do teor de umidade do solo e do tempo de contato do corretivo com o solo (SBCS-NRS, 1994).

A escolha do corretivo deve ser baseada na sua composição química, grau de moagem (PRNT) aliados a oferta e custo. A preferência deve ser dada aos calcários dolomíticos, vindo em seguida os magnesianos e depois os calcíticos (OLEYNIK, 1980).

Para equilibrar as bases do solo, é recomendada a calagem calculada através do método da elevação da saturação de bases, (PARANÁ, 1989; RAIJ, 1987; LUCHESI, FAVERO e LENZI, 2002) a um nível pré-determinado, de acordo com as expressões 1, 2, 3 e 4:

$$NC \text{ (ton/ha)} = \frac{(V2 - V1) T}{PRNT} \quad (1)$$

Onde:

NC: Necessidade de calcário;

V2: Saturação de bases desejada;

V1: Saturação de bases atual do solo a ser tratado (equação 2);

T: Capacidade de troca de cátions (equação 3);

PRNT: Poder relativo de neutralização total do calcário.

$$V1 = \frac{100 S}{T} \quad (2)$$

$$T = (Al + H) + K + Ca + Mg + Na \quad (3)$$

$$S = K + Ca + Mg + Na \quad (4)$$

Para o desenvolvimento das plantas alguns elementos são essenciais. Estes são ditos essenciais porque sem eles as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida além de que um elemento não pode ser substituído por outro. Para os casos de culturas que exijam determinados elementos e estes não estando disponíveis no solo, existe a possibilidade de ceder estes por adubação (RAIJ, 1987).

Existem diversos sistemas para recomendação de adubação. A opção mais adequada para uma região depende do objetivo a atingir pelo uso de fertilizantes e pelo nível de conhecimento no setor. O sistema a ser utilizado, baseia-se no conceito de adubação por cultura, podendo ser ampliado para envolver indicações de adubação aplicáveis a uma sucessão de cultivos (SBCS-NRS, 1994).

Para os casos de adubação com fórmulas NPK, é indispensável a análise do solo e o conhecimento da cultura a ser cultivada para que se possa definir a fórmula comercial do fertilizante. Esta definição pode ser feita através de tabelas com as recomendações, tais como as do anexo 2, que especifica a adubação para gramíneas de estação quente (OLEYNIK, 1980).

#### **4.4 VEGETAÇÃO A SER UTILIZADA**

Áreas que sofreram impactos provocados por atividade mineira devem ser tratadas de forma a permitir um uso viável após a recuperação. Para isto é necessário o estabelecimento

estável e adequado dos taludes bem como a sua cobertura deve propiciar um crescimento rápido da vegetação (DIAS e MELLO, 1998).

Para recuperação de ecossistemas e para que se minimize a necessidade de manutenção, deve ser incentivado o uso de vegetação nativa, muito embora na maioria das vezes seja mais caro e trabalhoso. A revegetação deve evitar a infiltração de água da chuva nas áreas em processo de recuperação, proporcionando além da recuperação paisagística o controle sobre as drenagens ácidas, processos erosivos e instabilidade de taludes (CETEM, 2001).

Em casos onde a necessidade de se estabelecer à vegetação rasteira e arbustiva rapidamente para evitar os problemas relatados anteriormente, espécies exóticas podem representar uma boa alternativa a minimização deste problema dada a resistência de algumas espécies e sua alta capacidade de desenvolvimento. O rápido crescimento destas espécies acelera a formação da camada de serrapilheira subsidiando a auto-recuperação de determinada área (CETEM, 2001).

Nos projetos de recuperação de áreas degradadas deve-se definir e priorizar os diversos objetivos a serem alcançados (CETEM, 2001). O plantio de gramíneas nestas áreas propicia a formação de um substrato herbáceo arbustivo, onde a vegetação poderá encontrar condições para se restabelecer (IESA, 1983 in CETEM, 2001). Dentre as espécies vegetais rasteiras (gramíneas), podemos citar a *Brachiaria humidícola*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria ruziziensis*. O plantio destas pode ser direto ou por picoteamento, podendo utilizar a hidrosemeadura (CETEM, 2001).

Para os solos agricultáveis ou não, a cobertura com espécies vegetais, em períodos em que o solo não está sendo utilizado no caso de cultivos extrativos, deve melhorar sua fertilidade e obter benefícios pelo controle da erosão.

#### **4.5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DA ÁREA DE RETIRADA DO MATERIAL**

A aplicação do mapeamento geológico geotécnico, em áreas degradadas pela mineração de carvão tem se mostrado como uma ferramenta muito útil, uma vez que proporciona a integração das informações referentes ao substrato rochoso, solos, características geotécnicas e da vegetação (SANTO, et al. 2004).

Na área de pesquisa o levantamento das características geológicas e geotécnicas subsidiou o reconhecimento das condições físicas das pilhas de estéreis e depósitos de rejeitos, sua composição mineralógica e também a identificação das áreas fontes de contaminação. Devido à diversidade do local a área total do campo Malha II Oeste foi dividida em 19 (dezenove) zonas homólogas, cada uma com suas peculiaridades (IPAT, 2003a).

As pilhas de estéreis presentes no Campo Malha II Oeste, resultantes do processo de decapeamento da camada de carvão Barro Branco pertencente a formação Rio Bonito, são constituídas por blocos centimétricos a métricos de: (i) arenitos quartzosos, friáveis a macios, cinza-esbranquiçados, alguns portadores de pirita ou marcassita (minerais polimorfos cuja composição química é  $FeS_2$ ); (ii) siltitos acastanhados a acinzentados; e (iii) folhelhos cinza-escuro (IPAT, 2003a).

A camada de carvão Barro Branco possui, em média, cerca de 1,70 m de espessura, e mergulho geral de aproximadamente dois graus para sudoeste. É constituída por intercalações de carvão, folhelhos carbonosos cinza-escuros e siltitos cinza-acastanhados (associação litológica popularmente denominada quadração), os quais estão dispostos em finas camadas cen-

timétricas. Os bancos de carvão individualizados possuem espessura máxima da ordem de 0,40 m e, assim como os folhelhos carbonosos, apresentam pirita ou marcassita disseminadas sob a forma de nódulos ou veios (IPAT, 2003a).

O desenvolvimento da vegetação sobre as pilhas de estéreis, tanto em termos de densidade como de variedade e porte, está intimamente relacionado com as características geológicas e, conseqüentemente, pedológicas do local. Nas zonas onde há pilhas de estéreis com predominância de folhelhos e siltitos, rochas mais friáveis que os arenitos, são encontrados solos mais espessos e desenvolvidos, propícios ao desenvolvimento vegetal, enquanto nas pilhas compostas em sua maior parte por arenitos, principalmente aqueles que contêm pirita, o solo é praticamente inexistente e, por conseguinte, a vegetação é bastante rara (IPAT, 2003a).

Na zona 14, onde foi retirado o material para o experimento, ocorrem arenitos com pirita, de coloração cinza-esbranquiçados ou ocre avermelhados, associados com rejeitos de carvão e folhelhos da quadração. Os blocos de arenito variam de alguns decímetros a poucos metros sendo em sua maioria quartzosos, silicificados, contendo veios e nódulos de pirita ou marcassita. Os arenitos piritosos são importantes fontes de poluição devido à presença tanto de sulfetos quanto de sulfatos de ferro que ao serem lixiviados liberam enxofre para o meio ambiente, produzindo acidez (IPAT, 2003a).

Nesta zona as pilhas chegam a atingir 25 metros de altura com topos alongados e vertentes com inclinação entre 40° e 50°. Raramente se observou a presença de vegetação, além desta se mostrar grande fonte de poluição de toda área da mina (IPAT, 2003a).



## 5 TRABALHOS EXPERIMENTAIS

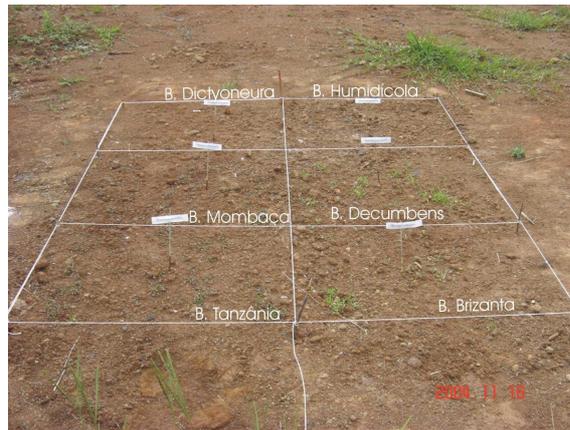
### 5.1 TESTE PRELIMINAR

A cultura a ser utilizada foi pré-estabelecida como sendo gramínea de estação quente, dado a época do plantio (primavera), a sua velocidade de germinação bem como, sua capacidade de adaptação a ambientes menos propícios as técnicas de revegetação.

Para garantir a veracidade do experimento foi realizado um teste preliminar sendo verificada a germinação de sementes de seis espécies do gênero *Brachiaria*, selecionadas de acordo com a sua oferta nas agropecuárias da região de Criciúma.

Este teste se fez necessário porque em um projeto de reabilitação proposto pelo IPAT, foram semeadas as sementes de *Brachiaria humidicola* e destas pouquíssimas germinaram, podendo desta forma mascarar os resultados dos experimentos a serem realizados posteriormente.

Os ensaios foram realizados no IPAT, sobre a argila a ser utilizada no projeto onde foram semeadas as seguintes espécies de *Brachiaria* (Figura 01): *Brachiaria mombaça*, *Brachiaria tanzania*, *Brachiaria brizanta*, *Brachiaria dictyoneura*, *Brachiaria humidicola* e *Brachiaria decumbens*.



**Figura 01: Pré-teste com *Brachiaria* no pátio do IPAT**

Fonte: SAVI FILHO, 2004

Cada espécie foi semeada em um quadrado de aproximadamente 0,8 x 0,8m.

Por vinte e três dias estas foram regadas diariamente no período matutino. Após este período foi verificado que as espécies *Brachiária dictyoneura* e *Brachiaria humidicola* não germinaram, provavelmente porque as sementes não eram de boa qualidade.

Através dos resultados optou-se pela espécie *Brachiaria decumbens*, por esta ter sido a que melhor se desenvolveu, além de possuir o menor preço de mercado e também por ser citada em bibliografias regionais como passível ao uso em projetos de recuperação ambiental.

## 5.2 TESTE PRINCIPAL

O teste principal está sendo realizado através de um experimento utilizando-se o Substrato de Mineração de Carvão à Céu Aberto (SMCA) extraído de uma área da antiga mina Malha II Oeste (Figura 02), município de Siderópolis, sendo esta objeto de um projeto de reabilitação proposto pelo IPAT (Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas).



**Figura 02: Área de retirada do SMCA em Siderópolis, Mina Malha II Oeste, zona 14**  
Fonte: SAVI FILHO, 2004

Como citado anteriormente o material foi retirado de um local com grande presença de arenitos piritosos, rejeitos e folhelhos da quadração. Características físicas e químicas foram determinadas através de análise composta realizada em função do projeto de Diagnóstico Ambiental para elaboração de Plano de Reabilitação Ambiental. Por ter acesso a esta análise, optou-se a utilizá-la, para os cálculos de adubação e calagem do experimento, agilizando a realização e minimizando os custos do projeto. Uma amostra do material foi encaminhada ao laboratório da CIDASC, para realizar outra análise composta visando à verifi-

cação da realidade expressa pela primeira (Anexo 01), bem como conhecer as características reais do material utilizado (SMCA).

A escolha do material com as características menos propícias ao desenvolvimento da vegetação, se deu devido à necessidade de se possibilitar a “remediação” de um solo com os piores índices de nutrientes e com maior presença de fatores inibidores, através de que a possibilidade deste estudo se adaptar de forma mais simples e econômica a um substrato com menor presença de minerais que possam gerar drenagens ácidas e de indisponibilizar os nutrientes do substrato, seja maior.

O SMCA foi carregado em caminhão basculante e conduzido ao IPAT, sendo deslocadas 11,550 toneladas de SMCA. Deste aproximadamente 60% era constituído por blocos centimétricos a decimétricos (Figura 03).



**Figura 03: SMCA depositado no IPAT**  
Fonte: SAVI FILHO, 2004

Desta pilha o material foi triturado com marretas de 2 e 5kg até atingir uma granulometria passível e apropriada para realização do estudo (Blocos com diâmetros menores do

que 3"). Concomitantemente a trituração o SMCA foi homogeneizado em uma segunda pilha, estando pronto para a realização das misturas (composições).

Com o SMCA pronto buscou-se quais os possíveis, estruturantes (no caso da argila), adubos e condicionantes com características técnicas, econômicas e ambientais, propícias a subsidiar o desenvolvimento da vegetação sobre o SMCA.

### 5.2.1 ARGILA

Argilas são materiais que possuem granulometria inferior a 0,002 mm, sendo formadas por finíssimas partículas, que quando compactadas podem atingir índices de permeabilidade inferiores a  $10^{-7}$  cm/s, ou seja, assumindo características de material impermeável.

Em projetos de recuperação ambiental de áreas mineradas, a argila atua como impermeabilizante sobre a camada de estéril, além de subsidiar a revegetação sobre estas áreas. Nos projetos de recuperação ambiental, realizados na região carbonífera Catarinense a argila é material sempre utilizado, mas nem sempre da forma e em quantidades adequadas, de forma a possibilitar a inativação dos rejeitos e estéreis através da impermeabilização de base e de cobertura. Por isto a argila foi utilizada, para efeito de comparativo e também para, em conjunto com o SMCA, tentar formar um solo com características físicas propícias ao desenvolvimento da vegetação tentando equilibrar os aspectos de textura nem argilosa, nem arenosa.

A argila utilizada no projeto, formada por uma mistura de silte, areia e argila (Tabela 02), foi retirada de um talude natural existente no IPAT (Figura 04). A profundidade de retirada do material foi concentrada entre 0,4 e 2 metros de profundidade. Esta foi utilizada por já possuir uma análise completa, de acordo com a tabela 02.



**Figura 04: Extração de argila em talude no IPAT**

Fonte: VICENTE, 2004.

**Tabela 02: Análise composta da argila.**

pH		Índice SMP	H	Al	Ca	Mg	K	P	Matéria Org. %	Textura %
H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>									
4,35	3,8	4,3	13,3	5,35	0,37	0,3	34,2	1,7	2,4	55

### 5.2.2 CALCÁRIO

Os solos se diferenciam bastante com relação à acidez que apresentam. Índices de acidez fora dos limites recomendados prejudicam o desenvolvimento das culturas, além da diminuição na produção. Nos solos ácidos, caso do SMCA, o desenvolvimento de organismos úteis fica prejudicado. Para correção desta acidez é utilizada a aplicação de calcário no solo, operação esta denominada de calagem.

Para a recomendação de calagem foi utilizado o método da elevação da saturação de bases do solo, proposto pelo PARANÁ (1989), de acordo com as equações 1, 2, 3 e 4.

O volume de saturação de bases desejado foi de 75%. O volume atual de saturação de bases foi obtido através da soma (expressão 2) dos íons de cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. O PRNT do calcário dolomítico a ser utilizado foi de 75%. Com estes chegou-se a quantidade de **1,43 Kg** por caixa segundo cálculos abaixo:

$$\begin{aligned} \text{meq K} &= 106/39,1 * 10 \\ \text{meq K} &= 0,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{meq Na} &= 11/22,98 * 10 \\ \text{meq Na} &= 0,04786 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 0,8 + 0,6 + 0,27 + 0,04786 \\ S &= 1,7178 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Al} + \text{H} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} \quad (3) \\ T &= 19,81 + 1,7178 \\ T &= 21,527 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 100 * S / T \\ V_2 &= 100 * 1,7178 / 21,527 \\ V_2 &= 7,979 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nc &= (V_2 - V_1) * T / 100 \\ Nc &= (75 - 7,979) * 21,527 / 100 \\ Nc &= 14,42 \text{ ton/ ha} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} 13,35 \quad 75 \\ \times \quad 100 \\ \hline x = 19,24 \text{ ton/ ha} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10000 \quad 19,24 \\ \times \quad 0,75 \\ \hline x = 0,00143 \text{ ton/ caixa} \end{array}$$

**Calcário = 1,43 Kg/ caixa**

**Calcário total = 57,2 Kg**

### 5.2.3 ADUBO MINERAL

Para a fertilização foi estabelecida a necessidade de uso do adubo NPK. Para se determinar a fertilização foi utilizada a recomendação para gramíneas de estação quente, proposta pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul (1997) de acordo com o anexo 02, sendo determinado que a quantidade de adubo NPK seria de 4-36-12. A fórmula comercial mais próxima encontrada nas agropecuárias da região foi a 4-14-8. Para equivaler as deficiências que se mostraram eminentes a fertilização foi calculada a partir do elemento que se encontrava em maior falta, de acordo com a tabela 03:

**Tabela 03: Equivalências de NPK para as caixas**

	N	P	K
Quantidade/ha	20 kg	180 kg	60 kg
Quantidade/caixa	1,5 g	13,5 g	4,5 g
NPK 4-14-8 equivalente	37,5 g	96,4 g	56,25 g

A partir disto optou-se por utilizar 96,4 g por caixa para que não tivéssemos deficiência de nenhum dos três nutrientes a serem usados.

### 5.2.4 CAMA DE AVIÁRIO

A cama de aviário foi utilizada dada a grande oferta deste material na região que tem grande produção de frango, além de possuir características atrativas ao seu uso como fertilizante. Como o projeto não obteve recursos externos a análise da cama de aviário não foi realizada. A caracterização média aproximada desta foi obtida através da tabela 04 proposta pelo IBAMA (1990).

**Tabela 04: Análise da Cama de aviário**

Material	%							
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	H <sub>2</sub> O	MO%
Cama de Aviário	2,50	1,80	1,50	4,6-5,8	0,5-1,5	0,3-0,5	55	-

A partir da caracterização optou-se por utilizar a cama de aviário de acordo com as necessidades de N, P, e K. Através do cálculo para o nutriente com maior falta chegou-se a quantidade de 750 g/caixa, pois apesar de o N e o K<sub>2</sub>O precisarem menores quantidades de cama o fósforo necessitou uma quantidade de 750g, por isto a adubação foi feita de acordo com a maior necessidade, de acordo com a tabela 05:

**Tabela 05: Quantidade de cama de aviário por caixa**

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Quantidade/caixa	1,5 g	13,5 g	4,5 g
Cama/caixa	60 g	750 g	300 g

### 5.2.5 TURFA AMBIENTAL

A turfa é o resultado do acúmulo de material orgânico altamente resistente à decomposição de gerações sucessivas de vegetação, ou seja, é altamente rica em matéria orgânica, além de possuir um banco de sementes. A adição de material orgânico em recuperação de áreas degradadas é prática desejável, pois seu efeito sobre a agregação do solo atua sobre as características físicas do solo, como a densidade, a porosidade, aeração, a capacidade de retenção e infiltração de água (ZIMMERMANN, 2001).

Por estes motivos, pela oferta deste bem na região, bem como pela constante utilização deste material em projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, optou-se a utiliza-la. Sua quantidade por caixa foi calculada de acordo com o indicado pela empresa produtora da mesma. A proposição indica a necessidade de utilizar de 5 a 10 cm sobre a área a ser revegetada. Como o projeto buscou as alternativas que equilibrassem o valor sócioambiental com os custos optou-se a utilizar a menor proposição: 5 cm de turfa sobre o material.

#### **5.2.6 FERTILIZANTE ORGANOMINERAL**

O fertilizante organomineral líquido é constituído por substâncias húmicas produzidas por processos biológicos naturais mais aminoácidos livres e minerais. A sua composição é indicada para o tratamento de substratos, o que se aplica diretamente ao projeto. Por isto esta foi utilizada.

Para o tratamento do solo, é recomendada a utilização de 250 a 750 ml do fertilizante diluídos em 200 a 300 l de água por hectare, com a finalidade de melhoria das propriedades físicoquímicas e biológicas do solo. Como na proposição anterior esta foi feita de acordo com a menor proposição de uso: 250 ml diluídos em 200 l de água por ha. Com isto chegou-se a quantidade de 0,02 ml caixa, diluídos em 150 ml de água.

### 5.3 TRATAMENTOS

As diferentes composições foram dispostas em caixas retangulares de madeira de eucalipto com lados de 1m e 0,75m e profundidade de 0,20m e espessura média das tábuas de 2,5cm (Figura 05). As medidas dos lados das caixas foram estabelecidas através da medida comercial de corte das tábuas que é de três metros de comprimento. Desta forma, evitaram-se perdas de madeira.



**Figura 05: Caixas destinadas as diferentes composições, localizadas no pátio do IPAT.**  
Fonte: SAVI FILHO, 2004

As mesmas foram dispostas em área pertencente ao IPAT sobre o concreto para evitar o contato com o solo orgânico, já que não possuem fundo. Nestas foram dispostas as 21 composições, de acordo com a tabela 06.

Além das 21 composições foram realizadas mais quatro repetições para cada composição, totalizando 84 caixas (Tabelas 07 e 08). Estas repetições foram realizadas para que estatisticamente, os resultados fossem mais confiáveis.

A disposição das composições nas caixas foi estabelecida através de sorteio, de acordo com as tabelas 07 e 08, sendo que para cada repetição foi estabelecida uma letra de A a D.

Para homogeneização da composição foi utilizada uma betoneira para concreto com capacidade para 120 litros (Figura 06).

**Tabela 06: Caracterização das composições**

Tratamento	Componentes
1 (testemunha)	SMCA
2	SMCA e Cama de aviário
3	SMCA e Turfa Ambiental
4	SMCA e Fertilizante Organomineral
5	SMCA e Adubo NPK 4 – 36 – 12
6	SMCA e Calcário
7	SMCA, Calcário e Cama de aviário
8	SMCA, Calcário e Turfa ambiental
9	SMCA, Calcário e Fertilizante Organomineral
10	SMCA, Calcário e Adubo NPK 4 – 36 – 12
11	SMCA e Argila
12	SMCA, Argila e Cama de aviário
13	SMCA, Argila e Turfa Ambiental
14	SMCA, Argila e Fertilizante Organomineral
15	SMCA, Argila e Adubo NPK 4 – 36 – 12
16	SMCA, Argila e Calcário
17	SMCA, Argila, Calcário e Cama de aviário
18	SMCA, Argila, Calcário e Turfa ambiental
19	SMCA, Argila, Calcário e Fertilizante Organomineral
20	SMCA, Argila, Calcário e Adubo NPK 4 – 36 – 12
21	Argila

\* SMCA: Substrato de mineração a céu aberto.

**Tabela 07: Distribuição das composições nas caixas A e B**

A	9	17	8	18	14	5	7	16	13	20	10	1	6	3	12	4	21	2	19	11	15
---	---	----	---	----	----	---	---	----	----	----	----	---	---	---	----	---	----	---	----	----	----

**Tabela 08: Distribuição das composições nas caixas C e D**

C	16	10	20	17	7	21	1	8	19	2	9	18	6	4	5	3	11	15	14	13	12
D	1	2	18	3	19	5	4	9	16	10	11	13	12	15	14	7	20	17	8	6	21



**Figura 06: Betoneira para homogeneização das composições**  
 Fonte: CAMPOS, 2004

O volume de SMCA nas composições de 1 a 10 foi de  $0,15 \text{ m}^3$ . Nas composições compreendidas de 11 a 20, as quantidades de SMCA e Argila foram de  $0,075 \text{ m}^3$  e na composição 21 a quantidade de argila foi de  $0,15 \text{ m}^3$ .

Na composição 1, testemunha, o SMCA foi somente disposto nas caixas para posterior plantio. O mesmo aconteceu com a argila na composição 21. Nos tratamentos 2 e 5 somente na última camada de aproximadamente 10 cm ocorreu a homogeneização na betoneira para que a cama de aviário e o adubo respectivamente pudessem ser melhor absorvidos pelas plantas, pois esta é a medida média da camada utilizada para esta disposição. Para aquelas que contavam com turfa e o fertilizante organomineral em sua composição, sua disposição ocorreu depois dos substratos, seja SMCA, SMCA misturado com argila ou SMCA misturado com

argila e calcário, estarem dispostos, pois para o caso da turfa a camada, segundo o fornecedor, deve se sobrepor ao substrato e possuir uma espessura de 5 a 10 cm (5 cm para o caso do experimento) e o fertilizante líquido, diluído em água apenas derramado sobre os substratos, que contavam com ele na sua formulação (4, 9, 14 e 19). As composições que contaram com SM-CA, argila e/ou calcário, foram totalmente homogeneizadas na betoneira, sendo os adubos misturados apenas na última camada de 10 cm, aproximadamente.

Através da análise físico-química do SMCA (Anexo 1), foi possível determinar quais as quantidades necessárias de calcário, adubo convencional e cama de aviário a serem utilizadas no projeto.

A semeadura realizada foi a chamada plantio a lanço, onde as sementes são arremessadas sobre o solo sem remoção ou aração, sendo o solo apenas gradeado para recobrir as sementes, tentando aproximar o máximo possível do projeto com a aplicação prática. Como não tínhamos necessidade de excluir as plantas invasoras, processo este muito utilizado na agricultura normal, facilitando a efetivação de resultados que provavelmente se dará de forma mais rápida e simples.

A recomendação cedida pela bibliografia para o plantio de *Brachiaria decumbens* é de 3 kg por hectare. Por regra de três chegou-se à quantidade de 2,25 g por caixa.

## 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS

No experimento diferentes fatores atuarão no resultado. Entre estes podemos destacar o tipo de adubo, a calagem ou não do solo e a mistura com argila. Além disto, por trabalhar com seres vivos superiores e estes nunca serem rigorosamente iguais, pode existir heterogeneidade nos resultados. Isto implica em existir sempre uma variação devida ao acaso em experimentos. Para a aplicação da análise estatística existem exigências que precisam ser atendidas a fim de que possam ser obtidas as melhores respostas. Duas são primordiais: necessidade de repetições e casualidade. As repetições de tratamentos são necessárias para poder se confirmar ou não se as diferenças observadas entre tratamentos são significativas ou não. A casualização trata da possibilidade de diferenças no terreno. Por isto o estudo em blocos ao acaso se torna o mais importante para visualização mais correta dos resultados (RAIJ, 1987).

O número de repetições a se realizar também se torna primordial. A realização de repetições se dá para visualizar as variações ao acaso. Segundo Raij (1987) a realização de, pelo menos quatro repetições tornam os resultados mais confiáveis, por isto foram realizadas quatro repetições para cada formulação.

## 5.5 PROGRAMA DE AMOSTRAGEM

Para a verificação da eficiência de cada tratamento individual e em comparação com os outros tratamentos se faz necessário a verificação de alguns parâmetros, de acordo com a tabela 09. Estes foram estabelecidos de acordo com a possibilidade de realização sem acrescentar custos onerosos ao projeto.

**Tabela 09: Ensaio a serem realizados**





## 5.7 CUSTOS DE EXECUÇÃO DO PROJETO

**Quadro 2: Custos totais do projeto**

Material	Quantidade	Unidade	Valor unit.	Valor total
Tábua de pinus	64	Tabua 3m	4,7	300,80
<i>Brachiária decumbes</i>	1	kg	6	6
Calcário	1	Saca 50 kg	4,1	4,1
Adubo NPK 4-14-8	2	kg	4	8
SMCA (transporte)	9	m3	10	90
Turfa	0,6	m3	20	12
Líquido Organus HFF	0,5	litro	42	21
Cama de aviário	0,6	m3	2	5
Argila	3	m3	5	15
Prego	2	Kg	3	6
Pá	1	um	4,7	4,7
Enxada	1	um	3,8	3,8
Picareta	1	um	5,3	5,3
Serrote	1	um	8	8
Marreta	2	um	2,5	5
Martelo	1	um	2,5	2,5
Carrinho de mão	1	um	22,3	22,3
Balança 10 Kg	1	um	1120	1120
Regador	1	um	8	8
<b>Ensaio</b>	-	-	-	-
permeabilidade	3	um	-	-
Relação C/N	3	um	-	-
Acidez potencial	3	um	18,5	55,5
Matéria seca total	84	um	-	-
Análise Composta	01	um	30	30
Valor total estimado				<b>1732,2</b>

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ensaio de reutilização de substratos são de extrema importância para que possamos desenvolver novas tecnologias para a recuperação de áreas degradadas, além de buscar abatimentos nos custos de execução relacionados principalmente à movimentação de grandes volumes de argila.

Subsidiar um uso para um material que não tem nenhuma finalidade útil deve ser uma busca constante sempre tentando agregar valor.

Em alguns projetos de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto, o Órgão de Controle Ambiental estadual autorizou a colocação de apenas uma camada de 50 cm compactada sobre os estéreis e rejeitos que serve para impermeabilizar estes, minimizando a entrada de água e conseqüentemente a lixiviação de poluentes para o lençol freático. Além desta é recomendada apenas a colocação de mais uma camada de 50 cm sobre a anterior para propiciar o desenvolvimento da vegetação. Têm-se então 1 m de camada superior aos estéreis e rejeitos que após o desenvolvimento da vegetação arbustiva e no início da vegetação secundária (também recomendados pelo Órgão de Controle Ambiental), já podem ser penetradas pelas raízes, possibilitando a percolação de água até os estéreis e rejeitos. Por isto deve-se buscar uma forma de estabilizar estes materiais para não apenas ma-

quiar uma recuperação e sim realizá-la de forma a permitir que esta consiga, sem maior intervenção antrópica se auto-recuperar.

Vale salientar que o projeto não levou em consideração a possibilidade de infiltração e lixiviação dos poluentes presentes nas camadas superficiais ou subjacentes, pois a preocupação deste é de apenas verificar a possibilidade de uso do substrato de mineração de carvão a céu aberto como substrato passível de ser revegetado, por isto a necessidade de realização de outros projetos se torna iminente para que possamos caracterizar estas possíveis carreções de poluentes.

Os ensaios de bancada permitem um maior controle dos fatores de influência ao rendimento do solo. Por isto existe a necessidade da realização de testes em campo para que se obtenham resultados reais e mais precisos quanto aos possíveis condicionantes de solo.

Além disto existem outros fertilizantes que podem ter rendimentos positivos tais como a serrapilheira, material compostado, lodos tratados de Estações de Tratamento de Efluentes, sendo que estes não foram utilizados no projeto dado a falta de recursos para a construção das caixas e do transporte dos mesmos.

Outro fator a ser tratado é que as quantidades necessárias de micronutrientes não foram consideradas. Talvez se tenha um maior rendimento quando se considerar este.

Para realizar o projeto, relacionando ao tempo e as características técnicas e financeiras o processo de moagem, homogeneização e de disposição se tornaram excessivamente trabalhosos, já que só de SMCA foram 11,550 toneladas a serem trituradas, homogeneizadas entre si, homogeneizadas com os outros materiais e depois dispostas nas caixas, mais a extração, transporte e homogeneização de 4 toneladas de argila que também teve de ser homogeneizada com outros materiais, gerando uma movimentação aproximada de 43 toneladas de

materiais, realizadas com carrinho de mão, baldes e betoneira por apenas uma pessoa, mostrando desta forma que para a realização de projetos como estes um melhor estabelecimento de tempo, equipe e de equipamentos pode reduzir e muito o tempo de realização.

Vale destacar que este projeto não contou com resultados por que as gramíneas ainda não germinaram. Mas é necessário ressaltar que o projeto terá sua continuidade até que possam ser verificados, ou não, a germinação das gramíneas.

O trabalho não visa esgotar as possibilidades de realização de ensaios voltados a revegetação dos estéreis resultantes da mineração de carvão a céu aberto, mas sim expandir as possibilidades para realização destes, servindo como apoio à realização de possíveis futuros ensaios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, I. B. PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: Abrates, 1993. 350p.
- ARAÚJO, Anacreonte Ávila de. **Principais gramíneas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Sulina, 1971. 190p.
- ARAÚJO, Quintino Reis de. **Solos de tabuleiros costeiros e qualidade de vida das populações**. Ilhéus: Editus, 2000. 97p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030**: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, 1993. 4p.
- BOFF, Valdemar Piazza. **Avaliação das espécies arbóreas do projeto “M” – Recuperação piloto de áreas mineradas a céu aberto**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma: UNESC, 1999. 30p.
- CANECCHIO FILHO, Vicente. **Administração Técnica Agrícola**. 2 ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 554p.
- CARPANEZZI, C. Composição florística. In Simpósio Brasileiro de Recuperação de Áreas Degradadas, 1997, Ouro Preto, **Anais...** Trabalhos voluntários – Viçosa, 1997. p.212-242.
- CETEM. Centro de Tecnologia Mineral. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense**. 2 ed. Relatório técnico elaborado para o SIESESC. 2001. v. 1, p.33-51.
- CITADINI-ZANETTE, Vanilde. **Levantamento florístico da área de recuperação da mineração a céu aberto em Siderópolis, Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina. 1982. 24p.
- COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo**. 3 ed. Lisboa: FCG. 1973. 527p.
- DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de solos. SOBRADE, 1988, 251p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério das Minas e Energia. **Curso de controle da poluição na mineração: Alguns Aspectos**. Brasília, 1986. 2v. 288p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412p.

FATMA-BID. **Melhorias na gestão ambiental e na qualidade da água em operações de mineração de carvão em Santa Catarina, Brasil. Relatório Final**. Santa Catarina, 2003.

FONTES, M. **Password: English dictionary for speakers of portuguese**. São Paulo, 1998. 2 ed. 540p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. **Mecanismos Dosadores de Sementes e de Fertilizantes em Máquinas Agrícolas**. Passo Fundo: IBAMA, 1997. 40p.

IPAT/UNESC. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas. Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Oeste – Santa Catarina**. Relatório Técnico. Criciúma, 2002a. 121p.

IPAT/UNESC. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas. Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Projeto de Reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas pela Atividade Extrativa do Carvão Mineral – Campo Malha II Oeste – Siderópolis – Santa Catarina**. Relatório Técnico. Criciúma, 2002b. 65p.

JICA. Japan International Cooperation Agency. **Final report for the feasibility study on recuperation of mined-out areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil**. Japan: 1997.

KAMP, N. SCHNEIDER, P. KLAMT E. **Introdução à ciência do solo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. 1985. 249p.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Ed Universidade/ UFRGS, 2000. 103p.

LUCHESI, E. B. FAVERO, L. O. B. LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 2002. 159p.

MACHADO, J. C. **Patologia das Sementes: Fundamentos e Aplicações**. Ministério da Educação, Lavras. Brasília: 1988. 106p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral em Plantas**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1980. 251p.

MARTINELLO, Clair Maria. **Avaliação microbiológica e físico-química de lagoas ácidas na mineração de carvão a céu aberto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. Curso de Pós Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente: Porto Alegre, 1998.

MENDES, M. F. **Metodologia para verificação de tipos adequados de cobertura para depósitos de rejeitos de carvão**. Monografia de conclusão de curso de graduação. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Departamento de Engenharia Ambiental: Criciúma, 2003.

MONIZ, Antônio C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. 182p.

O'KANE, Mike. AYRES, Brian. CHRISTENSEN, Dave. MEIERS, Greg. **CANMET – CETEM Manual on Cover System Design for Reactive Mine Waste**. Canada: O'Kane Consultants Inc, 2002. 148p.

OLEYNIK, José. **Manual de fertilização e correção dos solos**. Curitiba: Associação de crédito e Assistência Rural do Paraná, 1980. 91p.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do abastecimento. Programa de desenvolvimento do Estado do Paraná. **Manual Técnico do Subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba, 1989. 306p.

RAIJ, Bernardo Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: IAESP, 1987. 142p.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2001.

SANTO, E. L. et al. **Aplicação de mapeamento geológico-geotécnico em projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. In: XX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 2004, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2004. v.1, p.645-651.

SANTOS, R. et al. **Composição Florística e Estrutura Fitossociológica de um Fragmento de Floresta Ombrófila Densa, como Subsídio para Reabilitação de Ecossistemas Degradados, Região Carbonífera Catarinense, Brasil**. In: XX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 2004, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2004. v.1, p.663-671.

SANTOS, Robson dos. **Reabilitação de ecossistemas degradados pela mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina, Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo: São Paulo, 2003. 115p.

SBCS-NRS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo. 1994, 224p.

SENGUPTA, M. **Environmental Impacts of Mining: Monitoring, Restoration, and Control**. Fairbanks, 1992. 223p.

SIQUEIRA, J. O. **Biotechnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Ministério da Educação, Lavras. Brasília: 1988. 235p.

SMITH, L. B. WASSHAUSEN, D. C. KLEIN, R. M. Gramíneas-Gêneros. 1. *Bambusa* até *Chloris*. Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí, 1981. 436p.

STORCK, L. GARCIA, D. C. LOPES, S. J. ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria:2000. 198p.

ZIMMERMANN, D. G. **Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias: Florianópolis, 2001. 12p.

## **ANEXO 1 – ANÁLISE DO SMCA**



**ANEXO 2 – RECOMENDAÇÃO DE GRAMÍNEAS DE ESTA-  
ÇÃO QUENTE**