

Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carvão e meio ambiente é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

© dos autores
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde
Editoração eletrônica: William Wazlawik
Toni Peterson Lazaro
Fernando Piccinini Schmitt

C397c Centro de Ecologia/UFRGS
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV
C 332

Carvão

e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL**

Reitora

Wrana Maria Panizzi

Vice-Reitor

Nilton Rodrigues Paim

Pró-Reitor de Extensão

Luiz Fernando Coelho de Souza

EDITORA DA UNIVERSIDADE

Diretor

Geraldo F. Huff

CONSELHO EDITORIAL

Anna Carolina K. P. Regner

Christa Berger

Eloir Paulo Schenkel

Georgina Bond-Buckup

José Antonio Costa

Livio Amaral

Luiza Helena Malta Moll

Maria da Graça Krieger

Maria Heloisa Lenz

Paulo G. Fagundes Vizentini

Geraldo F. Huff, presidente



Editora da Universidade/UFRGS • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: editora@orion.ufrgs.br - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

SOLOS CONSTRUÍDOS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DA BACIA CARBONÍFERA

Nestor Kämpf
Paulo Schneider
Humberto Bohnen
Élvio Giasson
Carlos Alberto Bissani
Paulo Freire Mello
Marcelo Dondé de Alexandre
Marcelo Cotrim
Adão Luiz dos Santos

INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul existem extensas reservas de carvão que podem ser mineradas a céu aberto. Este processo de mineração é atualmente a principal forma de extração de carvão no Estado, com tendência de ampliação das áreas mineradas em futuro próximo. Como a mineração de superfície causa significativas modificações na paisagem, é possível antever alterações ambientais crescentes.

A legislação ambiental recente exige que áreas de terras submetidas à mineração sejam restauradas. Este procedimento deve iniciar antes da extração mineral propriamente dita, através da remoção em separado dos solos e das camadas geográficas. Após a conclusão da extração mineral, no processo de restauração da área, esses materiais, deveriam ser repostos na seqüência original. Na prática porém, isto nem sempre é exequível, fato que aliado à instabilidade do material utilizado na reabilitação da paisagem, pode impedir uma restauração satisfatória, mesmo a longo prazo.

Desta maneira, estudos que viessem monitorar e avaliar as alterações em características de solos construídos em áreas de mineração, bem como o seu potencial de uso,

são importantes para a obtenção de parâmetros que permitam estimar o impacto ambiental destas atividades e propor eventuais ajustes.

No presente trabalho são apresentados os resultados referentes ao estudo de solos construídos em áreas de mineração de carvão, desenvolvidos nos subprojetos “mapeamento e caracterização de solos construídos e de solos não perturbados de área de mineração” e “Avaliação do potencial de acidificação de solos construídos e contaminados de mineração de carvão”, com os seguintes objetivos: 1. Avaliar as suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas; 2. Avaliar a sua evolução temporal (= amadurecimento), com base nas características relacionados no item 1;3. Testar parâmetros físicos e químicos que sirvam para monitorar a reabilitação das áreas mineradas e avaliar o potencial de uso do solo construído a longo prazo e 4. Estabelecer critérios para a sua classificação.

MATERIAL E MÉTODOS

Características do material

Na Bacia Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul, as camadas mais superficiais de carvão ocorrem a profundidades entre 25 e 40 metros, com espessuras de um a cinco metros, recobertas e intercaladas por material estéril (sedimentos pelíticos: siltitos, argilitos e folhelhos carbonosos). O processo empregado na lavra das áreas do presente estudo foi a mineração a céu aberto em faixas (“stripmining”), em cortes com 80 metros de largura e 200 a 1500 metros de comprimento, utilizando “motoscrapers”. O corte já minerado foi fechado com material estéril do corte em decapagem para a recuperação topográfica e recoberto com material de solo (Bugin e outros, 1989). No processo de construção dos solos, a reposição dos estéreis foi feita em camadas com espessuras de 20-30 cm pelas máquinas escavadoras (“motoscrapers”), distribuindo o material decapado da nova faixa de mineração. Na cobertura final foi usado material de solo (mistura de horizontes A, B e C de podzólico vermelho-escuro ou outro solo) originalmente na superfície, espalhado com trator de esteira numa espessura de aproximadamente um metro, seguido de práticas para a revegetação da área.

Amostragem e descrição dos perfis de solos

Nas minas Butiá-Leste e Recreio, da COPELMI Mineração Ltda., situadas na margem da BR-290, no município de Butiá-RS, a cerca de 80 km de Porto Alegre, foram descritos e amostrados 16 perfis de solos em áreas mineradas e recuperadas, representando uma superfície de aproximadamente 200 ha. O elevado número de perfis amostrados objetivou a obtenção de uma representatividade adequada à grande variabilidade dos solos construídos.

Na Mina Butiá-Leste foram amostrados em outubro e novembro de 1993 perfis de áreas reabilitadas em 1988 e 1991, representando na época da amostragem solos

com idades de 2 anos (= solos BL2) e 5 anos (= solos BL5) desde sua construção. Na mina do Recreio foram amostrados em setembro e outubro de 1995 perfis de área reabilitada em 1981, representando na época da amostragem solos com aproximadamente 15 anos desde sua construção (= solos RE15); estes são os solos construídos mais antigos que se tem conhecimento na área de mineração de carvão no Rio Grande do Sul. Todos os perfis foram descritos e coletados em taludes de voçorocas. Nos perfis fez-se a separação dos horizontes ou camadas, a descrição de características morfológicas e a coleta de amostras (Lemos & Santos, 1984).

Análises físicas dos solos

As análises físicas consistiram em: granulometria pelo densímetro Bouyoucos, argila dispersa em água, densidade aparente em anel volumétrico, densidade de partícula e cálculo da porosidade (EMBRAPA, 1979). A condutividade hidráulica saturada foi determinada utilizando-se permeâmetro de carga variável, aplicando-se uma coluna de água inicial de aproximadamente 1 m, com cinco repetições para cada amostra. A retenção de umidade foi determinada em painéis de pressão (tensões de 0,01, 0,05, 0,1, 0,5 e 1,0 MPa), com três repetições. A taxa instantânea de infiltração foi determinada no campo com duas repetições, usando-se cilindros concêntricos, em áreas próximas aos perfis BL5-4 e BL2-7.

Análises químicas dos solos

A determinação do pH e da condutividade elétrica (CE) foi feita imediatamente após a coleta e, posteriormente, em amostras secas e moídas, sendo repetida nestas últimas após 12 meses. As demais análises foram efetuadas somente em amostras secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2 mm. As análises químicas consistiram em: pH(H₂O) e CE em mistura 1:1 de solo e solução; C orgânico pelo método Walkley-Black modificado (Tedesco e outros, 1985); bases trocáveis (Ca, Mg, K, Na), Al e H+Al (EMBRAPA, 1979); sulfato solúvel em CaCl₂ 0,1 molL⁻¹ (Bissani e outros, 1995); equivalente de CaCO₃ e potencial de acidificação por digestão com H₂O₂ - Perhidrol (adaptado de O'Shay e outros, 1990), calculado na forma de equivalente de CaCO₃ necessário para neutralização a pH 7. Fe, Mn, Al, Cu e Zn extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960) e com oxalato de amônio (Schwertmann, 1964), determinados por espectrometria de absorção atômica.

Análise da solução do solo

Para determinação da composição da solução do solo foram incubadas 50 g de amostras de solo selecionadas, em recipiente de boca larga de 120 ml, mantidas saturadas com água deionizada, por 24 horas. A solução do solo foi extraída por sucção utilizando-se um tubo de PVC rígido, com 15 cm de comprimento e 8 mm de diâmetro interno. Em uma extremidade do tubo foi colado (Brascopen PK) um filtro 0,20 mm (Versapor-200-Gelman Sciences Inc.) e na outra foi inserida uma seringa de plástico de

20 ml. A extremidade do tubo com filtro foi inserida em um orifício feito na parte superior da amostra de solo, mantido saturado. Com a seringa fez-se sucção (aprox. 0,7 atm), fixando-se o êmbolo da seringa na posição através de um pino de metal. O tempo de extração variou de 1 hora até 24 horas, dependendo do tipo de amostra. Na solução extraída foram analisados pH, CE, Al, Si, SO₄, COS, Ca, Mg, K, Na, Fe e Mn. A atividade dos elementos foi calculada segundo o programa Soil Solution (Wolt, 1989).

Análise mineralógica dos solos

Análises mineralógicas por análise térmica-diferencial (ATD, equipamento BR 300) e por difratometria de raios X (DRX, equipamento Philips, radiação Fe, monocromador de grafite) foram realizadas em amostras da fração terra fina, argila, eflorescências e mosqueados de solos.

Análise da variabilidade espacial dos solos

Para análise da variabilidade espacial dos solos construídos foram locadas duas parcelas de um hectare cada em áreas dos solos construídos BL2 e BL5. Uma amostragem preliminar em duas transeções alocadas, aleatoriamente, mostrou uma variabilidade relacionada à topografia reconstruída e possivelmente à exposição de materiais por erosão. Para captar estes efeitos foi efetuada uma amostragem em grade com malha de 10 metros, coletando-se a camada superficial do solo na profundidade de 0-20cm, nas intercessões da grade; as dimensões da grade foram de 50x200m e de 70x150m respectivamente nas áreas com 2 e 5 anos de reconstrução, perfazendo cada qual a área de um hectare; em função das dimensões das grades, o número de amostras é de 126 e 121, nas respectivas áreas. Além disto, devido às condições de acesso nas áreas, o eixo maior tem a orientação leste-oeste na área de 2 anos e norte-sul na de 5 anos.

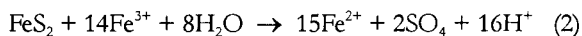
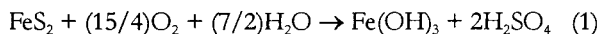
As amostras foram analisadas segundo métodos indicados em 4.4., quanto a: pH e CE; Ca, Mg, Al, K, Na, C, Mn, Cu e Zn. A cor (Munsell), em amostras úmidas e amassadas, foi convertida em “índice de cor vermelha” (IV), na forma de $(H^* \times C)/V$, onde C e V representam croma e valor, e H* é derivado de: 2,5YR = 10; 4YR = 8,5; 5YR = 7,5; 6YR = 6,5; 7,5YR = 5,0; 9YR = 3,5 e, 10YR = 2,5. O decréscimo de H* representa um aumento do branco na coloração.

Os resultados foram analisados estatisticamente utilizando-se os programas Statistix (1994) para a estatística clássica e GEOEAS (Englund & Sparks, 1991) para a estimativa da variabilidade espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concepção de *solo construído* adotada no presente texto é a de solo formado por materiais e procedimentos determinados pela ação humana; tais solos são fundamentalmente antropogênicos e na condição ambiente passam a ter uma evolução pedogênica.

Além disso, ao contrário dos solos naturais, o solo recém construído ainda não alcançou um “steady state” com as condições do ambiente de superfície, estando sujeito a mudanças rápidas nas suas propriedades. A velocidade e o grau destas modificações podem afetar o potencial de uso do solo para fins diversos e o sucesso da recuperação a longo prazo. Entre as alterações previsíveis em solos construídos afetados pela mineração de carvão está a acidificação através da oxidação da piritita (FeS_2) presente nos sedimentos, esquematicamente representada pelas seguintes reações (Fanning & Fanning, 1989):



Além das conseqüentes implicações ambientais destas reações, os solos construídos oferecem oportunidade para o estudo dos efeitos da ação antrópica, bem como para acompanhar estádios pedogênicos incipientes e a sua evolução temporal, na busca do “steady state”.

Aspectos da revegetação nas áreas de solos construídos

A área dos solos BL2 apresentava boa cobertura vegetal por gramíneas (*Festuca sp.*) e desenvolvimento homogêneo de acácia-negra (*Acacia mearnsii*), com pouca incidência de voçorocas. Por outro lado, a área dos solos BL5 apresentava-se fortemente erodida, com cerca de 70% da superfície descoberta; no processo de revegetação desta área haviam sido introduzidas gramíneas (*Festuca sp.*) e eucalipto (*Eucalyptus sp.*); na época da amostragem a vegetação baixa havia desaparecido em grande parte da área, enquanto que o eucalipto apresentava desenvolvimento muito heterogêneo e muito inferior ao esperado; havia desenvolvimento de vegetação espontânea na forma de touceiras de gramíneas, maricá (*Mimosa bicromata*) e vassoura branca (*Baccharis sp.*). Já a área dos solos RE15 apresentava-se em parte com boa cobertura do solo, um bom desenvolvimento de acácia e pinus (*Pinus elliotti*) e pouca erosão, bem como uma parte com vegetação espontânea intensamente erodida.

Morfologia dos solos

Na mobilização, transporte e redeposição dos materiais, é praticamente inevitável a mistura de horizontes e camadas de solo e material geológico, produzindo alterações na composição original. Desta maneira, feição morfológica marcante dos solos construídos é a presença de camadas estratificadas originadas da sucessiva sobreposição de materiais heterogêneos na sua construção. Esta diferenciação de materiais também foi confirmada nas análises químicas, físicas e mineralógicas. Assim, basicamente as características morfológicas desses solos são dependentes do material geológico utilizado e do processo de construção, aos quais se sobrepõem os processos pedogênicos.

Mais especificamente, os perfis de solos são constituídos por uma sucessão de camadas ou horizontes de espessura variável (5 a 25cm), geralmente com transições

abruptas e onduladas devidas ao processo de construção (Apêndice 1 e Tabela 1), distinguidos pela coloração (identificada segundo o padrão Munsell); as camadas superficiais foram identificadas como A e as subjacentes como C.

Nos solos BL2 a cor do horizonte A não evidenciou desenvolvimento por acumulação de matéria orgânica e sim as feições: (1) do material de solo (horizonte B de Podzólico Vermelho Escuro) usado na cobertura final (vermelho-escuro-acinzentado a bruno-avermelhado-escuro 2,5YR 3/2-4; 5YR 3/4); ou (2) do material geológico aflorante por erosão desta cobertura. A formação de agregados estruturais é inexistente ou incipiente em blocos subangulares com desenvolvimento fraco. A preservação de parte da cobertura final de solo na área BL2 deve-se à vegetação mais densa. Nos solos BL5, a camada superficial, qualificada como horizonte A, também não apresentou estrutura pedogênica ou escurecimento por matéria orgânica, mas domínio de feições do material geológico exposto por erosão da cobertura. Os solos RE15 apresentaram boa preservação da cobertura com material de solo superficial original nas áreas reflorestadas, identificado pela cor (bruno-avermelhado e bruno avermelhado escuro 5YR 4/4 e 3/2,5), com estrutura fraca ou moderada em blocos subangulares e granular; nos locais com abundante acúmulo de acículas observou-se um escurecimento incipiente em camada com aproximadamente 3 mm de espessura no topo do horizonte A.

Nos solos BL2 e BL5 os horizontes C apresentaram-se maciços e sem estrutura pedogênica, e em alguns casos com feições estriadas (bandas) atribuíveis à compactação pelo tráfego do equipamento (“motoscrapers”) usado na sua construção. Nos solos RE15, além das feições registradas nos solos mais jovens, observou-se desenvolvimento de estrutura pedogênica, fraca a moderada na forma de blocos angulares e subangulares. Isto confirma as informações de que, ao longo do tempo, solos construídos tendem a adquirir uma estruturação (Schafer e outros, 1980; Thomas & Jansen, 1985; Ciolkosz e outros, 1985; Haering e outros, 1993), quando é mantida uma cobertura vegetal. O rápido desenvolvimento de horizonte A tem sido observado em solos construídos e vegetados onde há desenvolvimento radicular intenso (Haering e outros, 1993), enquanto que a formação de horizonte câmbico (EUA, 1992) foi registrada em solos construídos com idade superior a 50 anos (Schafer e outros, 1980). No presente caso, entretanto, apenas nos solos RE15 a vegetação apresentou um apreciável desenvolvimento radicular, o que deve ter contribuído para a formação de agregados estruturais. A ausência de estrutura é uma das principais deficiências de solos construídos jovens, implicando em suscetibilidade à erosão devido a pouca estabilidade do material.

As cores dos horizontes C são variadas, refletindo a composição do material mineral. Observa-se a coloração escura dos folhelhos carbonosos (preto a cinzento muito escuro 2,5Y 2-3/0), com ou sem mosqueados indicadores de processos de oxidação (bruno-oliváceo-claro 2,5Y 5/6; bruno-amarelado-escuro a bruno-amarelado 10YR 4-5/6-8; bruno-forte 7,5YR 4/6) e formação de jarosita (amarelo-oliváceo 2,5Y 6/6-8; oliva 5Y 5,5/4 e amarelo-oliváceo 5Y 5-6/6); coloração acinzentada (preto a bruno muito escuro 10YR 5/1,5; preto 7,5YR 2/0) correspondente aos argilitos e siltitos; ou coloração variegada devido a mistura de materiais diversos (vermelho 2,5YR 4/8; cinzento-brunado-claro 10YR 6,5/2; cinzento muito escuro e cinzento claro 2,5Y 3/0 e 7/2). Eflorescências (branco 5Y 8/1) nas faces expostas dos perfis alguns dias após a ocorrência de chuvas, atestam os processos de oxidação da pirita na interior dos solos (vide 5.5).

Propriedades Físicas

As propriedades físicas de perfis representativos dos solos construídos BL2 e BL5 estão relacionadas nas Tabelas 1 a 3; valores médios das populações BL2, BL5 e RE15, para comparação da evolução, constam na Tabela 9. Os solos apresentam menos que 10% de material com diâmetro $>2\text{mm}$, constituído por fragmentos de folhelho carbonoso, carvão e sílica; raros matacões na forma de fragmentos de carvão, de laterita e de granito ocorrem esparsos na área. Na fração terra fina predomina a textura argilosa e, em menor proporção, as texturas média e muito argilosa (Tabelas 1 a 3). A granulometria varia irregularmente com a profundidade na maioria dos solos, sem evidência de translocação de argila (eluviação-iluviação) que identifique desenvolvimento de horizonte B, indicando ser resultante da superposição de materiais heterogêneos. Desta maneira, a função profundidade irregular da textura está relacionada à granulometria dos sedimentos geológicos empregados na construção dos solos. O teor de argila dispersa em água (Tabelas 1 a 3) foi baixo nas camadas ácidas e com alto Al^{3+} (Tabelas 5 a 7), e alto nas camadas com pH elevado, indicando floculação pelo alumínio.

Os solos apresentaram uma densidade aparente elevada, variando de 1,41 a 2,29 kg dm^{-3} , com uma média de 1,65 kg dm^{-3} ; a densidade de partícula variou de 2,06 a 2,87 kg dm^{-3} . A porosidade calculada mostrou valores muito baixos, de 0,10 a 0,45 m^3m^{-3} , com uma média de 0,26 m^3m^{-3} nos solos BL e de 0,19 m^3m^{-3} nos solos RE. Este adensamento, produzido pelo tráfego do equipamento utilizado na construção dos solos, explica a baixa taxa de infiltração d'água, de 5 cm h^{-1} ($I = 49,52t^{-0,467}$) e 3 cm h^{-1} ($I = 24,30t^{-0,413}$) respectivamente para as áreas BL2 e BL5, bem como a baixa condutividade hidráulica; a condutividade hidráulica saturada vertical e horizontal, sem diferença entre elas, é lenta a moderadamente rápida nos horizontes A (0,08 a 7,09 cm h^{-1}) e muito lenta nas camadas subjacentes ($<0,01$ a 0,15 cm h^{-1}). Estas condições favorecem o escorrimento da água e a conseqüente severa erosão observada no local. Além disso, a compactação pode ser um dos fatores que afeta negativamente o desenvolvimento do eucalipto, que apresenta sistema radicular pivotante, enquanto que a acácia, com sistema radicular mais superficial, parece ser mais tolerante a este impedimento físico; não foram observados indícios de impedimento ao sistema radicular nos solos RE15. A retenção de água nos solos é baixa (Tabela 4), sendo maior nas camadas mais profundas dos perfis. Os perfis BL2 retiveram mais água em todas as tensões, em comparação às camadas dos solos BL5. Com excessão de alguns horizontes A, mais de 50% da massa total de água está retida a tensões menores que 1 MPa, equivalendo à poros com diâmetro $<0,3 \mu\text{m}$, ou seja, de forte retenção de água. Essa predominância de poros muito pequenos é responsável pela baixa taxa de infiltração e baixa condutividade hidráulica observadas.

Esses resultados confirmam observações de diversos autores (Pedersen e outros, 1980; Snarski e outros, 1981; Bussler e outros, 1984; McSweeney & Jansen, 1984; Potter e outros, 1988).

Propriedades Químicas

Nas Tabelas 5 a 7 são apresentadas as propriedades químicas dos perfis; valo-

res médios das populações BL2, BL5 e RE15, para comparação da sua evolução, constam nas Tabelas 9 e 10. O comportamento irregular nas propriedades químicas com a profundidade dos solos, confirma a sua composição por empilhamento de camadas de materiais heterogêneos, identificada na análise granulométrica.

Não foi constatada diferença significativa nos valores de pH entre as condições imediatas à coleta das amostras, após secagem e 12 meses depois. Os resultados apresentados são os das medições imediatas. A amplitude de variação no pH dos solos é de 1,4 à 8,3, com valores médios de 5,3, 3,0 e 4,0, respectivamente nos solos BL2, BL5 e RE15. O progresso da oxidação da pirita é evidenciado nos solos mais antigos; entre os solos BL2 apenas um perfil de área erodida e sem vegetação, expondo camadas contendo rejeitos de carvão, apresentou pH <3,5, enquanto que nos solos BL5 e RE15 valores de pH <4,0 são comuns. Valores de pH alcalino foram observados em algumas camadas a maior profundidade nos solos RE15 e BL5 e mais superficiais e com maior frequência nos solos BL2, indicando as características originais do material geológico. O valor de pH médio mais elevado registrado nos solos RE15 em comparação com os BL5 deve-se, provavelmente, ao uso de material com maior teor de carbonatos.

A drástica diminuição do pH com a idade dos solos sugere um rápido desencadeamento de processos pedogênicos, onde o sistema busca o equilíbrio dinâmico com as condições oxidantes do ambiente de superfície. Amostras suplementares do perfil BL2-7, coletadas 19 meses depois, mostraram um decréscimo de uma a 2,5 unidades de pH. Através de amostras obtidas por tradagem em posições afastadas de voçorocas verificou-se que os respectivos valores de pH não se diferenciavam, significativamente, daqueles determinados nas amostras de perfis expostos à oxidação em voçorocas.

A condutividade elétrica (CE) dos extratos 1:1 variou de 0,02 a 8,80 dS m⁻¹, sendo os valores mais elevados constatados nos solos BL5. O fato da soma de cátions básicos ser maior e a CE menor nos solos BL2 e RE15, indica que a CE mais elevada nos solos BL5 deve-se aos sais liberados no processo de oxidação da pirita (Evangelou e outros, 1985), visualizados na forma de eflorações (vide 5.5). A presença de sais, também foi confirmada visualmente nas amostras utilizadas para a determinação do pH(H₂O) após a evaporação da água em condição ambiente. A diminuição da CE nos solos RE15 sugere que a continuidade dos processos de percolação das águas e o gradativo esgotamento das fontes destes sais leva ao decréscimo da CE ao longo do tempo, em conformidade com o constatado em solos construídos mais antigos (Schafer *et al.*, 1980; Ciolkosz e outros, 1985).

O teor de cátions básicos (Ca, Mg, K e Na), com predomínio de Ca, geralmente foi maior nas camadas com pH elevado, observando-se o contrário com a acidez extraível (H+Al) e o alumínio trocável que apresentaram níveis tóxicos mais frequentes nos solos BL5 e RE15. Este alumínio é liberado no intemperismo dos argilominerais (Carson e outros, 1982). Os teores de Mg, K e Na foram menores nos solo BL5, o que lhe confere uma menor soma (SB) e saturação por bases ($V = (SB/CTC)100$). A saturação por bases em solos naturais apresenta uma relação linear com o pH do solo, onde $V = 100\%$ corresponde a um valor de pH aproximadamente 7,0, e um pH 4 apresenta V igual a zero. Nos solos construídos esta relação não é aparente, observando-se que, notadamente, nos solos RE15 ocorre saturação por bases elevada (>50%) em pH <4,0.

A razão desta anomalia está no fato dos solos construídos conterem materiais pouco intemperizados ou lixiviados (vide 3.5.), bem como a presença de minerais como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e CaCO_3 , que contribuem para o excesso de Ca, e desta maneira aumentam a saturação por bases. Os teores de Na indicam um ambiente onde a percolação da água é restrita, o que é confirmado pela baixa taxa de infiltração e condutividade hidráulica observados (vide 5.3.).

Os teores de carbono orgânico apresentaram uma amplitude de variação de 0,2 a 123,1 g kg^{-1} , com médias de 8,4, 20,4 e 13,6 g kg^{-1} , respectivamente nos solos BL2, BL5 e RE15. A distribuição irregular do C orgânico com a profundidade dos perfis está relacionada à alternância de camadas com folhelhos carbonosos ou contendo rejeitos de carvão com camadas menos carbonosas (vide 5.2.). Não há evidência de contribuição significativa de C orgânico ao solo pela vegetação estabelecida (vide 5.1.). A alternância de camadas heterogêneas durante a construção é frequente em solos desse tipo (Ciolkosz e outros, 1985). Os teores de sulfato solúvel também mostraram uma distribuição errática com a profundidade dos perfis, sendo os valores mais elevados observados nos solos BL5. A regressão $\text{SO}_4(\text{água}) = 0,845 \text{SO}_4(\text{CaCl}_2) + 5,8$ ($r = 0,994$; $n = 12$) de Bissani e outros. (1995), permite converter os valores de sulfato nas Tabelas 3 e 4 em sulfato solúvel em água utilizado como critério diagnóstico de horizonte sulfúrico (vide 5.9.).

Na face exposta de perfis, na interface de camadas ou no fundo das voçorocas, foram observados precipitados de ferro (amarelo 10YR 7/8) da migração de soluções com Fe^{2+} provenientes das reações no interior dos solos, indicando a atividade dos processos químicos. Da mesma forma, os teores de ferro extraídos com DCB (Fed, representando a soma das formas cristalinas e de baixa cristalinidade; Tabela 8), além de serem mais elevados nesses precipitados, apresentaram nos perfis uma dependência da composição do material de origem dos solos ou das camadas, bem como uma relação com a presença de mosqueados originados pelos processos de oxidação da pirita. Por sua vez, o Fe extraído com oxalato de amônio (Feo), que representa as formas de baixa cristalinidade, foi, de maneira geral, mais indicativo de processos de sulfurização (vide 5.9.). Uma correlação muito significativa entre CE e SO_4 ($r=0,950$), CE e FeO ($r=0,923$) e entre Feo e SO_4 ($r=0,889$) nos solos BL5, e entre CE e SO_4 ($r=0,859$) nos solos BL2, mostra que a CE é um indicativo dos sulfatos solúveis formados na sulfurização e que nos solos BL5 o Feo representa o Fe^{2+} associado a estes sulfatos. Nos solos RE15 estas relações foram pouco evidentes. A razão Feo/Fed (indicativo da proporção dos óxidos de ferro de maior atividade em relação ao teor total dos óxidos de ferro no solo), apresentou tendências irregulares com a profundidade dos perfis indicando a desuniformidade das camadas e, conseqüentemente, da ação dos processos de alteração.

Enquanto que as formas de óxidos de ferro podem ser dissolvidas seletivamente por extrações com DCB e oxalato, expressas respectivamente por Feo e Fed (Schwertmann & Fitzpatrick, 1992), no caso de alumínio são extraídos apenas polímeros ou formas de baixa cristalinidade, ou ainda Al contido nos óxidos de ferro. Dessa maneira, os teores de Alo e Ald e as altas relações Alo/Ald (Tabela 8) representam diversas formas de Al com alta atividade nos solos (não identificadas na análise mineralógica por DRX e ATD; vide 5.5), correspondentes a polímeros de alumínio, superfícies intemperizadas de argilominerais, sulfatos de alumínio, bem como a hidróxi-Al silicatos amorfos (vide 5.7.).

Mineralogia

A mineralogia dos solos reflete a composição do material de origem, bem como os efeitos de uma pedogênese incipiente. A fração terra fina (Figuras 1 e 2) contém comumente predomínio de esmectita (1,88 e 1,5 nm), acompanhada por caulinita de boa cristalinidade (0,7 e 0,44 nm), baixos teores de muscovita (1,0 e 0,5 nm), quartzo (0,426 e 0,334 nm) e vestígios de feldspatos (0,385, 0,32 e 0,318 nm). Adicionalmente, nos solos mais antigos (BL5 e RE15) tende a ocorrer gesso (0,76 nm), anidrita, rozenita e goethita, como indicativos do processo de sulfurização (vide 5.9.). O gesso geralmente forma-se onde há CaCO_3 , presente na forma de marga nos sedimentos pelíticos, atuando na neutralização da acidez produzida pelo intemperismo da pirita, liberando Ca que reage com o sulfato (vide 5.6.). A presença do gesso é indicadora de ambientes com lixiviação reduzida, mas no presente caso, sob pluviosidade média anual de 1400 mm, deve-se ao estágio incipiente de intemperismo dos solos e a sua baixa condutividade hidráulica.

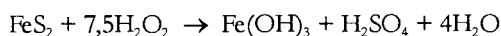
A ação da acidificação sobre as esmectitas pode ser visualizada na comparação de amostras de camadas de perfis BL2, BL5 e RE15 (Figuras 1 e 2). Os reflexos mais largos e desordenados das esmectitas indicam um intemperismo acelerado através da acidez gerada na oxidação da pirita, com o conseqüente aumento dos níveis de Al trocável (vide 5.4. e 5.6.), conforme foi observado em outros locais (Carson e outros, 1982; Carson & Dixon, 1983; Charoenchamratcheap *et al.*, 1987), e confirmando a caulinita como mineral mais estável. Entretanto, também ocorrem camadas mais esmectíticas e outras mais caulínicas correspondentes à composição original dos estratos geológicos.

Cristais de pirita, visíveis na forma de macrocristais ou detectados por DRX (Figura 3), estão normalmente presentes nos folhelhos carbonosos e rejeitos de carvão incluídos nos perfis dos solos, constituindo a principal fonte de acidez. Os sintomas visíveis da sua alteração aparecem inicialmente como eflorescências, na forma de precipitados pulverulentos esbranquiçados; são formadas por migração de soluções com íons SO_4 e Fe^{2+} a locais de dessecação, como a face exposta do perfil e nas arestas de fragmentos de carvão, onde precipitam como rozenita $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,687, 0,406, 0,322 e 0,258 nm), szomolnoquita $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,342, 0,337, 0,326, 0,265 e 0,251 nm), melanterita $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,492 e 0,379 nm) e siderotila $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,563, 0,492, 0,375 e 0,251 nm) (Figura 3). Estes sulfatos de Fe^{2+} são precursores na formação de jarosita $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ (0,593, 0,295, 0,276 e 0,251 nm) e natrojarosita (0,552, 0,295, 0,276 e 0,251 nm). Amostras de eflorescências analisadas algumas semanas após a coleta mostraram alteração no grau de hidratação dos sulfatos de Fe^{2+} até formação de jarosita, com a mudança da cor branca para amarela e verde. A alta solubilidade dos sulfatos de Fe^{2+} e, conseqüentemente, sua fácil remoção pode dificultar a formação de jarosita nas faces expostas dos perfis.

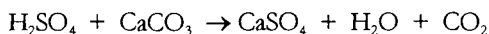
A rápida formação destes sulfatos em material que contém sulfetos recém expostos permite seu uso como indicadores de oxidação ativa ou pós-ativa destes compostos. Por outro lado, minerais menos solúveis, como o gesso e a jarosita, são encontrados tanto em materiais de oxidação recente como de mais antiga (Wagner e outros, 1982; Carson e outros 1982).

Potencial de acidificação

A predição da evolução dos solos construídos baseia-se na estimativa do processo de acidificação gerado pela oxidação da pirita e da capacidade de neutralização desta acidez pelos carbonatos e silicatos presentes nos solos. Devido a dificuldade de se quantificar os fatores que controlam a oxidação da pirita (taxa de difusão do oxigênio, taxa de infiltração da água, pH, temperatura, presença de carbonatos, variabilidade do material, oxidação química ou bacteriana), usou-se um método que avalia o potencial de acidificação (PA) com base na oxidação total da pirita (O'Shay *et al.*, 1990), desconsiderando o tempo necessário para que isto aconteça no ambiente natural:



A reação mostra que para cada mol de FeS_2 oxidado são liberados 2 moles de H_2SO_4 . A neutralização dessa acidificação depende, basicamente, da capacidade de tamponamento do material geológico utilizado na construção do solo e da aplicação de corretivos. Entre os tamponantes naturais estão os carbonatos e os silicatos. A quantificação dos carbonatos permite estimar o potencial de neutralização (PN), cuja ação de neutralização exemplificada com o CaCO_3 é representada pela seguinte reação:



A diferença entre o potencial de acidificação e o potencial de neutralização indica se o material contém carbonatos em quantidade suficiente para neutralizar a acidez gerada na oxidação da pirita. Entretanto, este balanço apresenta vários pontos críticos: não considera as diferenças entre a taxa de oxidação da pirita e a de dissolução dos carbonatos, e assume que a oxidação completa da pirita ocorre nas condições naturais. Apesar destas restrições, essa técnica tem sido aplicada com sucesso em áreas de mineração de carvão (Sobek *et al.*, 1987; Evangelou, 1995).

De acordo com o balanço PN - PA, a maioria dos solos apresenta um potencial de neutralização (por carbonatos) insuficiente para contrabalançar o potencial de acidificação (Tabelas 5 a 7), indicando a baixa capacidade tampão dos materiais. A literatura indica que a razão PN/PA deve ser >1 , até 4 conforme a cinética das reações, para alcançar uma neutralização satisfatória (Sherlock *et al.*, 1995). Em consequência da dificuldade de ser alcançada, ao longo do tempo, a neutralização satisfatória da acidez gerada no intemperismo da pirita, segue-se o processo de dissolução dos silicatos, principalmente esmectitas, em intemperismo denominado de sulfurização (vide 3.9.). Essa dissolução mais lenta das esmectitas tampona a acidez na faixa de pH 3 a 4, conforme é observado nos solos BL5 e RE15. Neste processo ocorre a liberação de cátions básicos (Mg, Na), de Si, Fe e Al. O alumínio e o ferro, por reação de hidrólise com a água, originam mais prótons (H^+) que contribuem adicionalmente ao intemperismo dos silicatos. Desta maneira há uma espécie de catalização da acidificação.

A necessidade de calagem (NC) baseada no método SMP (Tabelas 5 a 7) não

prevê a oxidação da pirita, mas inclui a acidez atual e a acidez potencial decorrente da dissolução dos silicatos pela sulfuração (vide 5.9.). O balanço $[PN - (PA + NC)]$ permite uma estimativa da quantidade de $CaCO_3$ necessária para neutralizar o potencial de acidificação mais a acidez potencial. Na maioria das amostras o balanço é negativo, pois $PA + NC$ são maiores que o PN dos solos, demonstrando que a correção da acidez é onerosa e difícil. Este aspecto evidencia que a medida mais adequada para evitar consequências ambientais desfavoráveis deve ser preventiva, na forma da seleção prévia do material a ser utilizado na construção dos solos.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os parâmetros estatísticos que resumem as propriedades de solo analisadas e fazem uma comparação entre as amostras dos perfis BL2, BL5 e RE15. As propriedades foram agrupadas conforme sua relação com: (1) o material de origem do solo, (2) a construção do solo e (3) a evolução do solo. Algumas propriedades do material de origem sofrem alterações com a evolução do solo, como por exemplo o PN e o PA . O comportamento das propriedades mais relacionadas com a evolução dos solos sugere que a “seta do tempo” é no sentido da acidificação, mas o grau de acidificação depende da constituição do material utilizado na construção dos solos.

Composição da solução do solo

A composição da solução do solo de amostras selecionadas consta na Tabela 11. As concentrações dos elementos são compatíveis com os níveis constatados em ambiente ácido sulfatado (Karathanasis e outros, 1988). Apesar das limitações à aplicação de conceitos de equilíbrio à sistemas abertos, o uso de diagramas de solubilidade e estabilidade de minerais permite um melhor entendimento do comportamento físico-químico dos elementos na solução e sua interação com a fase sólida.

Na Figura 4, a atividade iônica da solução foi usada para estimar o equilíbrio potencial do Al na solução do solo com as fases minerais caulinita, gibbsita, alunita, jurbanita e basaluminita (Karathanasis e outros, 1988). Conforme o diagrama de solubilidade, o controle potencial de Al é determinado por sulfatos de Al na maioria das amostras. As amostras a baixo $pH + pSO_4$ estão agrupadas ao longo da linha de solubilidade da jurbanita $Al(SO_4)(OH)_6$ e delimitadas pelas linhas da alunita $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ e da K-aluminita; a valores maiores há maior afinidade com basaluminita $Al_4(SO_4)(OH)_{10}$. A não identificação destes minerais deve-se, supostamente, ao fato de apresentarem baixa cristalinidade ou estarem presentes em quantidades não detectáveis pelas técnicas utilizadas (DRX, ATD); é de se supor que os teores de Al_0 (Tabela 8) representem uma parcela desses minerais. Poucas amostras sugerem controle do Al pela caulinita ou gibbsita. Assim, enquanto que na maioria dos ambientes terrestres e aquáticos naturais a concentração de Al é controlada pela solubilidade da gibbsita ou da caulinita, nas áreas de mineração de carvão este controle é exercido por sulfatos básicos. Por serem menos solúveis que a gibbsita e a caulinita, esses minerais modificam significativamente os limites superiores do Al em solução (Nordstrom, 1982).

Na Figura 5 está representado o diagrama de solubilidade considerando as fases minerais esmectita, esmectita com hidróxi-entrecamadas (EHE), caulinita, gibbsita, sílica amorfa e quartzo (Wolt, 1994). A maioria das amostras concentra-se em torno

da linha de estabilidade da sílica amorfa, com indicação de supersaturação para a mesma em amostras com valor $\text{pH}-1/3\text{pAl}$ baixo, enquanto que aquelas com valor alto mostram supersaturação com relação à esmectita. Esta distribuição está em acordo com a ocorrência de esmectita nos solos e as respectivas evidências de sua dissolução pela acidificação. Algumas amostras mostram subsaturação em relação à caulinita e a EHE, mas não há evidências de equilíbrio com a gibbsita, indicando que a formação desta última é pouco provável no sistema estudado.

Desta maneira o Al liberado na dissolução de argilominerais excedendo a de sulfato disponível para formar sulfatos de Al, em contato com drenagens menos ácidas, poderá gerar compostos amorfos tipo $\text{Al}(\text{OH})_n$. Estudos recentes indicam que esses compostos secundários podem ser importantes reguladores de metais tóxicos, por viabilizarem reações de adsorção/coprecipitação (Chapman e outros, 1983; Winland e outros, 1991), o que poderia explicar os baixos níveis desses elementos nas águas de drenagem dos solos construídos. Por outro lado, há indícios de que possam ter uma ação tóxica sobre peixes (Baker e Schofield, 1982). Entretanto, a presença de H_4SiO_4 , indicada pela supersaturação com relação à sílica amorfa poderá exercer uma ação protetora contra a toxidez de Al, possivelmente através da formação de hidroxil-Al silicatos não cristalinos (Lumsdon e Farmer, 1995). A formação desses compostos em contato com águas menos ácidas ($\text{pH } 5$) é viável dado o alto teor de Si e Al liberado no intemperismo das esmectitas.

Também o equilíbrio do Fe pode ser significativamente modificado no sistema ácido-sulfatado, sendo o Fe dissolvido controlado pela solubilidade do sulfato de ferro, jarosita (Van Bremen e Harmsen, 1975). Entretanto, o teor de Fe em solução foi muito baixo na maioria das amostras, não viabilizando a construção de diagrama de solubilidade com relação à jarosita (observada em eflorescências). Esta baixa atividade do Fe em solução pode indicar o favorecimento da formação de goethita em vez de jarosita.

Estas diversas feições do sistema “solos construídos” exemplificam alguns dos mecanismos operantes na busca do “steady state” no ambiente natural, e indicam a temas para estudos mais aprofundados.

Variabilidade espacial

No mapeamento de solos naturais é comumente utilizado o modelo de gênese do solo baseado nos fatores de estado (material de origem, clima, relevo, organismos vivos, tempo), pelo qual são relacionados os tipos de solos às feições da paisagem. Mas, quando os padrões naturais foram intensamente modificados pela ação humana, como é o caso nas áreas de mineração a céu aberto, torna-se difícil estimar a variação de um determinado atributo de solo apenas usando as feições externas da paisagem. Nestes casos, a análise geoestatística pode ser uma ferramenta útil para avaliar a variabilidade espacial dos solos.

A análise estatística clássica dos atributos de solo analisados mostra que os mesmos apresentam uma grande amplitude de variação (Tabelas 12 e 13), representando espacialmente o que foi constatado no conjunto dos perfis de solos BL2 e BL5. Deve ser lembrado que para a avaliação da variabilidade espacial foi amostrada apenas a camada

superficial de solo (0 - 20 cm). Entretanto, em analogia ao verificado nos perfis de solos, pode-se supor que a cada camada subsuperficial corresponderá uma variabilidade espacial própria, diferente da camada sobrejacente e da subjacente imediata.

Os resultados da análise estrutural (Tabelas 14 e 15) mostram que o alcance (a) variou de 50 a 130 metros na área BL2 e de 30 a 55 metros na área BL5, indicando que o espaçamento de amostragem utilizado (10 m) foi adequado para captar a relação espacial dos atributos de solos. Os patamares ($C+C_0$) são próximos às respectivas variâncias, mostrando que a distribuição dos atributos é estacionária. Entretanto, observa-se um elevado efeito pepita para alguns atributos, o que provavelmente decorre de variabilidade em distâncias menores do que o intervalo de amostragem arbitrado. A partir das informações dos semi-variogramas podem ser construídos mapas temáticos para os diversos atributos de solo analisados.

Pedogênese e classificação dos solos

Quando se considera isoladamente cada perfil de solo construído, a irregularidade das funções profundidade nas propriedades morfológicas (vide 5.2.), físicas (vide 5.3.) e químicas (vide 5.4.) destaca a ausência do padrão pedogênico observado em solos naturais (Schneider *et al.*, 1996). Neste contexto, a formação desses solos é predominantemente antropogênica, com o predomínio da estratificação de camadas, refletindo as características do material de origem e do processo de construção. Entretanto, uma análise comparativa das propriedades dos solos construídos BL2, BL5 e RE15 demonstra uma evolução pedogênica previsível, representada por: decréscimos de pH, de cátions básicos (Mg, K e Na); aumentos de CE, SO_4 solúvel, Al e Al+H; distribuição de Feo, Fed, Alo e Ald (vide 5.4.); alterações na composição da solução do solo (vide 5.7.) e na mineralogia (5.5.); além da formação incipiente de agregados estruturais em camadas dos solos RE15 (vide 5.2.).

As alterações observados nos solos BL5 e RE15 se identificam com o intemperismo ácido-sulfatado, mais recentemente denominado de *sulfurização*, definido como o processo pelo qual materiais contendo sulfetos são oxidados, com o conseqüente intemperismo de minerais pelo ácido sulfúrico produzido e a formação de novas fases minerais a partir dos produtos desta dissolução (Carson e outros, 1982; Fanning e Fanning, 1989).

Na sulfurização são considerados os estádios de (1) pré-sulfurização, onde a oxidação dos materiais sulfídricos está inibida, por exemplo devido a saturação contínua com água, ou, como observado nos solos BL2, pelo fato do material ter sido exposto ao ambiente oxidante muito recentemente; (2) sulfurização ativa, com $pH < 3,5$, presença de jarosita, qualificando o material como horizonte sulfúrico, como foi constatado nos solos BL5 e RE15; e (3) pós-sulfurização, onde os sulfetos estão completamente oxidados e o $pH > 4$, com presença de jarosita e gesso, estágio não constatado nos solos analisados no presente estudo.

Todos os perfis de solos BL5 e RE15 apresentaram feições de sulfurização ativa, na forma de camadas com $pH < 3,5$, presença de eflorescências salinas e eventualmente jarosita; por outro lado, entre os solos BL2, dos 6 perfis analisados, apenas uma camada apresentou $pH < 3,5$, enquanto que a ocorrência de eflorescências salinas foi generalizada.

Na Classificação Brasileira de Solos (Camargo e outros, 1987; EMBRAPA, 1988) as atuais definições de material sulfídrico, horizonte sulfúrico e solos tiomórficos, não prevêem sua aplicação a solos de áreas de mineração de carvão. Assim, novas definições são necessárias, em analogia ao Soil Taxonomy (EUA, 1992), conforme apresentam Fanning *et al.* (1993). Segundo definição recente (EUA, 1992), o horizonte sulfúrico tem espessura >15cm e é composto de material de solo mineral ou orgânico com pH <3,5 causado por ácido sulfúrico através de uma ou mais das seguintes evidências: (1) concentrações de jarosita, (2) materiais sulfídricos subjacentes, ou (3) 500 mg kg⁻¹ ou mais de sulfato solúvel em água. Assim, segundo o Soil Taxonomy (EUA, 1992), esses solos construídos são classificados como Sulfochrepts.

Nos solos BL5 e RE15, os valores de pH <3,5, a presença de eflorescências de sulfato de Fe²⁺ e teores de 500 mg kg⁻¹ ou mais de sulfato solúvel em água indicam a ocorrência de horizonte sulfúrico. Além destes atributos, parâmetros como a CE (= indicadora dos sais solúveis) e o PA como indicativo de sulfetos, são úteis no diagnóstico do horizonte sulfúrico atual ou potencial. Devido a ausência de critérios apropriados para a classificação de solos construídos em área de mineração de carvão na Classificação Brasileira de Solos, sugere-se tentativamente o seu enquadramento como Antrossolos Tiomórficos, por apresentarem feições derivadas de construção antrópica à qual se superpõem processos pedogênicos incipientes de tiomorfismo.

Na maioria dos solos BL2 há um indicativo de processos oxidantes incipientes, visíveis na forma de mosqueados amarelos e freqüentes eflorescências esbranquiçadas, mas ainda sem acidificação acentuada; entretanto, o balanço (PN - PA) negativo confirma a presença de sulfetos em proporção suficiente para a formação de horizonte sulfúrico. Nesta situação, anteendo a sua evolução ("seta do tempo"), sugere-se a sua classificação como Antrossolos Pré-Tiomórficos.

CONCLUSÕES

1 - Os solos construídos analisados no presente estudo correspondem ao período em que o equipamento disponível para o processo de mineração e a correspondente recuperação das áreas era do tipo "motoscraper". A operação consistia na decapagem na frente de mineração seguida pela reposição do material decapado na área já minerada, num processo contínuo. Esta operação produziu uma inversão e mistura dos estratos geológicos, pelo qual foram trazidos para a superfície materiais (folhelhos carbonosos) com alto poder de acidificação.

2 - Os perfis de solos construídos são constituídos por uma sucessão de camadas de espessura variável, diferenciadas entre si pela coloração, normalmente com transições abruptas e onduladas. Apresentam alta densidade aparente, muito baixa porosidade, baixa condutividade hidráulica e baixa retenção de água. Estas características são resultantes do material e do processo de construção utilizados, e contribuem para a baixa resistência destes solos aos processos erosivos hídricos.

3 - Os solos apresentam tendência generalizada de acidificação a curto prazo, resultante da oxidação da pirita e compostos afins. O balanço entre o Potencial de Neutralização (PN) e o Potencial de Acidificação (PA) normalmente é negativo, indicando que a acidificação tenderá a persistir a longo prazo.

4 - Como consequência da acidificação ocorre a alteração de silicatos esmectícos, com a liberação de Al, cujo potencial em solução parece ser controlado por sulfatos de alumínio e por hidróxi-Al-silicatos. Assim, em função da insuficiência de carbonatos, os silicatos passam a atuar no tamponamento da acidez, originando neofomações minerais, cujo impacto ambiental deve ser melhor investigado.

5 - O conjunto das propriedades de solo analisadas mostrou ser o melhor critério para o monitoramento da evolução e do potencial do subsistema "solo construído". A qualidade do solo construído e seu potencial de uso dependem diretamente do material usado na sua construção. É, portanto, imprescindível a seleção na fase pré-mineração dos materiais adequados à comporem os solos na fase pós-mineração.

6 - Os solos construídos em áreas de mineração de carvão constituem obras antrópicas, sujeitas à evolução pedogênica sob processo de sulfurização, pelo qual é sugerida sua classificação como Antrossolos Tiomórficos e Pré-tiomórficos.

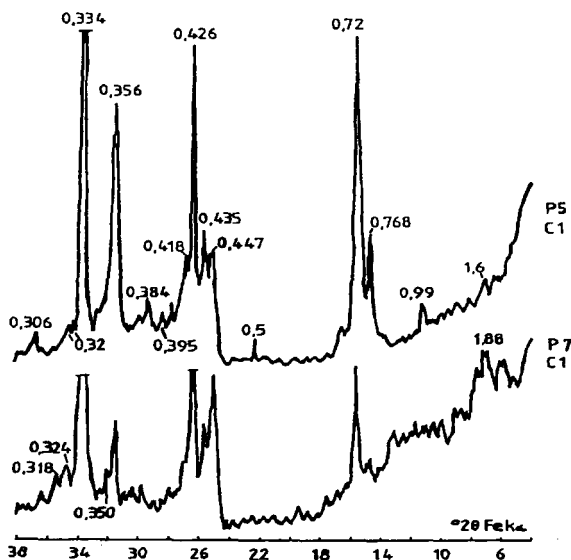


Figura 1. Difratogramas de raios X da fração terra fina de amostras selecionadas dos perfis BL2-7 e BL5-5. A identificação dos minerais consta no texto (valores em nanômetros).

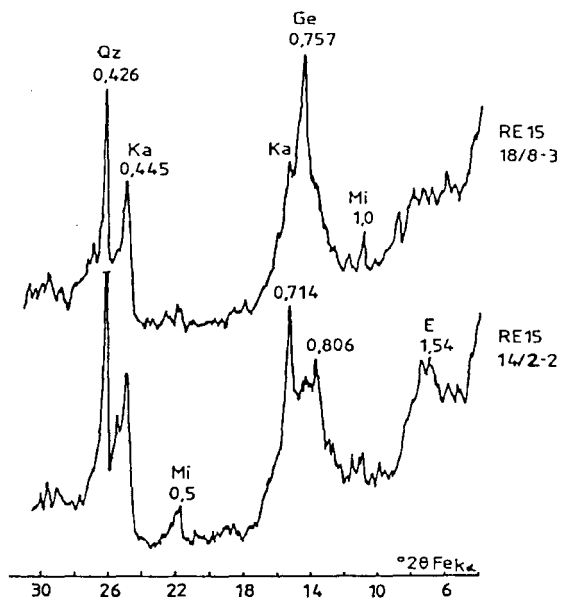


Figura 2. Difratoograma de raios X de amostras selecionadas dos perfis RE15-14 e RE15-18 (valores d em nanômetros; E: esmectita; Mi: mica; Ge: gesso; Ka: caulinita; Qz: quartzo)

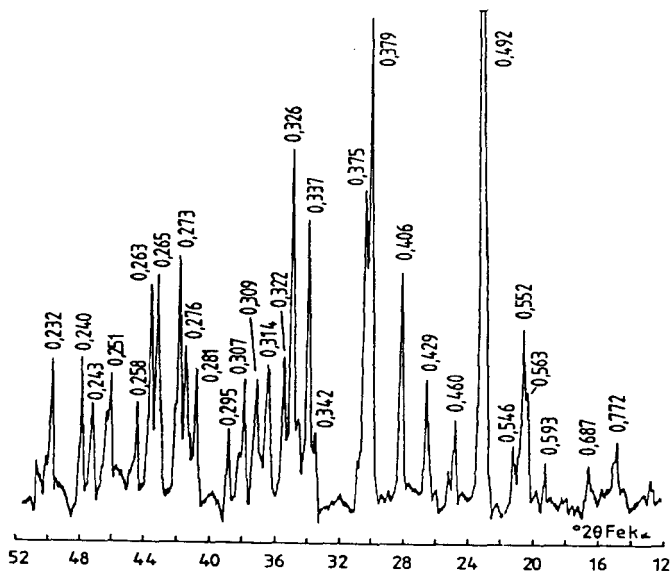


Figura 3. Difratoograma de raios X de efluorescências do perfil BL5-6. A identificação dos minerais consta no texto (valores d em nanômetros).

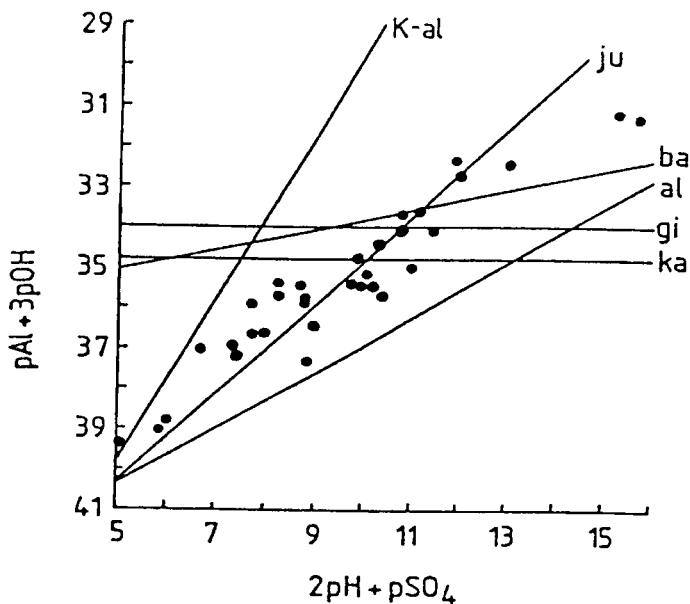


Figura 4. Diagrama de solubilidade das fases minerais que determinam o controle potencial do Al em solução. (K-al: K-aluminita; ju: jurbanita; ba: basaluminita; al: alunita; gi: gibbsita; ka: caulinita)

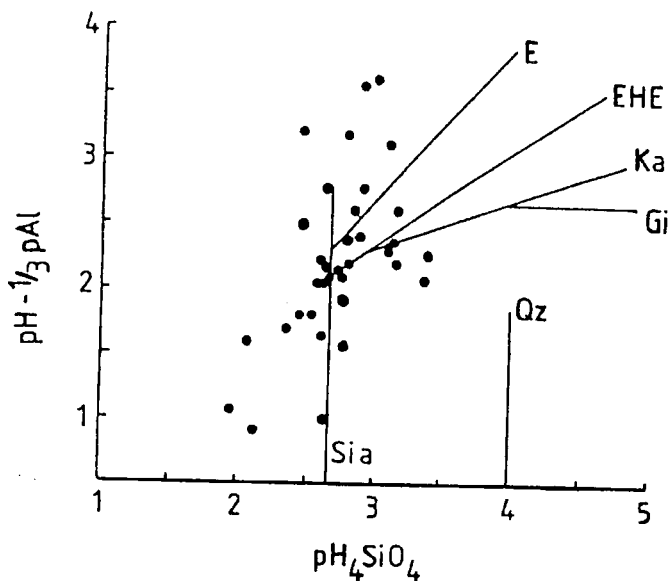


Figura 5. Diagrama de solubilidade das fases minerais que determinam o controle potencial de Al e do Si em solução. (E: esmectita; EHE: esmectita com hidróxi-Al entrecamadas; Ka: caulinita; Gi: gibbsita; Sia: sílica amorfa; Qz: quartz)

DESCRIÇÃO DE PERFIS

Amostragem em 21/10/1993

Local: Mina Butiá-Leste da COPELMI, em área da DELAPIEVE

Participantes: Paulo Schneider, Nestor Kämpf

Solos construídos e vegetados com acácia e eucalipto. Desenvolvimento de vegetação espontânea na forma de touceiras de gramíneas e maricá. Aproximadamente 70% da área descoberta, com grande quantidade de formigueiros.

PERFIL BL5-3

Local: voçoroca situada na direção norte em relação à estrada paralela à BR-290, a partir do acacial mais desenvolvido.

Vegetação: eucalipto com altura aprox. de 2,5m; touceiras esparsas de gramíneas.

Camada 3/1 - 0 - 12/19cm; variegados 2,5YR 3/6; 7,5YR 5/8; 10R 4/6; 2,5YR 3/0; 7,5YR 2/0; inclusões de 5Y 7/1.

Camada 3/2 - 12/19 - 20/32cm; camada com evidências de gleização 5Y 7/1, e variegado 2,5Y 6/5; 10YR 5/6; 2,5YR 4/5.

Camada 3/3 - 20/32 - 34/45cm; matriz 2,5Y 3,5/0; mosqueado pouco pequeno e médio proeminente 2,5YR 4/6.

Camada 3/4 - 34/45 - 55cm+; matriz 2,5Y 3,5/0 e 10YR 4/1; variegado 10YR 5,5/8; 2,5YR 4/6.

Obs.: Na camada 4 em contato com a lâmina de água no canal da voçoroca havia em determinados pontos liberação de material amarelo 10YR 7/8.

Foi feita coleta de anéis para determinação da densidade do solo, pois apresenta aspecto de maciço.

PERFIL BL5-4

Local: voçoroca a aproximadamente 30m do Perfil 3.

Vegetação: eucaliptos, superfície desnuda

Camada 4/1 - 0 - 5/11cm; matriz 5YR 4/3; variegado 2,5YR 4/8; 10YR 5/8; superfície com fragmentos de folhelho carbonoso preto esparso, alguns fragmentos de carvão com pirita.

Camada 4/2 - 5/11 - 17/22cm; matriz 2,5Y 3/0 (dominante); 2,5Y 2/0; 5Y 4/1; mosqueado 2,5Y 5/4 e 10YR 5/8; fragmentos de folhelho carbonoso na massa da camada.

Camada 4/3 - 17/22 - 30/39cm; matriz 2,5Y 4/0; 1Y 3/0; mosqueado 3YR 3/6.

Camada 4/4 - 30/39 - 51cm+; matriz 10YR 4/1; 2,5Y 4/4; revestimentos 4YR 3/4 em faces de agregados ou fendas; contém cascalhos cortáveis de folhelho carbonoso.

Obs: coleta de anéis para determinação da densidade do solo.

PERFIL BL5-5

Local: voçoroca, local com aproximadamente 1m de profundidade.

Vegetação: eucalipto, vassoura branca, touceiras de gramíneas; aproximadamente 70% da superfície descoberta.

Camada 5/1 - 0 - 17/25cm; variegado e mosqueados 5YR 4,5/3; 5YR 4/1; 7,5YR 5/6; 10YR 5/1,5; 10R 4/8.

Camada 5/2 - 17/25 - 42/47cm; folhelho carbonoso, matriz 5Y 5/1,5 (dominante); 7,5YR 2/0; mosqueados pequenos 5YR 4,5/3; 10R 4/8.

Camada 5/3 - 42/47cm - 68/71cm; matriz 10YR 4/6 e 10YR 5/6 (dominantes); 10YR 4/2; 10YR 6/2; 10R 4/8.

Camada 5/4 - 68/71 - 90cm+; matriz 2,5Y 4/0; mosqueados difusas 5Y 4/2; fragmentos de folhelho carbonoso; slickensides (?).

Obs: Na superfície presença esparsa de calhaus de quartzo e calcedônia (?).

Butiá-leste 28/10/93

Participantes: Paulo Schneider, Nestor Kämpf, Luiz F.S. Pinto, Leonardo Guimarães (BIC-PROPESP)

Perfil BL5-6

Local: Voçoroca, após o perfil 5.

Vegetação: eucalipto, vassoura, touceiras de gramíneas.

Camada 6/1 - 0 - 28cm: variegado 10YR 4/3, 5/2, 4,5/6; 7,5YR 4/4; 2,5Y 3/0; 5Y 3/1.

Camada 6/2 - 28 - 47cm; variegado 2,5Y 3/0; 10YR 4/1 e 6/1; mosqueados 10YR 5/8; 7,5YR 4/6. Fragmentos de folhelho carbonoso.

Camada 6/3 - 47 - 68/72cm; fundo 10YR 3,5/1; inclusões de material 7,5YR 4/7; 10YR 5/1,5; 7,5YR 2/0; pouco 10R 4/6; fragmentos de folhelho carbonoso.

Camada 6/4 - 68/72 - 85/88; inclusão 1: variegado 7,5YR 5/8, 10YR 6/2,5, 10R 4/7; inclusão 2: 2,5Y 2,5/0 e 5Y 3,2 contendo pequenos cristais de pirita; inclusão 3: 5Y 3/1, 10YR 4/4; 7,5YR 5/8.

Camada 6/5 - 85/88 - 120cm: fundo 10YR 4,5/1; mosqueado 10YR 6/1, 4/6 e 5/8; inclusões de folhelho carbonoso 2,5Y 2,5/0.

PERFIL BL2-7

Local: Voçoroca, a 30m da estrada paralela à BR-290, aproximadamente na primeira curva. Área a direita da estrada de acesso à sede.

Vegetação: densa de gramíneas, acácia.

Camada 7/1 - 0 - 7cm; 2,5YR 3/4, 2,5/4 e 3/2; com cascalho de quartzo; transição abrupta e plana.

Camada 7/2 - 7 - 28cm; adensado; 2,5Y 3,5/0; mosqueado pouco 2,5Y 5/4 e 10YR 6/8; inclusões de 2,5YR 4/2; domina argilite (r).

Camada 7/3 - 28 - 47/53cm; 5Y 4,5/1 e 3/1; mosqueado abundante 2,5Y 5/6 e 6/8; 5Y 5/4.

Camada 7/4 - 47/53 - 66cm; dominante 2,5Y 3/0; 2,5Y 2/0; blocos de folhelho carbonoso; transição abrupta.

Camada 7/5 - 66 - 75cm; 5Y 5/2 e 4/1; mosqueados na parte superior 10YR 6/8, 7/4 e 7/5 (coleta em separado); mosqueados 1Y 6/8, 2,5Y 6/6 e 6/7; transição gradual.

Camada 7/6 - 75 - 90cm+; 5Y 4/1; 2,5Y 2,5/0 e 3/0; mosqueado pouco 2,5Y 6/7.

Amostragem em 04/11/1993

Local: Mina Butiá-Leste da COPELMI, em área da DELAPIEVE

Participantes: Paulo Schneider, Nestor Kämpf, Luiz F.S.Pinto

PERFIL BL2-8

Local: Área à direita da estrada de acesso à sede. Voçoroca à direita do Perfil 7, no sentido do dreno do açude.

Vegetação: gramíneas e acácia; desnuda no local, com fragmentos de carvão na superfície. Erosionado.

Camada 8/1 0 - 9/20cm; mistura de materiais; mais freqüente 2,5Y 3/0 e 2/0; 7,5YR 3/4; 2,5YR 4,5/4; 10YR 5/8; 10R 4/6; 10YR 5,5/2; transição clara e irregular.

Camada 8/2 9/20 - 43/45cm; aparência estriada, estrutura laminar (?); variegado 7,5YR 5/8; 10R 4/6; 10YR 6/8; 10YR 7/2,5; raros fragmentos de folhelho carbonoso 2,5Y 3/0. Transição abrupta e ondulada.

Camada 8/3 43/45 - 70cm+; fundo 5Y 33,5/1; mosqueado 2,5Y 3/0; 5Y 6/6; 10R 4/6.

Obs.: fragmentos de carvão na superfície.

PERFIL BL2-9

Local: Voçoroca, ao sul do Perfil 7; vegetação de gramíneas e acácia.

Camada 9/1 0 - 8/12cm; variegado 2,5YR 4/6; 10R 4/4; 10YR 5/1; 5Y 5/2. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/2 8/12 - 16/23cm; 2,5Y 2,5/0; estrias 2,5Y 5/2. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/3 16/23 - 48/53cm; maciço; fundo 10YR 4/1 e 7,5YR 4/4; variegado vermelho pequeno. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/4 48/53 - 62/66cm; variegado constituído pelas inclusões 2,5Y 2,5/0, 5/4, 5/0 e 6/6; 10R 4/6. Transição clara e ondulada.

Camada 9/5 62/66 - 69/74cm; 10R 3/2; mosqueados 10YR 5/8, 4/6 e 5/4. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/6 69/74 - 80/85cm; variegado (inclusões) 5Y 6/1; 10R 4/8; 2,5Y 6/6 e 4/0; transição abrupta e ondulada.

Camada 9/7 80/85 - 86/91cm; 5Y 3,5/1; mosqueados 2,5Y 7/8; 10R 4/3; 2,5YR 4/2 e 4/8; 2,5Y 5/2 e 2,5/0. Transição clara e ondulada.

Camada 9/8 86/91 - 99/102cm; variegado 5Y 6/3; 7,5YR 4,5/6; 10YR 6/1; 10R 4/3 e 4/8; calhaus duros de folhelho carbonoso 2,5Y 2,5/0. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/9 99/102 - 110/114cm; fundo 2,5Y 3,5/0 e 3/0; mosqueado pouco 5YR 5/6; 2,5Y 6/8; calhaus cortáveis de folhelho carbonoso, esverdeados. Transição abrupta e ondulada.

Camada 9/10 110/114 - 124cm+; variegado 10YR 7/3 e 6/8; 5Y 6/3; 2,5YR 5/4 e 4/6; 7,5YR 3/0.

PERFIL BL2-10

Local: Voçoroca no final da “várzea”, a 25m do dreno, e aproximadamente 40m do riacho.

Vegetação: gramíneas.

Camada 10/1 0 - 18/23cm; 10YR 3,5/2; misturado com porções 2,5Yr 4/4; na transição ocorre 10YR 6,5/1; mosqueado 10YR 5/8. Transição clara e irregular.

Camada 10/2 18/23cm - 40/46cm; 2,5Y 3/0 e 2,5/0; fragmentos de folhelho carbonoso. Transição clara e ondulada.

Camada 10/3 40/46cm - 70cm+; 5Y 5/2; mosqueados 10YR 5/6; 10R 3,5/1.

PERFIL BL2-11

Local: estrada de acesso à sede, na primeira curva à esquerda, a aproximadamente 10m da estrada. Voçoroca paralela à estrada.

Camada 11/1 0 - 13/17cm; 2,5YR 3/2; mosqueados 2,5YR 4/8 e 4/6; 5YR 4/4; poucas inclusões 2,5YR 3/0; cascalho de quartzo comum; transição abrupta e irregular.

Camada 11/2 13/17 - 27/32cm; fundo 5Y 5/1; inclusões de folhelho carbonoso 2,5Y 3/0 e 4/0; mosqueado comum 2,5Y 6/6; 5Y 5,5/4. Transição abrupta e ondulada.

Camada 11/3 27/32 - 38/42cm; fndo 2,5Y 5,5/2; mosqueado abundante 2,5Y 6/8 e 10R 3/6. Transição abrupta e ondulada.

Camada 11/4 38/42 - 58/80cm; fundo 2,5Y 6,5/2; folhelho 2,5Y 8/2; mosqueado abundante 2,5Y 6/4, 6/6 e 7/6; 10YR 6/8; 10R 3/6. Transição clara e irregular.

Camada 11/5 58/80 - 86cm+; variegado 2,5YR 4/8; 10YR 6,5/2; 2,5Y 7/2 e 7/5; inclusão de folhelho carbonoso 2,5Y 3/0.

PERFIL BL2-12

Local: Voçoroca, cabeceira a leste do Perfil 11, margeando a área plantada com acácia. Vegetação de gramíneas.

Camada 12/1 0 - 13/19cm; fundo 5YR 3/4; variegados pequenos e mosqueados médios, 7,5YR 5/8; 10R 4/8; 5Y 6/3; 2,5Y 3/0. Transição abrupta e ondulada.

Camada 12/2 13/19 - 22/27cm: fundo 2,5Y 3/0; mosqueados 10YR 6/6 e 5/6; 2,5YR 4/6; Transição abrupta e ondulada.

Camada 12/3 22/27 - 35/42cm: fundo 4YR 4,5/4; mosqueado comum 5Y 6/5; pouco 2,5Y 5/6; transição abrupta e ondulada.

Camada 12/4 35/42 - 64cm; fundo 2,5Y 6/5; mosqueado 10YR 6/8; 7,5YR 5,5/8; 2,5YR 4/4; 5Y 6,5/2; transição abrupta e plana.

Camada 12/5 64 - 90cm+; fundo 5Y 3/1; mosqueados poucos 2,5YR 4/6; 2,5Y 5/4; 5Y 4/3,5; fragmentos de folhelho carbonoso 2,5Y 3,5/0 e 3/0.

Obs.: coleta de amostras para densidade do solo.

PERFIL REFERÊNCIA SOLO NATURAL EM BUTIÁ-LESTE

Local: Trincheira, mata de eucalipto situada entre as áreas de 2 e 5 anos, a 15m da estrada interna; declive 2%; bem drenado.

Material de origem: sedimentos de granito

Classificação: Podzólico Vermelho Escuro (?)

Data: 24/01/1995; Paulo Schneider, Nestor Kämpf, Elvivo Giasson.

A 0 - 17cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); argila arenosa; moderada, médios e grandes blocos subangulares; friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; transição plana e gradual; raízes comuns.

AB 17 - 33cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,75/4, úmido); argila arenosa; moderada, médios e grandes blocos subangulares; friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; transição plana e gradual.

BA 33 - 57cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido); argila; moderada, médios e grandes blocos subangulares; friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; superfícies foscas comuns; muito poroso; transição plana e gradual.

B 57 - 99cm; bruno avermelhado escuro a vermelho escuro (2,5YR 3/5, úmido); argila com cascalho; moderada, médios e grandes blocos subangulares; friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; superfícies foscas comuns; muito poroso; raízes poucas; transição plana e gradual.

B/C 99 - 150cm+; vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); argila cascalhenta; moderada, pequenos e médios blocos subangulares; friável e muito friável em bolsões com caráter latossólico; ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; contém *clay balls* e nódulos de ferro; muito poroso. Contém partes de material de horizonte C.

Descrição dos perfis de solos construídos coletados na Mina do Recreio - COPELMI, Butiá. Idade dos solos aprox. 15 anos.

PERFIL RE15-13

Localização: área de Pinus com 7m de altura, lado esquerdo da estrada de acesso. Cabeceira de voçoroca.

Data: 28/09/95

Equipe: Paulo Schneider, Nestor Kämpf, Élvio Giasson, Luis F.S. Pinto.

Camada 13/1 0 - 20/25cm; 5YR 4/4 com mosqueado abundante, médio 10R 4/8; torrões, moderada, médios e grande blocos subangulares e muito pequena granular; torrões muito firme, granular friável; muitas raízes.

Camada 13/2 36/41cm; 10YR 2,5/1, com ocorrência de fragmentos de carvão 7,5YR 2/0, com mosqueado 7,5YR 5/8 abundante, material amarelado 2,5Y 4/4 e 10YR 5/8; grãos e pedaços de folhelho carbonoso laminares; friável; raízes comuns. Coleta de amostra amarela e preta.

Camada 13/3 46/50cm; 10YR 6/1 com mosqueado pouco 10YR 6/8 e 10R 4/8; maciço; poucas raízes.

Camada 13/4 57/63cm; 2,5Y 2/0; moderada, fragmentos de carvão na forma de moderada blocos subangulares pequenos e médios: friável.

Camada 13/5 70/75cm; 10YR 6/1 com estrias 10YR 4/8 abundantes; maciço.

Camada 13/6 75/79cm; 2,5Y 6/6; fraca, laminar e blocos subangulares.

Camada 13/7 84 cm; 2,5y 4/2 com mosqueados comuns 2,5Y 3/0; fraca pequenos e médios blocos subangulares; friável.

Camada 13/8 94cm+; 10YR 6/1 com mosqueados abundantes, grandes 10YR 6/8 e raros 10R 4/0; fraca, médios e grandes blocos subangulares; plástico.

PERFIL RE15-14

Localização: voçoroca, Pinus com 10m de altura, cobertura de 100% por acículas. Lado direito da estrada de acesso.

Camada 14/1 0 - 28cm; (material de solo) 5YR 3/2,5, mosqueado 5YR 4/4; cascalho; moderada, médios blocos subangulares que se desfazem em pequena granular; friável; raízes abundantes; transição abrupta e plana.

Camada 14/2 55/60cm; 10YR 3/1 moderada médios e grande blocos subangulares; mosqueados 10YR 6/6 menos estruturada com blocos de siltito; friável; raízes comuns.

Camada 14/3 61/90cm; 10YR 4/2 e 3/1 (dominantes) com mosqueados 10YR 7/6 e 2,5YR 4/2; moderada pequenos e médios blocos subangulares; friável; transição abrupta, inclinada e descontínua; raízes comuns.

Camada 14/4 90cm (cunha); variegado 10YR 7/1, 7/8, 2,5Y 5/6, 6,5/4, 10YR 4/6, 2,5YR 4/2; fraca, torrões e pequenos e grandes blocos subangulares; raízes poucas.

Camada 14/5 90 - 105cm+; 10YR 7/8 (dominante), 2,5Y 7/2 e 6,5/6, 2,5YR 5/6 poucos; inclusão 2,5YR 4/2, 10R 4/6, 2,5YR 3,5/2; maciço; raízes raras.

PERFIL RE15-15

Localização: talhão de acácia com 10m de altura; cabeceira de voçoroca.

Camada 15/1 0 - 13cm; 10YR 3/1 e 4/1; moderada pequena granular e média blocos subangulares; friável; transição plana e abrupta; raízes abundantes.

Camada 15/2 33cm; 10YR 3,5/1 e 2,5Y 4/4; laminar de folhelho e alguns blocos subangulares; firme; transição plana e abrupta; raízes muitas.

Camada 15/3 49cm; fundo 2,5Y 3/0; variegado 2,5Y 5/4, 10YR 5/8, 2,5YR 6/5; moderada blocos subangulares e alguns laminares de folhelho; firme, friável; transição plana e abrupta; raízes comuns.

Camada 15/4 58/61cm; 2,5Y 2,5/0, 10YR 4/1; fraca, pequenos e médios blocos subangulares; muito friável; transição plana e abrupta; raízes poucas.

Camada 15/5 67/73cm; 2,5Y 3,5/0 e 5/2; fraca médios e pequenos blocos subangulares e poucos torrões de folhelho; friável; transição plana e abrupta; raízes poucas.

Camada 15/6 77/81cm; 2,5Y 2,5/0 e 4/2, 2,5YR 4/2 e 4/6, 5YR 8/2, 10YR 6/6; fraca pequenos e médios blocos subangulares e pedaços de siltito; transição plana e abrupta; raízes poucas.

Camada 15/7 95cm+; 2,5Y 4/2 e 10YR 6/6; fraca médios e grandes blocos subangulares; firme; raízes poucas.

PERFIL RE15-16

Localização: trincheira na extrema direita da área; Pinus esparsos.

Data: 02/10/95

Camada 16/1 0 - 12/20cm; 7,5YR 4/2, mistura com material de 16/2; fraca, pequena granular e média blocos subangulares; friável; transição ondulada e abrupta; raízes comuns.

Camada 16/2 20/40cm; 5YR 3,5/1 e 10YR 5/2; mosqueados abundantes 10R4/6 e poucos 10YR 5/8; maciço; transição ondulada e abrupta; raízes comuns.

Camada 16/3 47/54cm; 10YR 6/2; mosqueados abundantes e grandes 10YR 6/8 e 5/8; blocos subangulares; friável; transição ondulada e abrupta; raízes poucas.

Camada 16/4 50/66cm; 10YR 6/2; mosqueados pequenos e comuns 2,5YR 4/8; maciço; transição descontínua e abrupta; raízes raras.

Camada 16/5 79cm; 10YR 4,5/1; fragmentos de carvão 2,5Y 3/0; mosqueados comuns 2,5Y 5/4; fragmentos de siltito 2,5Y 2,5/0; maciço; transição plana e abrupta; raízes raras.

Camada 16/6 87/92cm; 2,5Y 2/0; fragmentos finos de siltito e carvão; friável; raízes raras.
Camada 16/7 105cm+; variegado 2,5Y 5/2, 6/8 e 3/0 (fragmentos de siltito) e 2,5YR 4/6; maciço; raízes raras.

PERFIL RE15-17

Localização: à esquerda da estrada de acesso, no final da área, barranco; Pinus antigo.

Camada 17/1 0 - 11/17cm; 5YR 5/3, mosqueado 2,5YR 4/6, inclusões 5YR 6/2; fraca, médios e grandes blocos angulares e subangulares; transição ondulada e abrupta; raízes abundantes.

Camada 17/2 27cm; 5YR 4/2,5; mosqueado grande e abundante 5YR 5/8, pequeno 2,5YR 4/6; inclusão 5YR 5,5/1; fraca, médios e grandes blocos subangulares, algumas laminares; estrias; firme; transição abrupta e plana; raízes abundantes.

Camada 17/3 40/47cm; 10YR 4/1 e 3/1; mosqueado abundante, médio e grande 10YR 5/6 e 5YR 4/6; fragmentos laminares de siltito; fraca blocos subangulares; firme; transição abrupta e plana; raízes comuns.

Camada 17/4 64/72cm; 5Y 3/1 e 3,5/1; mosqueado pouco pequeno 5YR 5/8; blocos de siltito e laminares; moderada médios e pequenos blocos subangulares; friável; transição ondulada e abrupta; raízes poucas.

Camada 17/5 96cm; 10YR 3/1; mosqueado abundante 10YR 5/8 e 5YR 5/8; fraca pequena blocos subangulares, alguns cascalhos de siltito; friável; transição abrupta e plana; raízes poucas.

Camada 17/6 96 - 108cm; 5Y 3,5/1 e 3/1; mosqueado raro pequeno 10YR 5/6; estrutura similar a 17/5; friável; transição abrupta e plana.

Camada 17/7-1 116cm; 5Y 3/1; mosqueado 10YR 5/6 pouco e pequeno; estrutura similar a 17/5; friável; transição abrupta e plana.

Camada 17/7-2 116/119cm; 2,5Y 5/6.

Camada 17/8 140cm+; 10YR 3.5/1; blocos de silito entrecamadas com material 17/7.

PERFIL RE15-18

Localização: lado esquerdo da estrada de acesso, afastado aprox. 10m; voçoroca. Pinus esparsos.

Camada 18/1 0 - 9/13cm; 2,5YR 3/5; fraca, pequenos, médios e grandes blocos subangulares; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/2 14/18cm; 7,5YR 4,5/3; fraca pequena granular, pequenos e médios blocos subangulares; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/3 19/22cm; 10YR 3/1; mosqueados 10R 4/6 e pouco 10YR 5/8; fraca pequena granular e pequenos e médios blocos subangulares; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/4 26/39cm; 10YR 3/1 e 2,5Y 3/0; inclusões 10R 4/8, 10YR 5/1 e 5/8; fraca, médios e grandes blocos angulares e subangulares; firme, friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/5 47/52cm; fundo 2,5Y 2/0 e 3/0; 2,5Y 5/2; 10R 4/8 comum e 10YR 6/8 pouco; maciço (preto e vermelho); transição abrupta e ondulada.

Camada 18/6 50cm; 5YR 4/1 e 10YR 7/1; estriado 10R 4/8; maciço (vermelho e cinza); transição plana e abrupta.

Camada 18/7 56/59cm; preto 2,5Y 2/0 e 10YR 6,5/1; fragmentos de carvão e silito; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/8 89/94cm; 5Y 4/1; transição para 18/7 2,5Y 4/2 e 5/4, com mosqueado 7,5YR 5/8; fraca, pequena, média e grande blocos subangulares; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/9 109/114cm; 2,5Y 3/0, mosqueado 5Y 4/1; fraca blocos subangulares e cascalhos de silito; friável; transição abrupta e ondulada.

Camada 18/10 125cm; preto 2,5Y 2/0; fraca, pequenos, médios e grandes blocos subangulares, fragmentos de silito e folhelho carbonoso; friável; transição abrupta e plana.

Camada 18/11 135cm+; amarelo 10YR 6/8, mosqueado comum e grande 10YR 7/1; maciço.

Tabela 1
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLOS CONSTRUÍDOS,
2 ANOS APÓS CONSTRUÇÃO, NA MINA BUTIÁ-LESTE.

Camada	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	AD ⁽¹⁾	Silte / argila	DS ⁽²⁾	DP ⁽³⁾	Porosidade	Kv ⁽⁴⁾	Kh ⁽⁵⁾	Ki ⁽⁶⁾
	cm	g kg ⁻¹						kg dm ⁻³		m ³ .m ⁻³	cm.h ⁻¹	cm.h ⁻¹	cm.h ⁻¹
Perfil BL2-7													
7/1	0-7	110	170	200	520	20	0,38	1,89	2,13	0,12	1,13	1,20	1,16
7/2	-28	0	100	460	440	260	1,04	1,77	2,13	0,17	0,02	<0,01	0,01
7/3	-47/53	0	50	450	500	340	0,90	1,64	2,06	0,20	<0,01	0,02	0,02
7/4	66	0	100	500	400	200	1,25	1,57	2,07	0,24	0,02	0,03	0,02
7/5	-75	0	20	340	640	380	0,53	1,45	2,19	0,34			
7/6	-90+	0	30	510	460	240	1,11	1,65	2,37	0,30			
Perfil BL2-8													
8/1	0-9/20	10	110	470	410		1,14	1,49	2,21	0,32			
8/2	-43/45	30	320	390	260		1,50	1,85	2,43	0,24			
8/3	-70+	40	310	250	400		0,62	1,65	2,20	0,25			
Perfil BL2-9													
9/1	0-8/12	40	180	280	500		0,56	1,42	2,20	0,35			
9/2	-16/23	10	50	330	610		0,54	1,46	2,08	0,30			
9/3	-48/53	70	530	200	200		1,00	1,91	2,18	0,12			
9/4	-62/66	20	40	520	420		1,24	1,53	2,14	0,28			
9/5	-69/74	30	180	250	540		0,46						
9/6	-80/85	10	200	380	410		0,92						
9/7	-86/91	10	200	310	480		0,64						
9/8	-99/102	0	70	430	500		0,86						
9/9	-110/114	10	150	340	500		0,68						
9/10	-124+	10	210	320	460		0,69						
Perfil BL2-10													
10/1	0-18/23	100	600	100	200		0,50	1,67	2,35	0,29			
10/2	-40/46	0	320	380	300		1,27	1,71	2,25	0,24			
10/3	-70+	0	320	380	300		1,27	1,67	2,19	0,24			
Perfil BL2-11													
11/1	0-13/17	30	400	230	340		0,68	1,73	2,18	0,21			
11/2	-27/32	0	170	470	360		1,30	1,56	2,10	0,26			
11/3	-38/42	10	140	330	520		0,61	1,53	2,56	0,40			
11/4	-58/80	0	120	280	600		0,47	1,44	2,30	0,37			
11/5	-86+	40	210	270	480		0,56	1,41	2,12	0,33			
Perfil BL2-12													
12/1	0-13/19	50	430	220	300		0,73	1,39			7,09	1,04	2,72
12/2	-22/27	0	240	440	320		1,37	1,62			<0,01	<0,01	<0,01
12/3	-35/42	0	220	230	440		0,52	1,31			0,09	0,01	0,03
12/4	-64	0	240	280	480		0,58	1,44			0,01	<0,01	<0,01
12/5	-90+	0	250	410	340		1,20	nd					

⁽¹⁾ argila dispersa em água; ⁽²⁾ densidade do solo; ⁽³⁾ densidade de partícula; ⁽⁴⁾ condutividade hidráulica vertical; ⁽⁵⁾ condutividade hidráulica horizontal; ⁽⁶⁾ condutividade hidráulica isotrópica

Tabela 2
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLOS CONSTRUÍDOS,
5 ANOS APÓS CONSTRUÇÃO, NA MINA BUTIÁ-LESTE.

Camada	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	AD ⁽¹⁾	Silte/argila	DS ⁽²⁾	DP ⁽³⁾	Porosidade	K _v ⁽⁴⁾	K _h ⁽⁵⁾	K _i ⁽⁶⁾
	cm	g.kg ⁻¹						kg.dm ⁻³		m ³ .m ⁻³	cm.h ⁻¹		
Perfil BLS-3													
3/1	0-12/19	290	50	280	380	40	0,74	1,67	2,24	0,25			
3/2	-20/32	170	40	410	380	40	1,08	1,64	2,22	0,26			
3/3	-34/35	10	40	390	560	20	0,70	1,78	2,52	0,29			
3/4	-55+	20	70	310	600	20	0,52	1,60	2,20	0,27			
Perfil BLS-4													
4/1	0-5/11	60	290	270	380	20	0,71	1,65	2,21	0,25	1,80	0,07	0,35
4/2	-17/22	40	150	290	520	20	0,56	1,59	2,38	0,33	0,07	<0,01	0,01
4/3	-30-39	10	50	340	600	20	0,57	1,58	2,87	0,45	0,05	<0,01	<0,01
4/4	-51+	90	10	420	480	20	0,87	1,77	2,45	0,28	<0,01	<0,01	<0,01
Perfil BLS-5													
5/1	0-17/25	40	200	360	400	120	0,90	1,76	2,32	0,24	0,01	0,63	0,08
5/2	-42/47	60	10	370	560	40	0,66	1,72	2,14	0,20	<0,01	0,15	0,02
5/3	-68/71	70	370	280	280	40	1,00	2,03	2,26	0,10	<0,01	<0,01	<0,01
5/4	-90+	0	10	390	600	400	0,65	1,53	2,23	0,31	<0,01	<0,01	<0,01
Perfil BLS-6													
6/1	0-28	50	290	360	300	20	1,20	1,72	2,35	0,27			
6/2	-47	50	280	270	400	20	0,67	1,66	2,22	0,25			
6/3	-68/72	50	250	500	200	20	2,50	1,78	2,19	0,19			
6/4-1	-85/88	20	160	420	400	20	1,05	1,93	2,34	0,17			
6/4-2		100	440	420	40	20	1,50						
6/4-3		50	270	220	460	40	0,48						
6/5	-120+	20	140	320	520	60	0,61	1,81	2,28	0,21			

(¹) argila dispersa em água; (²) densidade do solo; (³) densidade de partícula; (⁴) condutividade hidráulica vertical; (⁵) condutividade hidráulica horizontal; (⁶) condutividade hidráulica isotrópica

Tabela 3
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLOS CONSTRUÍDOS,
15 ANOS APÓS CONSTRUÇÃO, NA MINA RECREIO

Camada	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	AD ⁽¹⁾	Silte/argila	DS ⁽²⁾	DP ⁽³⁾	Porosidade	K _v ⁽⁴⁾	K _h ⁽⁵⁾	K _i ⁽⁶⁾
	cm	g.kg ⁻¹							kg.dm ⁻³	m ³ .m ⁻³	cm.h ⁻¹		
Perfil RE15-13													
13/1	0-20/25	4	1	67	28	0	2,39	1,62		0,28			
13/2-1	-36/41	13	9	31	47	0	0,66	1,43		0,35			
13/2-2													
13/3	-46/50	1	3	43	53	38	0,81	1,78		0,21			
13/4	-57/63	12	7	36	45	23	0,80	1,67		0,26			
13/5	-70/73	1	1	19	79	0	0,24	1,88		0,17			
13/6	-75/79	1	1	30	69	0	0,43						
13/7	-84	3	5	39	53	0	0,73						
13/8	-94+	0	1	34	64	0	0,53	1,91		0,16			

(Continuação da tabela 3)

Camada	Profundidade	Área grossa	Área fina	Súte	Argila	AD ⁽²⁾	Súte/argila	DS ⁽²⁾	DP ⁽²⁾	Pocosidade	Kv ⁽⁶⁾	Kh ⁽⁶⁾	Ki ⁽⁶⁾
Camada	Profundidade	Área grossa	Área fina	Súte	Argila	AD ⁽²⁾	Súte/argila	DS ⁽²⁾	DP ⁽²⁾	Pocosidade	Kv ⁽⁶⁾	Kh ⁽⁶⁾	Ki ⁽⁶⁾
	cm	g kg ⁻¹						kg dm ⁻³		m ² m ⁻²	cm h ⁻¹		
Perfil RE15-13													
13/1	0-20/25	4	1	67	28	0	2,39	1,62		0,28			
13/2-1	-36/41	13	9	31	47	0	0,66	1,43		0,35			
13/2-2													
13/3	-46/50	1	5	43	53	38	0,81	1,78		0,21			
13/4	-57/63	12	7	36	45	23	0,80	1,67		0,26			
13/5	-70/75	1	1	19	79	0	0,24	1,88		0,17			
13/6	-79/79	1	1	30	69	0	0,43						
13/7	-84	3	5	39	53	0	0,73						
13/8	-94+	0	1	34	64	0	0,33	1,91		0,16			
Perfil RE15-14													
14/1	0-28	2	2	40	39	26	1,00	1,93		0,15			
14/2-1	-55/60	2	2	34	62	34	0,55	1,88		0,37			
14/2-2	0	0	2	32	66	0	0,48						
14/3	-61/90	2	3	38	57	0	0,66	1,86		0,18			
14/4-1	-90	1	2	24	73	0	0,33	1,91		0,16			
14/4-2	16	19	27	38	19	0,71							
14/5	90-100	0	1	29	70	0	0,41						
Perfil RE15-15													
15/1	0-13	6	3	30	61	23	0,49	1,85		0,19			
15/2	33	0	1	32	67	0	0,48	2,29		0,01			
15/3	-49	2	3	32	63	0	0,51	1,84		0,19			
15/4	-58/61	0	2	43	55	0	0,78	1,84		0,19			
15/5	-67/73	0	2	51	47	0	1,08						
15/6	-77/81	2	3	46	49	0	0,94						
15/7	-85+	8	4	21	67	0	0,31	2,02		0,12			
Perfil RE15-16													
16/1	0-12/20	3	3	27	67	13	0,40	1,79		0,21			
16/2	-20/40	6	3	21	70	0	0,30	1,73		0,23			
16/3	-47/54	1	3	31	65	26	0,47						
16/4	-50/66	1	5	48	46	23	1,04	1,64		0,26			
16/5	-79	1	2	47	50	2	0,94						
16/6	-87/92	47	10	37	8	0	0,16						
16/7	-105+	0	1	39	60	0	0,65						
Perfil RE15-17													
17/1	0-11/17	3	3	27	67	0	0,40	1,82		0,20			
17/2	-27	2	3	23	72	15	0,32	1,61		0,28			
17/3	-40/47	0	2	33	65	0	0,51	1,95		0,15			
17/4	-64/72	0	2	34	44	0	1,23						
17/5	-96	0	1	32	67	0	0,48	1,99		0,13			
17/6	-108	0	1	51	48	0	1,06						
17/7-1	-116	0	1	39	40	0	1,47						
17/7-2	-119	0	1	44	55	41	0,80						
17/8	-140+	0	1	33	44	4	1,23						
Perfil RE15-18													
18/1	0-9/13	9	8	16	67	2	0,24	1,80		0,21			
18/2	-14/18	10	9	27	34	31	0,50						
18/3	-19/22	2	2	33	63	8	0,52						
18/4	-26/39	2	3	30	65	6	0,46	1,71		0,24			
18/5	-47/52	1	2	40	57	4	0,70						
18/6	-50	2	2	30	66	34	0,45						
18/7	-56/59	7	6	38	49	31	0,77						
18/8-1	-87/94	0	1	37	42	0	1,36	1,77		0,22			
18/8-2		0	1	61	38	2	1,40						
18/8-3		0	1	24	71	31	0,34						
18/9	-109/114	0	2	49	49	32	1,00						
18/10	-125	0	1	64	35	32	1,83						
18/11	-135+	0	1	24	75	0	0,32						

⁽¹⁾ argila dispersa em água; ⁽²⁾ densidade do solo; ⁽³⁾ densidade de partícula; ⁽⁴⁾ condutividade hidráulica vertical; ⁽⁵⁾ condutividade hidráulica horizontal; ⁽⁶⁾ condutividade hidráulica isotrópica

Tabela 4
RETENÇÃO DE ÁGUA (KG.KG⁻¹) A DIFERENTES TENSÕES (MPa)
APLICADAS NAS CAMADAS DE PERFIS SELECIONADOS
COM DOIS (BL2) E CINCO (BL5) ANOS DE CONSTRUÇÃO

Camada	Tensão (MPa)					
	0	0,01	0,05	0,1	0,5	1
	kg.kg ⁻¹					
	Perfil BL2-7					
7/1	0,312	0,195	0,168	0,154	0,131	0,123
7/2	0,355	0,307	0,292	0,280	0,253	0,247
7/3	0,386	9,350	0,323	0,309	0,277	0,267
7/4	0,396	0,350	0,323	0,309	0,277	0,267
	Perfil BL2-12					
12/1	0,342	0,256	0,233	0,221	0,198	0,194
12/1	0,248	0,222	0,210	0,205	0,189	0,186
12/3	0,406	0,383	0,368	0,357	0,327	0,322
12/4	0,321	0,306	0,300	0,282	0,258	0,254
	Perfil BL5-4					
4/1	0,280	0,160	0,132	0,122	0,097	0,095
4/2	0,299	0,251	0,235	0,224	0,203	0,202
4/3	0,272	0,243	0,228	0,224	0,205	0,203
4/4	0,239	0,224	0,213	0,205	0,186	0,184
	Perfil BL5-5					
5/1	0,219	0,166	0,147	0,139	0,126	0,125
5/2	0,236	0,188	0,171	0,162	0,147	0,141
5/3	0,242	0,218	0,199	0,190	0,173	0,168
5/4	0,302	0,282	0,265	0,261	0,232	0,219

Tabela 5
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS CONSTRUÍDOS,
2 ANOS APÓS CONSTRUÇÃO, NA MINA BUTIÁ-LESTE.

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al ⁺ -H	CTC	V	sAl	Corg	SO ₄	PN	PA	NC
	Perfil BL2-7																
7/1	4,43	0,12	3,08	1,91	0,36	0,21	5,56	3,23	8,99	14,55	38	37	0,91	136	4,0	5,1	11,8
7/2	8,30	0,29	19,97	12,76	0,90	1,06	34,69	0,00	0,00	14,69	100	0	1,39	216	10,0	4,1	0,0
7/3	7,69	0,31	17,24	12,03	0,90	1,72	31,89	0,00	0,41	32,30	99	0	0,63	158	13,3	6,9	0,0
7/4	7,93	0,41	20,03	11,50	0,81	1,72	34,06	0,00	0,34	34,40	99	0	5,33	210	14,7	4,2	0,0
7/5	5,27	0,93	15,24	11,14	1,22	1,72	29,32	0,19	2,14	31,46	93	0	0,35	648	9,3	3,1	0,0
7/6	6,87	0,88	17,49	12,21	0,77	1,51	31,98	0,05	0,83	32,81	97	0	0,35	844	10,7	3,8	0,0
	Perfil BL2-8																
8/1	5,70	0,96	17,40	18,96	1,04	1,76	39,16	0,00	1,43	40,59	96	0	0,49	632	14,0	8,1	0,0
8/2	3,56	0,72	2,42	1,57	0,16	0,09	4,24	1,89	4,67	8,91	47	30	0,10	432	1,3	0,3	6,7
8/3	2,78	1,08	0,98	0,00	0,13	0,06	1,17	4,88	13,43	14,60	8	81	2,10	748	0,0	5,2	18,3

(continuação da tabela 5)

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al+H	CTC	V	sAl	Corg	SO ₄	PN	PA	NC	
		dS.m ⁻¹	cmol.kg ⁻¹									%	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	kgCaCO ₃	t ⁻¹		
Perfil BL2-9																		
9/1	4,13	0,22	5,55	1,29	0,68	0,08	7,60	5,24	10,49	18,09	42	41	0,99	256	4,7	9,4	16-8	
9/2	3,96	0,52	2,66	3,33	0,55	0,13	6,67	3,33	7,62	14,29	47	33	0,71	234	6,7	10,0	9,8	
9/3	4,27	0,16	5,92	0,00	0,12	0,12	6,16	0,83	3,84	10,00	61	12	1,16	172	0,7	3,0	4,4	
9/4	4,07	0,00	2,85	1,97	0,48	0,25	5,55	2,10	5,54	11,09	50	27	1,12	520	4,0	6,5	8,1	
9/5	3,76	1,32	3,33	2,63	0,45	0,34	5,75	2,89	7,24	12,99	44	33	1,83	636	6,0	9,5	4,4	
9/6	4,03	1,50	3,77	3,46	0,17	0,56	7,96	2,10	3,69	11,65	68	21	0,37	752	7,3	10,3	5,4	
9/7	4,42	1,71	5,95	4,92	0,66	0,73	12,26	0,73	2,94	15,20	81	6	1,01	872	12-0	11,8	2,0	
9/8	4,31	1,84	5,25	4,79	0,68	1,29	12,01	1,27	4,22	16,23	74	9	0,52	816	4,0	4,5	1,6	
9/9	6,82	1,10	5,99	4,82	0,76	1,24	12,81	0,00	0,67	13,48	95	0	0,56	578	8,7	4,2	0,0	
9/10	4,15	0,98	nd	nd	0,63	0,77			2,20	5,66			0,67	428	2,7	3,9	4,9	
Perfil BL2-10																		
10/1	4,74	0,13	3,14	0,00	0,20	0,01	3,35	1,02	5,88	9,23	36	23	0,97	502	1,3	3,0	6,7	
10/2	8,32	0,15	9,17	4,24	0,86	0,56	14,83	0,00	0,00	14,83	100	0	0,20	168	8,0	3,8	0,0	
10/3	8,26	0,26	8,91	7,51	0,83	0,51	17,76	0,00	0,00	17,76	100	0	0,02	224	12-7	3,5	0,0	
Perfil BL2-11																		
11/1	4,65	0,13	4,36	0,99	0,35	0,06	5,76	1,61	4,45	10,21	56	22	0,90	276	2,0	4,0	5,4	
11/2	6,53	0,15	7,03	5,21	0,81	0,43	13,48	0,00	0,37	13,85	97	0	0,50	100	5,3	5,7	0,0	
11/3	4,98	0,08	5,62	1,28	0,41	0,25	7,56	3,13	6,14	13,70	55	29	0,12	60	0,7	4,4	11-8	
11/4	4,48	0,15	3,70	3,33	0,53	0,34	7,90	3,62	7,84	15,74	50	31	0,02	132	0,7	4,3	14-1	
11/5	4,58	0,35	3,48	2,42	0,48	0,30	6,68	2,05	5,66	12,34	54	23	0,98	228	2,7	4,7	8,1	
Perfil BL2-12																		
12/1	4,48	0,31	7,10	5,66	0,28	0,13	13,17	1,84	5,43	18,60	71	12	0,71	200	2,0	3,8	6,7	
12/2	4,54	0,56	14,76	14,96	0,60	0,34	30,66	1,89	5,35	36,01	85	6	0,81	338	4,0	4,9	6,7	
12/3	4,06	0,31	12,91	13,34	0,60	0,43	27,28	5,99	11,92	39,20	70	18	0,22	276	0,0	6,1	18-3	
12/4	4,41	0,06	11,55	12,24	0,38	0,34	24,51	6,77	12,07	36,58	67	22	0,20	160	0,7	7,3	19-8	
12/5	7,67	0,62	24,65	15,29	0,68	0,60	41,22	0,00	0,00	41,22	100	0	0,58	346	8,0	5,2	0,0	

SB: soma de bases; sAl: saturação por Al; PN: potencial de neutralização; PA: potencial de acidificação; NC: necessidade de calagem conforme método SMP.

Tabela 6
CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS CONSTRUÍDOS,
5 ANOS APÓS A CONSTRUÇÃO, NA MINA BUTIÁ-LESTE.

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al+H	CTC	V	sAl	Corg	SO ₄	PN	PA	NC
		dS.m ⁻¹	cmol.kg ⁻¹									%	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	kgCaCO ₃	t ⁻¹	
Perfil BL5-3																	
3/1	3,83	0,29	3,21	2,18	0,24	0,09	5,72	2,94	5,04	10,76	53	34	2,94	246	0,0	3,1	4,9
3/2	3,82	0,52	8,81	6,67	0,38	0,13	15,9-9	3,82	5,39	21,38	75	19	0,27	302	2,6	3,7	8,9
3/3	3,04	0,48	3,70	2,60	0,31	0,12	6,73	5,39	7,67	14,40	47	44	0,37	366	0,0	3,2	14-1
3/4	2,99	0,66	2,98	2,03	0,32	0,12	5,45	5,97	8,64	14,09	39	52	2,53	410	0,0	3,4	33-9

(continuação da tabela 6)

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al+H	CTC	V	+Al	Org	SO ₄	PN	PA	NC
		dS m ⁻¹	cmol kg ⁻¹							%	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg CaCO ₃	r ⁻¹			
Perfil BL5-4																	
4/1	2,30	1,44	0,36	0,11	0,10	0,03	0,60	6,86	11,55	12,15	5	92	1,90	732	0,0	3,5	18,-3
4/2	1,90	2,40	2,00	0,42	0,18	0,03	2,63	10,87	18,53	21,16	5	80	4,16	1070	0,0	6,3	21,-5
4/3	2,25	1,55	2,46	0,60	0,28	0,05	3,39	11,17	14,87	18,26	18	77	0,77	920	0,0	4,0	21,-5
4/4	2,86	1,24	5,71	1,51	0,38	0,07	7,67	10,48	13,00	20,67	37	58	0,48	964	0,0	4,7	19,-8
Perfil BL5-5																	
5/1	4,21	0,19	4,55	2,38	0,23	0,11	7,07	2,05	4,84	11,91	59	22	0,41	122	3,3	2,9	3,9
5/2	2,74	2,55	15,8-8	1,62	0,32	0,22	18,1-4	3,52	7,19	25,33	72	16	2,87	1340	0,7	6,3	8,9
5/3	3,90	0,51	3,85	1,52	0,12	0,16	5,65	1,13	2,97	8,62	65	17	0,18	302	2,6	2,5	1,3
5/4	7,60	0,57	24,7-0	9,59	0,42	0,68	35,3-9	0,00	0,48	35,87	99	0	0,45	236	6,0	2,0	0,0
Perfil BL5-6																	
6/1	2,80	2,10	4,00	1,34	0,12	0,14	5,60	2,84	7,05	12,65	44	33	0,27	1084	0,0	2,8	9,8
6/2	1,91	4,30	15,4-6	0,53	0,04	0,06	16,0-9	6,81	18,53	34,62	46	30	3,06	3950	0,0	4,0	31,-5
6/3	1,93	3,90	9,49	0,89	0,05	0,05	10,4-8	5,58	12,59	23,07	45	35	0,90	3170	0,0	2,4	21,-5
6/4-1	2,33	1,60	4,06	0,99	0,15	0,08	5,28	3,62	8,43	13,71	38	41	0,25	1072	0,0	3,1	15,-4
6/4-2	1,39	8,80	4,29	1,14	0,04	0,10	5,57	9,99	24,41	29,98	18	64	12,31	5472	0,0	66,6	44,-7
6/4-3	2,38	4,20	9,62	4,63	0,21	0,26	14,7-2	4,60	10,65	25,37	58	24	nd	nd	nd	nd	nd
6/5	2,18	2,40	7,71	2,39	0,17	0,38	10,6-5	2,64	8,09	18,74	57	20	2,61	1364	0,0	4,7	15,-5

Tabela 7
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE PERFIS DE SOLOS
CONSTRUÍDOS HÁ 15 ANOS NA MINA DO RECREIO

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al+H	CTC	V	+Al	Org	SO ₄	PN	PA	NC
		dS m ⁻¹	cmol kg ⁻¹							%	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg CaCO ₃	r ⁻¹			
Perfil RE15-13																	
13/1	4,3	0,06	15,-8	2,6	0,51	0,28	19,9	8,5	15,1	34,3	58	31	8,9	>411,8	2,7	5,4	25,1
13/2	3,3	0,20	2,2	1,5	0,45	0,09	4,2	17,0	23,4	27,8	15	80	3,0	>316,4	0,0	6,3	39,1
13/2-1	3,2	0,24	1,3	0,9	0,37	0,04	2,6	13,9	27,1	29,7	9	84	40,1	261,6	0,0	7,8	45,4
13/3	4,3	0,11	4,8	2,9	0,43	0,09	8,2	12,6	16,1	24,3	34	60	3,2	68,5	0,0	3,6	26,8
13/4	3,1	0,35	3,1	1,7	0,28	0,14	5,2	6,8	27,1	32,3	16	57	77,8	94,2	0,4	2,9	45,4
13/5	3,6	0,45	7,0	22,-2	0,48	0,18	29,8	10,5	13,6	43,5	68	26	2,9	192,8	3,9	5,4	22,6
13/6	3,3	0,73	8,6	9,6	0,43	0,18	18,8	11,2	13,9	32,7	57	37	1,0	225,3	0,0	4,1	23,1
13/7	3,0	1,38	10,-7	7,0	0,43	0,23	18,3	6,6	14,1	32,5	56	26	25,4	389,9	3,9	6,4	23,5
13/8	3,8	1,29	11,-8	16,-2	0,46	0,56	29,0	2,4	6,8	35,8	81	8	0,3	336,7	3,5	4,5	11,1
Perfil RE15-14																	
14/1	5,1	0,02	3,7	2,5	0,48	0,14	6,8	0,7	7,0	13,8	49	9	13,0	14,0	2,7	0,7	11,4
14/2-1	4,7	0,05	14,-5	10,-0	0,46	0,18	25,1	1,2	6,5	31,6	79	4	11,6	29,1	5,5	4,8	10,5
14/2-2	3,2	0,25	6,5	2,4	0,34	0,09	9,3	12,5	15,4	24,7	38	57	8,6	269,4	0,0	5,5	25,6
14/3	3,6	0,19	8,0	2,5	0,40	0,09	11,0	10,5	17,3	28,3	39	49	15,6	227,8	2,2	5,5	28,8
14/4-1	4,0	0,41	11,-4	10,-9	0,37	0,14	22,8	3,4	8,5	31,3	73	13	2,6	186,5	3,1	5,4	14,0
14/4-2	3,4	0,28	5,9	3,7	0,43	0,09	10,1	7,6	11,1	21,2	48	43	4,4	111,4	2,4	3,7	18,4
14/5	4,3	0,31	11,-5	12,-7	0,40	0,14	24,7	2,5	5,0	39,7	83	9	0,6	17,3	4,9	3,8	8,1

(continuação da tabela 7)

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	Al+H	CTC	V	sAl	Org	SO ₄	PN	PA	NC	δS.m ¹
																		cmol.kg ⁻¹
Perfil RE15-15																		
15/1	4,9	0,24	11,-6	8,8	0,54	0,23	21,2	0,4	4,0	25,2	84	2	9,3	87,9	3,9	4,8	6,4	
15/2	4,1	0,34	9,7	5,7	0,37	0,14	15,9	2,9	3,9	19,8	80	15	2,5	222,8	3,1	4,0	9,6	
15/3	3,4	0,27	5,0	3,3	0,34	0,09	8,7	10,4	17,6	26,3	33	54	21,0	174,6	0,0	5,2	29,4	
15/4	3,5	0,61	6,5	3,8	0,40	0,09	10,8	9,2	16,2	27,0	40	46	30,8	>249,1	3,5	4,0	27,0	
15/5	3,6	0,97	16,-2	7,7	0,51	0,18	24,6	6,4	13,2	37,8	65	21	15,4	386,8	1,2	4,6	21,9	
15/6	3,4	2,10	10,-2	9,6	0,46	0,23	20,3	6,7	18,1	38,4	53	25	24,0	383,7	0,0	3,9	30,2	
15/7	3,4	3,10	1,4	1,0	0,37	0,09	2,8	13,1	19,5	22,4	12	82	9,1	182,7	1,2	5,3	32,6	
Perfil RE15-16																		
16/1	4,1	0,24	3,6	4,1	0,51	0,09	8,3	7,1	14,5	22,8	36	46	11,8	160,2	1,2	4,5	24,1	
16/2	4,2	0,36	2,8	3,4	0,37	0,14	6,7	9,4	19,2	25,9	26	58	8,2	314,9	0,0	4,9	32,1	
16/3	3,2	0,68	3,5	4,5	0,40	0,09	8,5	10,4	17,5	26,0	33	55	5,3	418,4	0,0	5,5	29,2	
16/4	3,0	1,96	9,5	5,8	0,54	0,18	16,0	1,2	7,7	23,7	67	7	63,5	493,6	3,1	6,5	12,6	
16/5	2,9	2,80	7,3	4,7	0,23	0,18	12,4	2,8	9,8	22,2	56	18	18,5	516,2	0,0	6,0	16,2	
16/6	2,8	1,95	6,0	1,8	0,11	0,14	8,0	2,1	13,3	21,2	38	21	66,2	512,5	0,0	109,5	22,1	
16/7	4,9	0,97	18,-0	11,-7	0,48	0,75	30,9	0,5	3,3	34,2	90	1	4,4	339,7	1,9	6,7	5,2	
Perfil RE15-17																		
17/1	4,6	0,11	5,3	5,8	0,51	0,18	11,8	4,2	11,5	23,3	51	26	9,0	73,6	2,9	4,3	19,0	
17/2	4,3	0,13	6,1	6,3	0,51	0,09	13,0	5,5	11,9	24,9	52	30	7,4	76,3	4,3	4,9	19,7	
17/3	3,8	0,13	2,3	2,2	0,35	0,09	4,9	8,2	12,9	17,8	27	62	1,9	168,3	0,0	4,5	21,4	
17/4	7,5	0,13	20,-0	8,5	0,69	0,18	29,4	0,0	0,5	29,9	98	0	2,3	28,0	11,1	3,4	0,0	
17/5	3,8	0,33	8,6	3,9	0,54	0,09	13,1	4,0	9,6	22,7	58	23	1,3	313,0	0,6	4,0	15,8	
17/6	3,8	0,33	16,-2	3,8	0,48	0,14	20,6	1,8	6,6	27,2	76	8	1,4	527,5	3,1	5,5	8,8	
17/7-1	7,6	0,54	21,-1	11,-2	0,94	0,18	33,5	0,0	0,5	34,0	98	0	2,0	285,1	21,6	3,2	0,0	
17/7-2	6,9	0,90	17,-7	14,-8	0,66	0,33	33,5	0,1	1,0	34,5	97	0	1,0	241,2	8,0	4,3	0,0	
17/8	7,0	0,90	14,-8	10,-2	0,83	0,28	26,1	0,1	0,7	26,9	97	0	0,4	397,7	2,5	2,9	0,0	
Perfil RE15-18																		
18/1	4,7	0,04	2,3	2,2	0,34	0,04	4,9	5,9	14,2	19,1	26	55	11,4	96,2	1,2	3,4	23,6	
18/2	4,3	0,08	2,5	2,4	0,37	0,09	5,4	4,1	12,0	17,4	31	43	8,3	136,1	1,9	2,6	19,9	
18/3	4,0	0,10	4,1	3,9	0,46	0,09	8,5	8,9	16,0	24,5	35	51	8,8	294,9	0,0	4,3	26,7	
18/4	3,7	0,12	2,2	2,0	0,37	0,09	4,7	10,2	17,7	22,4	21	68	12,5	81,6	0,0	3,9	29,5	
18/5	3,1	0,49	1,2	0,8	0,31	0,18	2,4	12,0	33,0	35,4	7	83	52,4	206,8	0,0	3,4	55,4	
18/6	3,3	0,46	1,0	0,5	0,25	0,09	1,9	13,6	21,2	23,1	8	88	5,7	392,0	0,0	4,9	35,4	
18/7	3,1	0,45	0,7	0,4	0,34	0,04	1,6	12,0	26,3	27,9	6	88	49,1	195,2	1,2	7,4	44,1	
18/8-1	4,0	0,86	18,-3	5,0	0,74	0,28	24,3	2,4	8,5	32,8	74	9	4,1	433,4	2,5	3,9	14,0	
18/8-2	2,9	0,64	2,7	0,6	0,43	0,04	3,8	18,1	24,7	28,5	13	83	2,5	463,5	0,0	4,7	46,4	
18/8-3	2,4	2,70	2,3	1,4	0,49	0,18	4,4	12,7	21,4	25,8	17	74	1,4	542,6	0,0	7,7	35,8	
18/9	7,1	0,58	17,-9	11,-1	0,75	0,18	29,9	0,2	1,4	31,1	95	0	13,3	295,7	6,2	4,5	0,0	
18/10	3,3	1,79	7,6	7,5	0,60	0,28	16,0	15,4	22,8	38,8	41	49	3,3	520,0	0,0	7,5	38,1	
18/11	3,1	0,30	10,-7	7,6	0,51	0,09	18,9	5,2	9,8	28,7	66	21	1,0	256,9	0,6	4,8	16,2	

SB: soma de bases; sAl: saturação por Al; PN: potencial de neutralização; PA: potencial de acidificação; NC: necessidade de calagem conforme método SMP.

Tabela 8
FORMAS DE FERRO E ALUMÍNIO EXTRAÍDAS
COM OXALATO DE AMÔNIO (O) E COM DITIONITO (D)

Camada	Profundidade	Fe _o	Fe _d	Al _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Al _o /Al _d
	cm	g.kg ⁻¹					
Perfil BL2-7							
7/1	0-7	1,26	18,82	1,28	2,9	0,067	0,441
7/2	-28	1,20	3,12	0,71	0,30	0,384	2,366
7/3	-47/53	4,77	5,00	50,57	0,40	0,954	1,425
7/4	-66	0,67	3,59	0,28		0,186	
7/5	-75	0,25	4,12	0,57	0,20	0,061	2,850
7/6	-90+	1,24	2,76	0,42	0,20	0,449	2,100
Perfil BL2-8							
8/1	0-9/20	0,49	5,76	0,57	0,60	0,084	0,950
8/2	-43/45	0,41	21,18	0,57	2,70	0,019	0,211
8/3	-70+	2,69	14,70	1,74	1,70	0,183	1,023
Perfil BL2-9							
9/1	0-8/12	0,78	21,88	1,74	1,70	0,035	1,023
9/2	-16/23	0,14	9,85	0,71	1,00	0,014	0,710
9/3	-48/53	3,37	8,53	0,57	0,90	0,395	0,633
9/4	-62/66	0,91	17,88	0,71	1,30	0,051	0,546
9/5	-69/74	0,41	21,65	0,57	1,30	0,019	0,438
9/6	-8085	0,33	13,09	0,85	1,00	0,025	0,850
9/7	-86/91	0,67	12,06	0,71	1,20	0,055	0,591
9/8	-99/102	0,53	10,73	0,57	1,00	0,049	0,570
9/9	-110/114	0,83	7,06	0,42	1,10	0,117	0,382
9/10	-124+	0,41	20,00	0,85	1,60	0,020	0,531
Perfil BL2-10							
10/1	0-18/23	0,80	14,70	0,71	1,30	0,054	0,546
10/2	-40/46	0,59	4,18	0,14	0,70	0,141	0,200
10/3	-70+	0,11	10,88	0,28	5,43	0,010	0,051
Perfil BL2-11							
11/1	0-13/17	0,78	22,35	0,12	2,61	0,035	0,046
11/2	-27/32	0,73	3,41	0,42	0,54	0,214	0,777
11,3	-38/42	2,02	20,70	0,71	1,74	0,093	0,408
11/4	-58/80	0,22	5,59	1,42	1,19	0,039	1,193
11/5	-86+	0,20	21,18	0,14	1,95	0,009	0,072
Perfil BL2-12							
12/1	0-13/19	0,24	19,76	2,00	2,50	0,012	0,800
12/2	-22/27	0,48	10,00	1,00	1,30	0,048	0,769
12/3	-35/42	1,30	12,50	0,57	2,82	0,104	0,202
12/4	-64	1,01	18,82	0,71	2,39	0,053	0,310
12/5	-90+	1,31	4,35	1,28	0,87		

(continuação da tabela 8)

Camada	Profundidade	Fe _s	Fe _d	Al _s	Al _d	Fe _s /Fe _d	Al _s /Al _d
	cm	g kg ⁻¹					
Perfil BL5-3							
3/1	0-12/19	0,54	14,70	0,57	1,70	0,036	0,335
3/2	-20/32	0,24	9,26	0,71	1,20	0,026	0,591
3/3	-34/45	0,27	4,41	0,71	0,60	0,061	1,183
3/4	-55+	0,37	5,06	1,00	0,80	0,073	1,250
Perfil BL5-4							
4/1	0-5/11	1,24	12,65	1,00	1,20	0,098	0,833
4/2	-17/22	1,85	8,09	0,42	0,80	0,228	0,525
4/3	-30/39	1,61	5,41	0,57	1,10	0,297	0,518
4/4	-51+	0,84	6,76	0,85	1,40	0,124	0,607
Perfil BL5-5							
5/1	0-17/25	0,46	18,25	0,42	0,50	0,025	0,840
5/2	-42/47	1,07	4,29	1,71	0,20	0,249	8,550
5/3	-68/71	0,06	19,76	0,85	1,60	0,003	0,531
5/4	-90+	0,20	3,17	1,85		0,063	
Perfil BL5-6							
6/1	0-28	1,33	11,47	0,71	1,00	0,116	0,710
6/2	-47	2,95	9,85	0,71	0,80	0,299	0,887
6/3	-68/72	2,04	7,91	1,00	0,70	0,258	1,428
6/4-1	-85/88	0,88	23,53	0,85	1,80	0,037	0,472
6/4-2		5,90	9,12	1,28	0,60	0,647	2,133
6/4-3							
6/5	-120+	1,28	4,53	0,42	0,50	0,282	0,840
Perfil RE15-13							
13/1	0-20/25	2,40	10,0	1,67	1,52	0,240	1,098
13/2-1	-36/41	3,40	25,0	2,85	2,28	0,136	1,250
12/2-2		2,44	23,0	1,98	1,77	0,106	1,118
13/3	-46/50	0,35	8,0	1,41	1,94	0,043	0,727
13/4	-57/63	1,48	7,3	0,61	0,67	0,202	0,910
13/5	-70/75	0,85	11,6	1,75	2,19	0,073	0,799
13/6	-75/79	0,45	14,3	1,52	1,85	0,031	0,821
13/7	-84	2,40	10,0	1,29	0,84	0,240	1,535
13/8	-94+	0,43	17,3	0,87	1,35	0,025	0,644
Perfil RE15-14							
14/1	0-28	1,53	19,3	1,25	2,11	0,079	0,592
14/2-1	-55/60	1,45	12,0	1,06	1,26	0,121	0,841
14/2-2		2,56	24,6	1,48	1,52	0,104	0,973
14/3	-61/90	1,92	9,3	1,44	1,69	0,206	0,852
14/4-1	-90	0,69	19,3	1,14	1,94	0,036	0,587
14/4-2		0,79	16,3	1,18	2,44	0,048	0,483
14/5	90-100	0,25	14,3	0,61	1,35	0,017	0,452

(continuação da tabela 8)

Camada	Profundidade	Fe _o	Fe _d	Al _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Al _o /Al _d
	cm	g kg ⁻¹					
Perfil RE15-15							
15/1	0-13	2,76	8,6	1,44	1,01	0,321	1,426
15/2	-33	2,72	6,0	1,14	0,67	0,453	1,701
15/3	-49	1,95	10,6	0,95	1,35	0,184	0,704
15/4	-58/61	2,32	19,0	2,47	1,60	0,122	1,543
15/5	-67/73	3,32	10,3	2,13	1,69	0,322	1,260
15/6	-77/81	1,44	15,3	2,13	2,28	0,094	0,934
15/7	-95+	1,87	37,6	3,42	6,58	0,049	0,519
Perfil RE15-16							
16/1	0-12/20	2,16	18,9	2,09	2,95	0,114	0,708
16/2	-20/40	2,36	24,2	3,23	4,05	0,097	0,797
16/3	-47/54	1,72	28,6	1,82	2,36	0,060	0,771
16/4	-50/66	0,75	1,5	0,34	0,34	0,500	1,000
16/5	-79	1,20	3,4	0,79	0,76	0,353	1,039
16/6	-87/92	1,13	3,1	0,38	0,42	0,364	0,905
16/7	-105+	1,61	13,0	0,91	1,09	0,124	0,835
Perfil RE15-17							
17/1	0-11/17	2,00	19,6	1,90	2,70	0,102	0,704
17/2	-27	1,80	28,3	2,70	3,39	0,063	0,796
17/3	-40/47	2,17	14,3	1,71	1,88	0,152	0,904
17/4	-64/72	6,68	4,7	2,59	0,76	1,421	3,408
17/5	-96	2,37	13,7	1,41	1,35	0,173	1,044
17/6	-108	3,12	6,2	1,90	1,18	0,503	1,610
17/7-1	-116	6,96	4,7	2,85	0,76	1,481	3,750
17/7-2	-119	0,63	22,7	0,87	2,02	0,630	0,358
17/8	-140+	1,70	3,4	3,73	0,84	0,500	4,440
Perfil RE15-18							
18/1	0-9/13	1,68	34,8	2,55	4,89	0,048	0,521
18/2	-14/18	2,00	13,7	1,90	2,44	0,146	0,778
18/3	-19/22	2,05	10,2	1,75	1,94	0,200	0,902
18/4	-26/39	1,94	14,3	2,51	2,64	0,135	0,951
18/5	-47/52	2,40	14,0	2,85	3,20	0,171	0,890
18/6	-50	1,87	29,5	2,36	3,12	0,063	0,756
18/7	-56/59	2,56	13,4	1,52	2,26	0,191	0,672
18/8-1	-87/94	2,36	5,3	2,43	1,35	0,445	1,800
18/8-2		3,88	14,9	3,35	3,37	0,260	0,994
18/8-3		6,68	32,6	1,45	1,35	0,205	1,074
18/9	-109/114	2,08	2,5	0,23	0,34	0,832	0,676
18/10	-125	1,48	28,3	3,16	3,79	0,052	0,833
18/11	-135+	0,99	18,6	1,83	2,35	0,053	0,778

Tabela 9
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE CARACTERÍSTICAS
RELACIONADAS À COMPOSIÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO
E AO PROCESSO DE COSTRUÇÃO DOS SOLOS

Atributos do solo	solos	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínimo	mediana	máximo
		%					
Características relacionadas à composição do material							
Silte, g.kg ⁻¹	BL2	343	105	30,9	100	335	320
	BL5	348	69	19,9	220	360	500
Argila, g.kg ⁻¹	BL2	426	111	26,1	200	440	640
	BL5	424	145	34,2	40	400	600
CTC, mmol.kg ⁻¹	BL2	208	109	52,6	89,1	152	410
	BL5	196	78	39,8	86,0	187	359
	RE15	277	61	22,0	138,0	271	435
C org, g.kg ⁻¹	BL2	8,4	9,5	113,8	0,2	6,5	53,3
	BL5	20,4	28,6	140,3	1,8	8,3	123,1
	RE15	13,6	18,1	132,9	0,3	8,2	77,8
PN, kg.t ⁻¹	BL2	5,69	4,54	79,8	0,00	4,35	14,70
	BL5	0,84	1,68	199,1	0,00	0,00	6,00
	RE15	2,33	3,56	153,2	0,00	1,20	21,60
PA, kg.t ⁻¹	BL2	5,45	2,54	46,6	0,31	4,60	11,80
	BL5	3,68	1,23	33,4	2,00	3,40	6,30
	RE15	6,75	14,59	216,1	0,7	4,65	109,50
Características relacionadas ao processo de construção							
DS, kg.dm ⁻³	BL2	1,62	0,15	9,5	1,41	1,64	1,91
	BL5	1,71	0,13	7,4	1,53	1,69	2,03
	RE15	1,82	0,16	9,1	1,43	1,84	2,29
Poros, m ³ .m ⁻³	BL2	0,26	0,07	28,4	0,12	0,26	0,40
	BL5	0,26	0,07	27,9	0,10	0,25	0,45
	RE15	0,19	0,06	33,4	0,01	0,19	0,35

Tabela 10
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS
À EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DE AMOSTRAS APÓS A CONSTRUÇÃO

Atributos do solo	solos	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínimo	mediana	máximo
		%					
pH	BL2	5,26	1,60	30,4	2,78	4,51	8,32
	BL5	2,96	1,34	45,2	1,39	2,74	7,60
	RE15	4,03	1,21	30,0	2,40	3,75	7,60
CE, dS.m ⁻¹	BL2	0,60	0,50	83,7	0,06	0,38	1,84
	BL5	2,09	2,05	98,1	0,19	1,55	8,80
	RE15	0,67	0,75	111,9	0,02	0,35	3,10
Ca, mmol.kg ⁻¹	BL2	87,6	64,7	73,9	9,8	59,5	246,5
	BL5	69,8	59,3	84,9	3,6	42,9	247,0
	RE15	81,5	57,8	70,9	7,0	67,5	211,0

(continuação da tabela 10)

Atributos do solo	solos	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínimo	mediana	máximo
		%					
Mg, mmol.kg ⁻¹	BL2	63,1	54,3	86,1	0,0	47,9	189,6
	BL5	22,7	23,1	101,9	1,1	15,2	95,9
	RE15	57,1	46,1	80,7	4,0	40,0	222,0
K, mmol.kg ⁻¹	BL2	5,8	2,8	48,0	1,2	6,0	12,2
	BL5	2,1	1,2	55,2	0,4	2,1	4,2
	RE15	4,6	1,4	32,0	1,1	4,4	9,4
Na, mmol.kg ⁻¹	BL2	6,1	5,7	92,6	0,0	3,8	17,6
	BL5	1,5	1,5	100,0	0,3	1,1	6,8
	RE15	1,6	1,2	74,7	0,4	1,4	7,5
SB, mmol.kg ⁻¹	BL2	162,2	122,4	75,4	11,7	122,6	412,2
	BL5	96,2	77,9	81,1	6,0	67,3	353,9
	RE15	144,9	95,7	66,0	16,0	121,0	335,0
Al, mmol.kg ⁻¹	BL2	18,4	19,0	103,5	0,0	17,2	67,7
	BL5	52,8	33,0	62,5	0,0	46,0	111,7
	RE15	68,3	50,2	73,5	0,0	66,5	181,0
Al+H, mmol.kg ⁻¹	BL2	46,6	38,7	83,0	0,0	45,6	134,3
	BL5	99,8	58,4	58,5	4,8	84,3	244,1
	RE15	133,1	76,4	57,4	5,0	134,5	330,0
V, %	BL2	70,3	25,2	35,8	8,0	70,0	100,0
	BL5	46,3	23,5	50,7	5,0	46,0	99,0
	RE15	50,2	27,6	55,1	6,0	50,0	98,0
Fe _o , g.kg ⁻¹	BL2	0,973	0,99	102,5	0,11	0,70	4,77
	BL5	3,150	1,31	103,2	0,20	0,97	5,90
	RE15	2,117	1,41	66,8	0,25	1,94	6,96
Al _o , g.kg ⁻¹	BL2	0,747	0,47	62,6	0,12	0,64	2,00
	BL5	0,868	0,40	43,5	0,42	0,78	1,85
	RE15	1,786	0,85	46,7	0,23	1,73	3,73
Fed, g.kg ⁻¹	BL2	12,15	6,90	56,8	2,70	11,40	22,30
	BL5	9,85	5,86	59,4	3,10	8,55	23,50
	RE15	15,22	8,87	58,3	1,50	14,15	37,60
Ald, g.kg ⁻¹	BL2	1,48	1,07	71,8	0,20	1,30	5,40
	BL5	0,97	0,46	47,4	0,20	0,80	1,80
	RE15	1,96	1,18	60,3	0,34	1,81	6,58
NC, kg.t ⁻¹	BL2	5,99	6,23	104,1	0,00	5,15	19,80
	BL5	16,41	11,82	72,0	0,00	15,45	44,70
	RE15	22,06	13,28	60,2	0,00	22,35	55,40

Tabela 11

COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO EM AMOSTRAS SELECIONADAS

Amostra	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Al	Si	SO ₄	COS ⁹
BL5-5/2	2,78	4,10	2,670	0,21	0,09	0,26	0,02	0,09	1,0800	0,826	2,92	
BL5-5/4	6,50	1,72	0,845	0,11	0,06	0,26	0,00	0,00	0,0088	0,103	1,01	
BL5-6/2	2,08	3,70	0,760	0,05	0,04	0,06	0,34	0,04	3,8500	1,096	2,34	

(continuação da tabela 11)

Amostra	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Al	Si	SO ₄	COS ⁽¹⁾
BL5-7/2	6,24	0,26	0,037	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,0088	0,124	0,14	
BL2-7/3	5,04	0,40	0,049	0,01	0,04	0,14	0,00	0,00	<0,0088	0,167	0,12	
BL2-7/4	4,30	1,08	0,248	0,05	0,08	0,35	0,00	0,00	0,0240	0,238	0,31	
BL2-7/5a	3,90	1,28	0,292	0,07	0,07	0,39	0,01	0,00	0,0560	0,338	0,44	
BL2-7/5b	4,58	0,55	0,095	0,02	0,05	0,19	0,00	0,00	0,0710	0,327	0,20	
RE15-13/2	3,11	0,63	0,070	0,08	0,04	0,02	0,00	0,00	0,1367	0,182	0,051	0,989
RE15-13/3	3,80	0,64	0,070	0,06	0,10	0,02	0,00	0,00	0,0113	0,179	0,049	1,444
RE15-13/5	3,83	0,58	0,22	0,20	0,55	0,02	0,00	0,00	0,0569	0,153	0,136	0,241
RE15-13/7	2,83	5,10	3,40	3,20	0,11	0,23	0,06	0,02	2,1884	0,444	0,814	0,187
RE15-14/2-1	4,30	0,26	0,07	0,07	0,02	0,02	0,00	0,00	0,0113	0,067	0,041	0,455
RE15-14/2-2	3,03	0,66	0,13	0,07	0,04	0,04	0,00	0,00	0,0227	0,168	0,090	0,521
RE15-14/4-1	4,15	1,10	0,32	0,34	0,06	0,05	0,00	0,00	0,0569	0,142	0,176	0,615
RE15-14/4-2	3,95	0,64	0,26	0,23	0,03	0,02	0,00	0,01	0,0342	0,071	0,126	0,949
RE15-15/5	3,24	3,90	2,30	2,40	0,22	0,22	0,00	0,02	2,0174	0,205	1,069	0,279
RE15-15/6	3,27	4,50	2,80	4,90	0,10	0,27	0,00	0,01	3,8868	0,235	0,078	0,228
RE15-16/1	3,78	0,46	0,31	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0342	0,067	0,081	1,956
RE15-16/2	3,85	0,52	0,36	0,18	0,02	0,04	0,00	0,00	0,1595	0,131	0,185	2,349
RE15-16/3	3,01	1,38	2,20	0,84	0,06	0,10	0,00	0,01	0,8206	0,273	0,600	0,609
RE15-16/5	2,59	7,10	2,50	5,70	0,11	0,44	0,623	0,19	10,9082	0,250	0,758	0,609
RE15-16/6	1,78	14,40	2,50	4,50	0,03	0,14	39,98	0,16	16,1736	0,749	0,066	2,469
RE15-16/7	5,03	2,30	1,70	1,40	0,06	0,38	0,00	0,00	0,0113	0,081	0,219	0,052
RE15-17/3	3,64	0,39	0,08	0,09	0,04	0,04	0,00	0,00	0,0227	0,213	0,077	0,147
RE15-17/4	7,49	0,75	0,36	0,21	0,02	0,00				0,200	0,115	0,121
RE15-17/5	3,81	0,76	0,47	0,20	0,04	0,05	0,00	0,00	0,0227	0,039	0,247	0,101
RE15-17/7	7,05	3,30	2,10	1,50	0,076	0,088				0,023	0,989	0,111
RE15-17/7-2	6,70	3,20	1,90	1,90	0,052	0,228				0,047	1,115	0,121
RE15-17/8	7,04	2,40	1,50	1,30	0,074	0,192				0,015	0,970	0,088
RE15-18/2	4,16	0,17	0,31	0,06	0,01	0,02	0,00	0,00	0,0113	0,164	0,043	1,752
RE15-18/4	3,60	0,22	0,32	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00	0,0798	0,158	0,065	0,952
RE15-18/5	3,17	0,65	0,16	0,15	0,04	0,07	0,00	0,00	0,4559	0,242	0,145	0,120
RE15-18/7	2,88	1,28	0,24	0,21	0,18	0,10	0,02	0,00	1,6412	0,347	0,177	0,308
RE15-18/8	4,16	2,00	2,00	0,75	0,09	0,06	0,00	0,02	0,2507	0,125	0,515	0,201
RE15-18/8-2	3,31	1,17	0,55	0,22	0,09	0,03	0,00	0,01	1,4362	0,173	0,086	2,354
RE15-18/8-3	2,06	5,20	3,00	0,56	0,09	0,03	0,10	0,01	3,1801	0,218	0,474	1,740
RE15-18/9	6,59	3,10	2,00	1,50	0,095	0,078		0,03		0,155	1,122	0,354
RE15-18/10	3,05	4,30	2,10	3,60	0,15	0,44	0,01	0,04	7,3975	0,259	0,905	1,371
RE15-18/11	3,38	1,78	1,10	1,20	0,08	0,11	0,00	0,00	0,2849	0,044	0,685	0,038

⁽¹⁾COS: Carbono orgânico solúvel.

Tabela 12
ANÁLISE ESTATÍSTICA GERAL DE ATRIBUTOS DOS SOLOS BL2 (N = 126)

Atributo	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínima	mediana	máximo
pH(H ₂ O)	5,27	0,893	16,92	4,04	4,97	7,68
CE dS.m ⁻¹	0,255	0,159	62,36	0,04	0,23	0,85
Cor	2,74	2,09	76,50	0,62	1,84	15,00
Ca cmol.kg ⁻¹	10,18	5,25	51,64	1,50	9,44	24,08

Atributo	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínima	mediana	máximo
Mg cmol.kg ⁻¹	5,74	3,32	57,83	0,42	5,01	13,19
K mg.kg ⁻¹	127,00	25,16	19,77	65,0	126,0	186,0
Na mg.kg ⁻¹	64,48	30,65	47,53	18,0	60,5	145,00
Al %	1,81	4,55	117,36	0,00	0,93	9,00
C %	1,04	0,43	41,96	0,21	0,95	2,24
Mn mg.kg ⁻¹	17,89	11,2	62,63	2,00	60,5	61,0
Cu mg.kg ⁻¹	2,64	2,67	101,21	0,90	2,00	24,60
Zn mg.kg ⁻¹	1,85	1,44	77,96	0,40	1,45	10,60

TABELA 13
ANÁLISE ESTATÍSTICA GERAL DE ATRIBUTOS
DOS SOLOS BL5 ANOS (N = 121)

Atributo	média	desvio padrão	coeficiente de variação	mínima	mediana	máximo
pH(H ₂ O)	5,25	0,87	16,69	3,27	5,05	7,41
pH(SMP)	5,84	0,91	15,65	3,70	6,00	7,30
CE dS.m ⁻¹	0,65	0,36	55,49	0,21		1,80
Ca cmol.kg ⁻¹	5,40	3,24	59,96	0,20	4,60	17,10
Mg cmol.kg ⁻¹	3,68	3,26	88,37	0,20	2,20	13,90
K mg.kg ⁻¹	96,86	32,78	34,20	29,00	88,00	164,00
Na mg.kg ⁻¹	35,96	23,31	64,83	2,00	31,50	129,00
Al cmol.kg ⁻¹	3,07	20,05	145,67	0,00	1,40	21,50
C %	0,42	0,26	61,32	0,04	0,38	1,53
Mn mg.kg ⁻¹	23,35	12,96	55,52	3,00	23,00	62,00
Cu mg.kg ⁻¹	2,19	0,60	27,45	1,00	2,15	5,40
Zn mg.kg ⁻¹	1,78	1,74	97,81	0,20	1,10	9,40
SO ₄ mg.kg ⁻¹	141,70	162,18	114,45	21,00	74,50	877,00

TABELA 14
PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS DE ATRIBUTOS DOS SOLOS BL2

Atributo	modelo	C ₀	C	a	C+C ₀	Variância	100.C/(C+0)
pH(H ₂ O)	esférico	0,3	0,65	85	0,95	0,798	65,26
CE	esférico	0,011	0,016	60	0,027	0,025	59,25
Cor	esférico	1,1	3,6	60	4,7	4,405	76,59
Ca	esférico	16	18	130	34	27,645	52,94
Mg	esférico	2,8	12,5	125	16,3	11,033	81,69
K	esférico	150	700	130	850	630,800	82,35
Na	esférico	80	1400	130	1480	939,676	94,59
Al	exponencial	1,6	4,1	130	5,7	4,550	71,92
Mn	esférico	50	75	60	125	25,603	60,00
SO ₄	esférico	3900	2050	50	5950	6209	34,45

TABELA 15

PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS DE ATRIBUTOS DOS SOLOS BL5

Atributo	modelo	C ₀	C	a	C+C ₀	Variância	100.C/C ₀ +C
pH(H ₂ O)	exponencial	0,18	0,70	50	0,98	0,77	79,54
pH(SMP)	esférico	0,15	0,70	50	0,85	0,84	82,35
Ca	esférico	4	6	30	10	10,42	60,00
Mg	esférico	3,1	6,5	55	9,6	10,63	67,70
K	esférico	300	650	40	950	1075,1	68,42
Na	esférico	150	520	35	670	543,79	77,61
Al	exponencial	5	17,5	50	22,5	20,5	7,27
Mn	esférico	25	170	55	195	168,09	87,17
Zn	esférico	2,2	1,1	55	3,3	3,04	33,33
Cu	exponencial	0,08	0,31	50	0,39	0,36	79,48
C org	esférico	0,03	0,04	50	0,07	0,07	57,14

C₀: efeito pepita; C+C₀: patamar; a: alcance

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, J.P.; SCHOFIELD, C. L. Aluminum toxicity to fish in acidic waters. *Water Air Soil Pollut.*, n.18, p.289-309, 1982.
- BISSANI, C. A.; KÄMPF, N.; LUZ, P. C. R. Determinação de sulfato solúvel em solos tiomórficos de áreas de mineração de carvão. Viçosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. *Resumos expandidos...*, 1995. v.3, p.1535-1537.
- BRASIL. Levantamento de recursos naturais - Folhas SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: SEPLAN-IBGE-RADAMBRASIL, 1986. v.33.
- BUGIN, A.; COSTA, J. F.; LAURENT JR, C. L. Controle ambiental na mineração de carvão Mina de Butiá Leste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO, 2, Porto Alegre, RS. *Anais...*, v.1, p.708-723, 1989.
- BUSSLER, B. H.; BYRNES, W. R.; POPE, P.E.; CHANEY, W. R. Properties of minesoils reclaimed for forest land use. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Texas, n.48, p.178-184, 1984.
- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFMAN, J. *Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. 24p.
- CHAPMAN, B. M.; JONES, D.R.; JUNG, R.F. Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams. *Geochim. Cosmochim. Acta*, n.45, p.421-429, 1983.
- CARSON, C. D.; DIXON, J. B. Mineralogy and acidity of an inland acid sulfate soil of. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Texas, n.47, p.828-833, 1983.
- CARSON, C. D.; FANNING, D. S.; DIXON, J. B. Alfisols and ultisols with acid sulfate weathering features in Texas. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. (Eds.) Acid sulfate weathering. *Soil Science Society of America*, Madison, p.127-146, 1982. (Special Publication, 10)
- CHAROENCHAMRATCHEEP, C.; SMITH, C. J.; SATAWATHANANONT, S.; PATRICK JR., W. H. Reduction and oxidation of acid sulfate soils of Thailand. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Texas, n.51, p.630-634, 1987.

- CIOLKOSZ, E. J.; CRONCE, R. C.; CUNNINGHAM, R. L.; PETERSEN, G. W. Characteristics, genesis, and classification of Pennsylvania minesoils. *Soil Sci.*, n.139, p.232-238, 1985.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, 1979.
- EMBRAPA. *Critérios para a distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento*. Normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1988. (Documentos SNLCS, 11.)
- ENGLUND, E.; SPARKS, A. *GEO-EAS - Geostatistical Environmental Assessment Software*. Las Vegas: U.S.E.P.A., 1991. v.1.2.1.
- EUA. SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy*. 5.ed., Blacksburg: Pocahontas Press, 1992. 556p. (SMSS Technical Monograph, 19)
- EVANGELOU, V. P.; GROVE, J. H.; RAWLINGS, F. D. Rates of iron sulfide oxidation in coal spoil suspensions. *J. Environ. Qual.*, n.14, p.91-94, 1985.
- EVANGELOU, V. P. *Pyrite oxidation and its control*. Boca Raton: CRC Press, 1995. 293p.
- FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. *Soil, morphology, genesis, and classification*. New York: John Wiley, 1989. 395p.
- FANNING, D. S.; RABENHORST, M. C.; BIGHAM, J. M. Colors of acid sulfate soils. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Eds.). *Soil color*. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.91-108. (Special Publication, 31)
- HAERING, K. C.; DANIELS, W. L.; ROBERTS, J. A. Changes in mine soil properties resulting from overburden weathering. *J. Environ. Qual.*, n.22, p.194-200, 1993.
- KARATHANASIS, A. D.; EVANGELOU, V.P.; THOMPSON, Y.L. Aluminum and iron equilibria in soil solutions and surface waters of acid mine watersheds. *J. Environ. Qual.*, n.17, p.534-543, 1988.
- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2.ed. Campinas: SBSC/SNLCS, 1984. 46p.
- LUMSDON, D. G.; FARMER, V. C. Solubility characteristics of proto-imogolite sols: how silicic acid can de-toxify aluminium solutions. *European J. Soil Sci.*, n.46, p.179-186, 1995.
- MCSWEENEY, K.; JANSEN, I. J.. Soil structure and associated rooting behavior in minesoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n.48, p.607-612, 1984.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NAT. CONF. CLAYS CLAY MINERALS, 7. *Proceedings...*, London, 1960. p.317-327.
- NORDSTROM, D. K. The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural water: some stability relations in the system Al_2O_3 - SO_3 - H_2O at 298K. *Geochim. Cosmochim. Acta*, n.46, p.681-692, 1982.
- O'SHAY, T.; HOSSNER, L. R.; DIXON, J. B. A modified hydrogen peroxide oxidation method for determination of potential acidity in pyritic overburden. *J. Environm. Qual.*, n.19, p.778-782, 1990.
- PEDERSEN, T. A.; ROGOWSKI, A. S.; PENNOCK JR, R. Physical properties of some minesoils. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, n.44, p.321-328, 1980.
- POTTER, K. N.; CARTER, F. S.; DOLL, E. C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, n.52, p.1435-1438, 1988.
- SCHAFFER, W. M.; NIELSEN, G. A.; NETTLETON, W. D. Minesoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n.44, p.802-807, 1980.
- SCHNEIDER, P.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. *Solos da Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí, RS*. Relatório PADCT/CIAMB-CNPQ. Porto Alegre: UFRGS, 1996.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxyde des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernaehr, Bodenkunde*, n.105, p.194-202, 1964.

- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W. Iron minerals in surface environments. In: SKINNER, H. G. W.; FITZPATRICK, R. W. (Eds.) *Biomineralization. processes of iron and manganese. Modern and ancient environments*. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag, 1992. p.7-30.
- SHERLOCK, E. J.; LAWRENCE, R. W.; POULIN, R. On the neutralization of acid rock drainage by carbonate and silicate minerals. *Environmental Geology*, n.25, p.43-54, 1995.
- SNARSKI, R. R.; FEHRENBACHER, J. B.; JANSEN, I. J. Physical and chemical characteristics of pre-mine soils and post-mine soil mixtures in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n.45, p.806-812, 1981.
- SOBEK, A. A.; HOSSNER, L. R.; SORENSEN, D. L.; SULLIVAN, P. J.; FRANSWAY, D. F. Acid-base potential and sulfur forms. In: WILLIAMS, R. D.; SCHUMAN, G. E. (Eds.) *Reclaiming mine soils and overburden in the western United States. Analytical parameters and procedures*. Ankeny: *Soil Conservation Society of America*, 1987. p.233-258.
- STATISTIX 4.1. Tallahassee, Analytical Software, 1994.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5)
- THOMAS, D.; JANSEN, I. Soil development in coal mine spoils. *J. Soil Water Conserv.*, n.40, p.439-442, 1985.
- VAN BREEMEN, N.; HARMSSEN, K. Translocation of iron in acid sulfate soils: I. Soil morphology, and the chemistry and mineralogy of iron in a chronosequence of acid sulfate soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, n.39, p.1140-1148, 1975.
- WAGNER, D. P.; FANNING, D. S.; FOSS, J. E.; PATTERSON, M. S.; SNOW, P. A. Morphological and mineralogical features related to sulfide oxidation under natural and disturbed land surfaces in Maryland. In: KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S.; HOSSNER, L. R. (Eds.) *Acid sulfate weathering*. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.109-125. (Special Publication, 10)
- WINLAND, R. L.; TRAINA, S. J.; BIGHAM, J.M. Chemical composition of ochreous precipitates from Ohio coal mine drainage. *J. Environ. Qual.*, n.20, p.452-460, 1991.
- WOLT, J. D. Soil solution. Knoxville: University of Tennessee, 1989. v.1.4.
- WOLT, J.D. Soil solution chemistry. Applications to environmental science and agriculture. New York: Wiley, 1994. 345p.