

# Atributos Químicos de Solos Construídos em Áreas de Mineração de Carvão

Maristela Fiess Camillo  
Oscar Rafael Gadea Quinões  
Alberto Vasconcellos Inda Junior  
Carlos Alberto Bissani (Orientador)  
Elvio Giasson  
Deborah Pinheiro Dick

## Resumo

Na recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão utiliza-se o solo e as litologias sobrejacentes às camadas de carvão. O empilhamento e a mistura de solo e estéreis compõem os solos construídos. Um solo recém construído não está em equilíbrio com as condições do ambiente superficial, sujeitando-o a mudanças rápidas nas suas propriedades. Este estudo avaliou as propriedades químicas de solos construídos de diferentes idades. O trabalho foi realizado na mina de carvão Boa Vista, no município de Minas do Leão, na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Foram amostrados três perfis de solos construídos há dois anos, em área sob cobertura vegetal de gramíneas rasteiras e quatro perfis construídos há 24 anos, em área reflorestada. As análises químicas consistiram em pH em H<sub>2</sub>O, condutividade elétrica, carbono orgânico, alumínio e bases trocáveis, capacidade de troca de cátions e potenciais de acidificação e neutralização. Também realizou-se a análise da composição granulométrica. Os valores dos atributos determinados mostraram grande variação tanto nas camadas de cada perfil como entre a média do conjunto de amostras analisadas nas áreas com diferentes idades de reconstituição. Notou-se maior acidificação nas amostras de solos construídos há 24 anos. Nos solos de reconstituição recente, foram determinados maiores valores de pH, bases trocáveis, saturação por bases e condutividade elétrica e menor saturação por alumínio. Em geral, os teores de carbono orgânico foram baixos. Os resultados obtidos apresentam evidências de alterações químicas nos solos com maior tempo de reconstituição e mostram a necessidade da adequada caracterização dos materiais usados para indicar a melhor forma de disposição.

Palavras-chave: mineração de carvão, solos construídos, oxidação da pirita, propriedades químicas do solo.

## Abstract

Soil and lithologic materials overlying coal layers are used in the topographic reconstruction of disturbed lands after coal mining. Constructed soils result after replacement and mixture of marginal materials and soil into mine diggings. A recent constructed soil is not at equilibrium with the surface environment conditions and so may undergo rapid changes in its properties. This study evaluated chemical properties of constructed soils with different ages. The field

work was realized at Boa Vista coal mine, located in Minas do Leão, in the Depressão Central region of Rio Grande do Sul state, Brazil. Samples of soil and lithologic materials used for the topographic reconstruction were collected from three profiles of 2-year constructed soils under natural grasses vegetation and from four profiles of 24-year constructed soils under reforestation. These samples were analyzed for pH; electrical conductivity; contents of organic carbon and exchangeable aluminum and bases; cation exchange capacity; acid and neutralization potentials and particle size. The results for the studied attributes showed high variation as among the layers of each profile as among the averages for groups of samples from constructed soils with different ages. More acidic conditions were measured in samples from 24-year constructed soil. In contrast, higher values of pH, exchangeable bases, base saturation and electrical conductivity, and lower values of aluminum saturation were found in the recent constructed soils. As a rule, organic carbon content was low in all samples. These results show evidences of chemical changes in older constructed soils and the necessity of accurate characterization of the reconstruction materials to optimize reclamation strategies.

Key words: coal mining, constructed soils, pyrite oxidation, soil chemical properties.

## Introdução

No Rio Grande do Sul ocorrem as maiores reservas nacionais de carvão, utilizadas essencialmente como carvão energético. Devido a fatores como o tamanho e controle estrutural do depósito de carvão, a distribuição das camadas, a disponibilidade de equipamentos, a vida útil do depósito e a taxa de produção do carvão; no RS a mineração de carvão utilizada é do tipo céu aberto, desenvolvida pelo método de lavra em tiras. Este método caracteriza-se pela remoção das camadas de solo e da cobertura litológica (estéril) sobrejacentes ao carvão que posteriormente é lavrado.

Essa atividade altera as características originais do solo, perturbando intensamente a paisagem. Nesse sentido, o planejamento da mineração do carvão deve contemplar a recuperação ambiental das áreas mineradas, conforme estabelece a legislação ambiental vigente.

Na recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, são utilizados o solo e os estéreis sobrejacentes às camadas de carvão para preencher a cava e recompor topograficamente a paisagem. Este empilhamento e a mistura de solo e de fragmentos de rochas compõem os solos construídos ([Kämpf et al., 1997](#)).

Nesse processo, a contaminação por pirita ( $\text{FeS}_2$ ), oriunda do carvão e dos estéreis associados, nos materiais dos solos construídos, desencadeia reações de acidificação provenientes da sua oxidação. Essas reações liberam grandes quantidades de sulfato e de ferro pela dissolução da pirita e de outros sulfetos, em associação ao deslocamento e à lixiviação dos cátions básicos do complexo de troca dos argilominerais, provocados pela acidificação, influenciando a

estabilidade dos silicatos, resultando na sua dissolução e na conseqüente liberação de cátions estruturais.

Isso mostra que o solo recém construído não está em equilíbrio com as condições do ambiente superficial, estando sujeito a mudanças rápidas nas suas propriedades (Ciolkosz et al., 1985; Kämpf et al., 1997). 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. Por isso, é importante a adequada caracterização dos materiais utilizados na recuperação, visando a seqüência de disposição mais adequada. Nesse sentido, este estudo avaliou as propriedades químicas de solos construídos de diferentes idades, objetivando o entendimento dos efeitos desta ação antrópica, bem como acompanhar os estádios pedogênicos incipientes e a sua evolução temporal.

## Materiais e Métodos

O presente trabalho foi realizado na mina de carvão Boa Vista, localizada no Município de Minas do Leão, na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. Esta mina, pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM), extrai carvão mineral a céu aberto (Figura 1), que é transportado para a planta de beneficiamento Minas do Leão I, localizada a 5 km do local de exploração.

Na mina foram identificadas e selecionadas duas subáreas. A primeira, denominada SA-24, estava recoberta por um solo construído de 24 anos (1979), reflorestado por dois tipos de espécies (Eucaliptus sp. e Pinus sp.) e apresentava diversas gramíneas rasteiras como cobertura vegetal (Figura 2).



Figura 1: Coluna geológica de área minerada a céu aberto na mina Boa Vista.



Figura 2: Paisagem da sub-área SA-24 reconstituída há 24 anos.

A segunda subárea, denominada SA-2, estava recoberta por um solo construído há dois anos (2001) e apresentava gramíneas rasteiras como vegetação de cobertura (Figura 3).



Figura 3: Paisagem da sub-área SA-2 reconstituída há 2 anos.

As subáreas de solos construídos (SA-2 e SA-24) foram caracterizadas utilizando-se como critério o relevo para o caso da subárea mais nova (SA-2) e a vegetação no caso da subárea mais antiga (SA-24). Nesta última, foram descritos quatro perfis, identificados da seguinte maneira: o primeiro num reflorestamento de Eucaliptus (P1-24), o segundo e o quarto num reflorestamento de Pinus (P3-24 e P4-24) e o terceiro numa capoeira de alto índice de erosão (P2-24). Na subárea mais nova (SA-2) foram descritos três perfis, identificados da seguinte maneira: o primeiro localizado no relevo mais plano na parte superior da toposequência (P3-2), o segundo num declive de 4% na parte média da toposequência (P2-2) e o terceiro num declive de 8% na parte baixa da toposequência (P1-2).

Nos horizontes e camadas de cada perfil (Figura 4) foram coletadas amostras para as determinações químicas. As amostras foram secas ao ar, moídas e peneiradas, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (menor que 2 mm). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

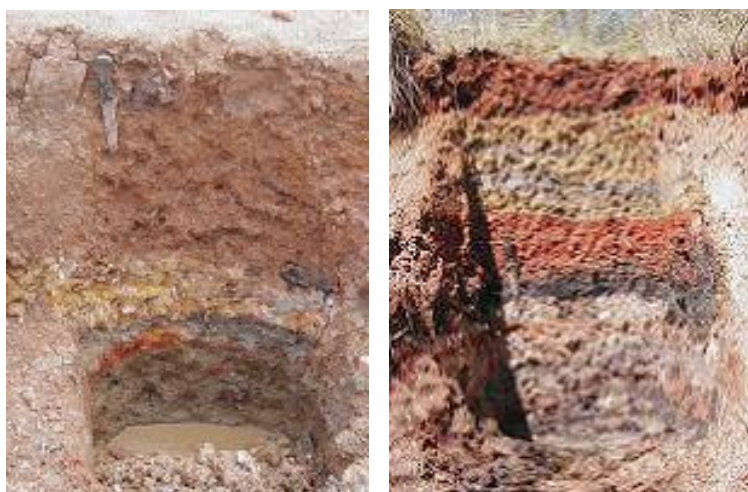


Figura 4: Perfis de solos construídos na sub-área SA-2 (a) e na sub-área SA-24 (b).

As análises químicas consistiram das seguintes determinações: pH em água, na proporção 1:1, em peso (5 g solo: 5 g de água), seguindo metodologia da Embrapa (1997). A condutividade elétrica (CE), em extratos de saturação na proporção 1:5 (5 g solo: 50 g de água), seguindo metodologia proposta por

Tedesco et. al. (1995). Bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ ), alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e CTC a pH 7,0 (Embrapa, 1997). Carbono orgânico (CO), pelo método Walkley-Black modificado (Tedesco et al., 1995). A partir destas determinações foram calculados os valores de soma de bases (S), saturação por bases (V) e por alumínio (S-Al).

Os potenciais de acidificação (PA) e de neutralização (PN) foram determinados pelo método do peróxido de hidrogênio modificado, conforme descrito por Pinto (1997).

A composição granulométrica foi determinada pelo método do densímetro, conforme descrito em Embrapa (1997).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 constam as propriedades químicas e a composição granulométrica de dois perfis de solos construídos representativos, respectivamente, das subáreas SA-2 e SA-24. Nesta, observa-se uma expressiva variabilidade, entre as camadas de um mesmo perfil, dos valores da maioria dos atributos determinados, as quais decorrem de variações na composição dos materiais (solo e estéreis) utilizados na construção dos solos.

Tabela 1. Propriedades químicas e composição granulométrica em perfis de solos selecionados na SA-2 (P2-2) e na SA-24 (P1-24).

Horiz./ Camada	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	S	CTC (pH <sub>7</sub> )	V	S-Al	CO	Areia	Silte	Argila	PA	PN
	m S cm <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						%		g kg <sup>-1</sup>			kg CaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup>		
P2-2																
A	4,2	184	3,6	2,8	0,1	0,4	6,9	20,8	33	51	11	203	287	510	1,4	8,2
C1	6,6	360	8,7	11,5	0,2	0,7	21,2	22,3	95	0	7	13	347	640	8,8	16,0
C2	7,0	373	13,5	18,1	0,4	1,1	33,1	33,6	99	0	3	22	483	495	4,7	13,2
C3	5,9	385	8,2	11,6	0,3	0,6	20,7	22,3	93	0	15	40	314	646	4,9	12,4
C4	4,6	357	12,3	16,7	0,5	0,9	30,4	35,3	86	4	1	12	348	640	3,5	11,4
C5	4,4	252	7,2	11,2	0,3	0,6	19,3	24,7	78	6	2	94	236	670	5,2	10,7
P1-24																
A	3,9	144	1,2	0,3	0,0	0,3	1,8	28,1	6	80	103	170	370	460	0,9	4,7
C1	4,0	126	0,7	0,2	0,0	0,2	1,0	15,9	6	88	13	268	186	546	1,2	18,5
C2	4,3	120	2,1	1,8	0,0	0,2	4,1	18,9	22	64	8	208	177	615	1,2	2,6
C3	4,6	62	1,9	1,8	0,0	0,1	3,8	13,4	29	43	8	268	181	551	1,5	6,0

C4	4,3	121	4,6	11,9	0,3	0,7	17,5	27,0	65	19	4	22	292	686	1,2	6,0
----	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	------	----	----	---	----	-----	-----	-----	-----

As diferenças verificadas entre os dois perfis com distintos tempos de construção (dois e 24 anos) são abordadas a partir de parâmetros estatísticos relacionados ao conjunto de amostras analisadas em cada subárea (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos relacionados ao conjunto de amostras dos solos construídos na SA-2 e na SA-24.

Atributos do solo	Sub-área	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	n
pH-H <sub>2</sub> O	SA-2	4,8	1,0	3,9	7,00	18
	SA-24	4,5	0,6	3,7	5,60	17
CE, m S cm <sup>-1</sup>	SA-2	240,6	103,6	64,6	384,5	18
	SA-24	101,7	95,5	9,6	329,0	17
Ca, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	7,9	3,6	2,1	16,2	18
	SA-24	3,5	2,1	0,7	7,7	17
Mg, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	9,4	5,2	1,7	18,8	18
	SA-24	5,1	5,1	0,2	16,2	17
Na, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	0,24	0,13	0,05	0,53	18
	SA-24	0,11	0,07	0,18	0,28	17
K, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	0,66	0,25	0,22	1,16	18
	SA-24	0,38	0,23	0,13	0,78	17
S, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	18,1	8,9	4,1	36,4	18
	SA-24	9,0	7,3	1,0	24,8	17
CTC <sub>pH7</sub> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	27,5	8,0	10,0	39,4	18
	SA-24	23,0	15,7	13,4	78,0	17
V, %	SA-2	65	24,8	24,5	98	18
	SA-24	42	24,1	6,3	77	17
S-Al, %	SA-2	24	24,1	0,0	68	18
	SA-24	39	26,1	4,3	88	17
CO, g kg <sup>-1</sup>	SA-2	19,6	51,2	0,4	221,4	18
	SA-24	21,1	40,0	0,1	146,8	17
PA, kg CaCO <sub>3</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	6,4	4,0	1,4	14,2	11
	SA-24	1,5	1,0	0,9	4,4	10
PN, kg CaCO <sub>3</sub> kg <sup>-1</sup>	SA-2	12,4	2,5	8,2	16,0	11
	SA-24	7,0	5,1	1,2	18,5	10
Areia, g kg <sup>-1</sup>	SA-2	78	76	7	283	18
	SA-24	131	114	4	318	17
Silte, g kg <sup>-1</sup>	SA-2	311	86	164	494	18
	SA-24	272	89	138	471	17

Argila, g kg <sup>-1</sup>	SA-2	611	117	400	786	18
	SA-24	597	95	390	715	17

Quanto aos atributos relacionados à acidez do solo, observou-se a predominância de valores médios indicativos de maior acidificação dos solos localizados na subárea SA-24, de reconstituição mais antiga. Nesta situação, foram verificados menores valores de pH, condutividade elétrica, de bases trocáveis e de saturação por bases; e maiores valores de saturação por alumínio, comparativamente aos verificados nos solos da subárea SA-2, de reconstituição recente. Estas diferenças são provavelmente devidas à intensificação dos processos de acidificação, determinados pela oxidação da pirita e a concomitante remoção das bases por lixiviação.

Os valores médios de pH mostram um progressivo avanço da oxidação da pirita nos solos construídos SA-24 (Tabela 2), bem como o início deste processo nos solos construídos SA-2. Este fato também foi verificado na comparação das minas Butiá-Leste e Recreio, representadas por dois solos construídos de dois e 15 anos, respectivamente (Kämpf et al., 1997). Os maiores valores médios de CE nos solos construídos SA-2 devem-se, provavelmente, à liberação de sais pelo efeito de oxidação da pirita, assim como da dissolução de minerais, intensificadas pelo processo de acidificação (Kämpf et al., 2000). Os menores valores de CE nos solos construídos SA-24 sugere o gradativo esgotamento dessas fontes de sais ao longo do tempo (Ciolkosz et al., 1985), assim como a precipitação de minerais formados através de neogênese.

As maiores concentrações médias de Ca e Mg, com predomínio de Ca, nos solos construídos SA-2 em comparação aos solos construídos SA-24, indicam que nos solos construídos SA-2 existem carbonatos em processo de dissolução, liberando importantes quantidades de Ca e Mg, conforme verificado por Haering et al. (1993). Nos solos construídos SA-24, a contínua exposição de camadas contendo pirita a condições oxidantes favoreceu a oxidação deste sulfeto e a conseqüente lixiviação do Ca acompanhado do ânion sulfato.

A soma de bases (S) média nos solos de ambas as subáreas evidenciou as perdas por lixiviação e deslocamento dos cátions básicos nos solos construídos SA-24, conforme mostram os valores de saturação por alumínio (S-Al) nestes últimos. Embora tanto os solos construídos SA-24 como os SA-2 apresentem altos valores médios de S, nos solos SA-2 este valor é bastante superior, demonstrando a existência de uma maior quantidade de cátions trocáveis sendo liberados pelos processos de acidificação e dissolução de minerais nos solos construídos SA-2 e a expressiva perda por lixiviação e deslocamento destes nos solos construídos SA-24.

A distribuição irregular do CO com a profundidade dos perfis (Tabela 1) está fortemente relacionada à alternância de camadas com folhelhos carbonosos ou contendo rejeitos de carvão com camadas menos carbonosas, utilizadas para o preenchimento das cavas mineradas. Nos solos construídos SA-24, embora existam pequenas camadas superficiais de material orgânico em decomposição, estas aparentemente não contribuem com o enriquecimento das camadas

superficiais e subsuperficiais destes solos.

Os valores de PA, menores nos solos SA-24 comparativamente aos solos SA-2, demonstraram que a pirita presente nos solos construídos oxida-se gradativamente a partir de sua exposição a condições ambientais favoráveis, como água e ar. Por outro lado, os valores de PN, maiores nos solos SA-2 comparativamente aos solos SA-24, demonstraram que os carbonatos vão-se dissolvendo ao longo do tempo pela influência dos processos de acidificação destes solos.

A partir da análise comparativa das propriedades químicas dos solos construídos, infere-se que, tanto os SA-24 como os SA-2, apresentam feições de sulfurização ativa, evidenciadas pelos baixos valores de pH encontrados por algumas camadas, constituindo-se o processo de sulfurização, como o principal elemento da evolução pedogenética destes solos. As mudanças mais significativas que acompanham o intemperismo ácido sulfatado, representadas pelo decréscimo de pH e dos cátions básicos e pelo aumento da CE, conduzem à formação de novas fases minerais que contribuem na atribuição de características e propriedades particulares dos solos construídos.

Existem indícios suficientes para afirmar que os solos construídos SA-2 encontram-se numa etapa de evolução incipiente em comparação os solos construídos SA-24 e que o grau de acidificação dos mesmos ainda não é acentuado, mas que precisa ser administrado adequadamente para evitar danos ambientais de maior intensidade ao longo do tempo.

Quanto às propriedades físicas, constatou-se a predominância de amostras com alto teor de argila, principalmente nas camadas subsuperficiais ([Tabela 1](#)). Esta situação, aliada à má estrutura e baixa porosidade, resulta em baixa taxa de infiltração de água nestes solos, acentuando a erosão hídrica e a perda do solo da camada superficial (observação visual). Assim, fica prejudicado o crescimento de plantas e o processo de revegetação, essencial no processo de recuperação.

## Conclusão

As diferenças existentes entre os perfis das duas subáreas de solos construídos originam-se, basicamente, pela utilização de diferentes materiais geológicos e diferentes processos de construção, sendo que suas influências sobrepõem-se aos processos pedogenéticos tradicionais de formação dos solos. Estas variações, principalmente a heterogeneidade dos materiais, refletem-se nas características químicas dos solos construídos e demonstram a importância da ação antrópica sobre os mesmos.

A caracterização química dos solos construídos ajuda a compreender certos processos químicos originados pela oxidação da pirita. A evolução temporal destes solos está fortemente caracterizada pela intemperização ácido-sulfatada, o que pode ser percebido claramente através do pH, delta pH, CE, Ca, Mg, Al, entre outros.

Os solos construídos SA-24 evidenciam um estado mais avançado de evolução pedogenética em comparação aos solos construídos SA-2, onde existem indicativos de processos oxidantes incipientes. Esta conclusão está fundamentada tanto pelas análises químicas como pelas determinações dos PA e PN.

### Agradecimentos

Aos orientadores Alberto Vasconcelos Inda Junior e Carlos Alberto Bissani pela orientação prestada na execução deste trabalho.

Aos amigos e colegas da faculdade de Agronomia pelo apoio e amizade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Aos meus pais Francisco e Maria Emilia pelo estímulo e exemplo de dedicação.

Ao Fabiano Argenta pelo carinho, parceria, incentivo, apoio e, principalmente, paciência por me ouvir apresentar tantas vezes o mesmo trabalho.

### Referências

CIOLKOSZ, E. J.; CRONCE, R. C.; CUNNINGHAM, R.,L; & PETERSEN, G. W. Characteristics, genesis and classification of Pennsylvania minesoils. Soil Sci., 139, p. 232-238, 1985.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. rev. Atualiz. Rio de Janeiro, 1997. 212p. il. (EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 1).

HAERING, K. C.; LEE D. W. & ROBERTS, J .A. Changes in mine soil properties resulting from overburden weathering. J. Environ. Qual., Madison, 22, p. 194-200, 1993.

KÄMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da Bacia Carbonífera. In: Centro de Ecologia – UFRGS. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. p. 596-640.

KÄMPF, N.; SCHEIDER, P.; GIASSON, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do Baixo Jacuí (RS). R. Bras. Ci. Solo, 21, p. 79-88, 1997.

PINTO, L.F.S. Potencial de acidificação e neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de

mineração de carvão. 1997. 186f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et. al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995. 174p. (Boletim Técnico nº 5).

## AUTORES

[MARISTELA FIESS CAMILLO](#)<sup>1</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

OSCAR RAFAEL GAEDA QUINONES<sup>2</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

[ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR \(orientador\)](#)<sup>3</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

[CARLOS ALBERTO BISSANI \(orientador\)](#)<sup>4</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

[ELVIO GIASSON](#)<sup>5</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

[DEBORAH PINHEIRO DICK](#)<sup>6</sup>

[CURRÍCULO LATTES](#)

<sup>1</sup> - Aluna de graduação, bolsista CNPq, Faculdade de Agronomia, UFRGS

<sup>2</sup> - Mestrando PPGCS/FA/UFRGS

<sup>3</sup> - Prof. Dep. de Solos/FA/UFRGS (Orientador)

<sup>4</sup> - Prof. Dep. de Solos/FA/UFRGS (Orientador)

<sup>5</sup> - Prof. Dep. de Solos/FA/UFRGS

<sup>6</sup> - Profa. Dep. de Físico-Química /IQ/UFRGS