

**Universidade Federal de Pelotas**  
**Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água**



**TESE**

**Potencial de acidificação e de neutralização em materiais geológicos da  
jazida de carvão de Candiota, sul do Brasil**

**Renata Pinto Albert**

**Pelotas, 2018**

Renata Pinto Albert

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial ao título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto

Co-orientador: Prof. Dr. Pablo Miguel

Pelotas, 2018

Banca examinadora:

---

Professor Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto (Presidente)  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

---

Professora Dra. Andrea Fischer  
IFSUL-riograndense

---

Professora Dra. Flavia Fontana Fernandes  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

---

Dra. Lizete Stumpf  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

Aos meus pais Renato e Alice, pela educação e amor;

Ao meu filho Lucas, minha inspiração.

DEDICO



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por guiar os meus passos ao longo de mais esta etapa.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Companhia Riograndense de Mineração (CRM) pela disponibilidade da área de estudo, amostras e apoio técnico.

Ao professor Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto, pela orientação e amizade construída ao longo desses anos.

Aos professores Eloy Antonio Pauletto, Andrea Fischer e Flavia Fontana Fernandes pela disponibilidade e contribuições na realização e aperfeiçoamento deste trabalho assim como à amiga e Dra. Lizete Stumpf pelas colaborações e constante incentivo.

Aos demais professores do PPG MACSA que de forma direta ou indireta contribuíram para a construção deste trabalho e na minha formação profissional.

Aos colegas do grupo de pesquisa da pedologia do solo, especialmente aos estagiários Jéferson Diego Leidemer e à Victoria Novo Schmitz por toda ajuda prestada durante o doutorado e aos demais colegas da pós-graduação em especial à Juliana Brito que me acompanhou durante esses anos tornando-se grande amiga.

Às amigas Jaqueline Trombetta da Silva e Marília Alves Pinto Brito pela cumplicidade, aprendizado e amizade.

Aos demais funcionários do Departamento de Solos pela convivência nesse período da pós-graduação em especial aos amigos Paulo Luís da Luz Antunes e a funcionária Ana Maria Ribeiro Fuculo.

À Pablo Miguel, pela ajuda e contribuição técnica ao trabalho, mas principalmente pelo companheirismo, amor e momentos agradáveis no convívio diário.

Ao meu filho Lucas, minha vida, meu amor, pela sua alegria, força, carinho e amor, que me incentivam na luta por um futuro melhor.

Aos meus pais, Renato e Alice, pela determinação e garra na minha formação e educação. Obrigada por serem a minha referência de vida e pelo amor incondicional.

Aos demais amigos, familiares e colegas, que de alguma forma contribuíram para a realização desta etapa, um sincero muito obrigada.

## Resumo

ALBERT, Renata Pinto. **Potencial de acidificação e de neutralização em materiais geológicos da jazida de carvão de Candiota, sul do Brasil**. 2018. 73f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Em Candiota (RS) a mineração de carvão é realizada à céu aberto em tiras pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM). Nesta, são retiradas o solo e as camadas geológicas situadas acima das camadas de carvão. A recomposição topográfica é feita recolocando as camadas geológicas na cava aberta quando da escavação da próxima tira; após, as pilhas de estéril são reconfomadas e sobre a superfície nivelada é colocada a camada de solo superficial (“topsoil”), compondo um solo “construído”. A pirita, encontrada no carvão e em rochas associadas, fazendo parte do solo construído, ao entrar em contato com o ar e água, reage rapidamente, formando ácido sulfúrico, desencadeando a acidificação do solo e das águas e a solubilização de metais, processo conhecido como drenagem ácida de mina (DAM). Este trabalho teve por objetivo estimar a provável composição do solo construído e a predisposição desse em gerar DAM através da caracterização química dos materiais da coluna geológica e da estimativa do potencial que eles possuem para liberar acidez nos solos e águas superficiais e subsuperficiais na área pós-minerada, permitindo um melhor planejamento do controle ambiental das áreas que virão a ser mineradas na mina de carvão do município de Candiota (RS). Foram selecionados seis furos de sondagem e amostradas as principais litologias que irão compor o perfil de solo construído (camada de “topsoil” e estéril). Os materiais foram triturados e tratados como “solo”, sendo realizada a caracterização básica do complexo trocável, determinando-se os atributos pH em H<sub>2</sub>O, pH em CaCl<sub>2</sub>, cátions básicos (Ca, Mg, K, Na), Al e acidez potencial (H + Al). O potencial de acidificação (PA) e neutralização (PN) dos materiais geológicos foram estimados utilizando o método do peróxido de hidrogênio adaptado para determinação do PN. Os dados da composição química do complexo trocável desses materiais indicam que praticamente todas as camadas de carvão irão fornecer às camadas de estéril do solo construído uma reação fortemente ácida. Isso é relevante pois camadas não exploradas de carvão, em função da menor espessura e continuidade, com as do BL (Banco Louco), são frequentemente incorporadas aos materiais do estéril. Nas minerações futuras, se o mesmo tipo de ação for realizada com as camadas de carvão S2, S3, S4 e S5, os problemas de acidificação poderão se amplificar. Além disso, algumas camadas de folhelho carbonoso e de arenito acima do carvão BL também apresentam reação ácida, o que significa que mesmo explorando todos os carvões, a reação ácida no estéril pode persistir. Por outro lado, outras camadas apresentam reação alcalina, podendo neutralizar parte dessa acidez. A estimativa dos potenciais de acidificação e de neutralização desses materiais permitem prever o balanço do processo e a tendência de evolução do sistema em função das decisões tomadas em relação às camadas de carvão que serão mineradas e a disposição controlada ou não controlada dos materiais geológicos que irão compor o perfil do solo construído.

**Palavras-chave:** área degradada; carvão; solos construídos, drenagem ácida.

## Abstract

ALBERT, Renata Pinto. **Potential for acidification and neutralization of geological materials from the coal deposit at Candiota, southern Brazil.** 2018. 73f. Thesis (PhD) - Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018.

In Candiota (RS) coal mining is carried out in surface strip mining by Companhia Riograndense de Mineração (CRM). The soil and geological layers above the coal seams are removed and the topographic recomposition is done by replacing the geological layers in the previously opened pit when the next strip is excavated; Afterwards, the overburden piles are reformed and on the leveled surface is placed a layer of surface soil (topsoil), composing a "constructed" minesoil. Pyrite, found in coal and associated rocks, in the "constructed" minesoils, reacts rapidly to sulfuric acid, triggering acidification of soil and water and causing solubilization of metals, a process known as acid mine drainage (AMD). The objective of this work was to estimate the probable composition of the constructed soil and its predisposition to generate AMD through the chemical characterization and estimation of potential acidity of the materials of the geological column of areas that will be mined in the coal mining area of Candiota (RS), thus providing subsidies to prevent / mitigate the generation of acid drainage in future areas. Six drill holes were selected and the main lithologies that will compose the future constructed minesoil profile (topsoil and overburden layers) were sampled. The core sample materials were ground and treated as soil, and the basic characterization of the exchangeable complex was carried out, determining the following attributes: water and  $\text{CaCl}_2$  pH, basic cations (Ca, Mg, K, Na), Al and potential acidity (H+Al). The acidification potential (AP) and neutralization potential (NP) of the geological materials were estimated using the hydrogen peroxide method adapted for NP determination. Data on the chemical composition of the exchangeable complex of these materials indicate that practically all the coal layers will provide the overburden layer with a strongly acidic reaction. This is relevant because, generally, some layers are not explored, due to their lower thickness and lack of continuity, as the BL layer (Louco Seam), that are incorporated into the overburden materials of the constructed minesoil profile. In future mining, if the same type of action is carried out with the S2, S3, S4 and S5 coal layers, the problems of acidification will be intensified. In addition, some layers of carbonaceous shale and sandstone above the BL coal seam also exhibit acidic reaction, which means that even by exploiting all the coals, the acid reaction in the overburden minesoil profile layer could persist. On the other hand, other layers present alkaline reaction, which can neutralize part of this acidity. The estimation of the acidification and neutralization potentials of these materials makes it possible to predict the process balance and the trend of the system to evolve depending on the decisions taken regarding the unmined coal layers and the controlled or uncontrolled disposal of the geological materials that will compose the constructed minesoil profile.

**Key-Words:** degraded area; coal; constructed minesoils, acid drainage.

## Lista de Figuras

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Localização das principais jazidas de carvão no RS (adaptado de BORTOLUZZI et al., 1982).....                     | 7  |
| Figura 2: Detalhe da Formação Rio Bonito na bacia de Candiota. Sondagem SC-80-RS. (CPRM, 1999).....                         | 10 |
| Figura 3: Etapas da mineração do carvão e recomposição topográfica da Mina de Candiota/RS.....                              | 12 |
| Figura 4: Processo de sulfidização (Fanning & Fanning, 1989).....                                                           | 14 |
| Figura 5: Localização da área de mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração, Candiota/RS.....               | 22 |
| Figura 6: Localização das malhas de mineração da Companhia Riograndense de Mineração de Candiota/RS.....                    | 23 |
| Figura 7: Caracterização litológica do furo de sondagem F435 (MIV) e localização das amostras selecionadas (1 a 21).....    | 24 |
| Figura 8: Caracterização litológica do furo de sondagem F344 (MVII) e localização das amostras selecionadas (1 a 21).....   | 25 |
| Figura 9: Caracterização litológica do furo de sondagem F530 (MVIII) e localização das amostras selecionadas (1 a 16).....  | 26 |
| Figura 10: Caracterização litológica do furo de sondagem MXII-06 e localização das amostras selecionadas (1 a 18).....      | 27 |
| Figura 11: Caracterização litológica do furo de sondagem MIII-29 e localização das amostras selecionadas (1 a 18).....      | 28 |
| Figura 12: Caracterização litológica do furo de sondagem F377 (MXIII) e localização das amostras selecionadas (1 a 16)..... | 29 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                             | 32 |
| Tabela 2: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F344, da malha MVII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                            | 33 |
| Tabela 3: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                           | 34 |
| Tabela 4: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                         | 35 |
| Tabela 5: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                         | 36 |
| Tabela 6: Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F377, da malha MXIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                           | 37 |
| Tabela 7: Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                                                            | 39 |
| Tabela 8: Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                                                          | 40 |
| Tabela 9: Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                                                        | 42 |
| Tabela 10: Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....                                                                                       | 43 |
| Tabela 11: Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.....     | 44 |
| Tabela 12: Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.....   | 45 |
| Tabela 13: Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS..... | 46 |
| Tabela 14: Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS..... | 47 |

## Sumário

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Introdução.....                                                          | 4  |
| 2 Revisão bibliográfica.....                                               | 6  |
| 2.1 A mineração de carvão mineral no Brasil .....                          | 6  |
| 2.2 O carvão mineral no sul do Brasil .....                                | 7  |
| <b>2.2.1 Geologia do carvão</b> .....                                      | 8  |
| 2.3 Recomposição ambiental na área de mina de Candiota.....                | 11 |
| 2.4 Exploração de carvão e a drenagem ácida de mina (DAM) .....            | 13 |
| 2.5 Predição da geração de acidez nas áreas contaminadas por sulfetos..... | 16 |
| <b>3 Hipóteses</b> .....                                                   | 21 |
| 4 Objetivos.....                                                           | 21 |
| 4.1 Objetivo Geral.....                                                    | 21 |
| 4.2 Objetivos específicos .....                                            | 21 |
| 5 Material e Métodos .....                                                 | 22 |
| 6 Resultados e Discussão.....                                              | 31 |
| 7 Conclusões.....                                                          | 50 |
| 8 Referências bibliográficas.....                                          | 52 |
| Apêndices .....                                                            | 56 |
| Anexos .....                                                               | 70 |

## 1 Introdução

O carvão mineral é uma rocha sedimentar formada por uma mistura heterogênea de substâncias orgânicas e minerais. A qualidade energética do carvão é avaliada pelas características dessa mistura e depende da quantidade de carbono encontrado nele, que pode ser avaliada pelo grau de carbonificação, composição petrográfica e grau de impurezas.

O Brasil é um país que possui importantes reservas de carvão mineral, que constitui uma fonte energética estratégica para geração de energia elétrica nos períodos de escassez hídrica.

O estado do Rio Grande do Sul possui as maiores jazidas do Brasil, com aproximadamente 30 bilhões de toneladas de reservas de carvão. Apenas a jazida Candiota possui aproximadamente 38% de todo o carvão nacional nesta jazida, que é utilizado na sua totalidade para geração de energia termoelétrica.

A mineração a céu aberto do carvão mineral, como é o caso de Candiota, que é feita em tiras, gera sérias alterações no ambiente, pois envolve a remoção de grandes volumes de solo e de camadas geológicas situadas acima das camadas de carvão. Essas camadas, denominadas estéreis (arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos carbonosos), são repostas de forma a preencher as cavas abertas anteriormente, reconstruindo a paisagem e o solo, visando a reabilitação ambiental das áreas. As camadas dos horizontes superficiais do solo ("topsoil") são colocadas acima da camada de estéril, passando por práticas agrônômicas de forma a revegetar a área que foi minerada. Este processo modifica as características tanto da paisagem como do solo que passa a ser denominado de solo construído, que é um tipo de solo antropogênico.

Entre os vários problemas ambientais encontrados nas áreas de mineração de carvão, até mesmo considerado o mais sério deles, é a contaminação por sulfetos, que ao entrar em contato com o ar e água, reage rapidamente, formando ácido sulfúrico, causando a acidificação intensa do solo e das águas e a solubilização de metais, processo conhecido como drenagem ácida de mina (DAM). Nesta drenagem ácida o pH das águas pode ter valores abaixo de 3,5 e aumento na concentração de valores de ferro total, sulfato total e vários outros elementos tóxicos, impossibilitando o uso das águas e causando destruição da flora e a fauna aquáticas.



O potencial de geração de acidez e de liberação de contaminantes depende de muitos fatores e é específico de cada local (*site-specific*). Assim, é de grande importância o conhecimento da geologia local assim como suas características, pois ela influencia os tipos de modificações que irão ocorrer no ambiente. Dessa forma, a caracterização química e mineralógica das camadas de rochas da coluna geológica quanto a presença de sulfetos e de carbonatos e do complexo trocável quanto ao pH e relação de cátions trocáveis básicos e ácidos pode antever a provável reação do solo “construído” e a liberação de acidez e de contaminantes que vai ocorrer a partir desse para as águas superficiais e subsuperficiais.

Este trabalho teve por objetivo estimar a provável composição do solo construído e a predisposição desse em gerar drenagem ácida de mina através da caracterização química e mineralógica dos materiais da coluna geológica de áreas que virão a ser mineradas na área de mineração de carvão de Candiota (RS), de forma a fornecer subsídios para prevenir/mitigar a geração de drenagem ácida nas áreas futuras.

## **2 Revisão bibliográfica**

### **2.1 A mineração de carvão mineral no Brasil**

A mineração é de grande importância para a economia do país, pois é um dos setores básicos, contribuindo de forma determinante para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações. Possui caráter fundamental para o incremento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002). O carvão mineral é a maior fonte de energia não renovável no Brasil e a sua exploração é de grande importância para a diversidade da matriz energética brasileira (DNPM, 2005).

Entre os recursos energéticos não renováveis, o carvão ocupa a primeira colocação em abundância e perspectiva de vida útil, sendo a longo prazo a mais importante reserva energética mundial. Na composição da matriz energética global, o carvão fica abaixo apenas do petróleo, sendo que especificamente na geração de eletricidade passa à condição de principal recurso mundial (BORBA, 2001). O carvão mineral é constituído por uma mistura complexa de alto teor orgânico, associado a componentes inorgânicos (minerais), como os silicatos, sulfetos, carbonatos, óxidos, entre outros. Esta matriz associa vários elementos traço em sua composição e o conhecimento deste conteúdo pode fornecer informações para avaliar o risco ambiental embutido (OLIZ et al., 2016).

Com a necessidade de ampliar a oferta de energia do país, as termelétricas a carvão apresentam-se como uma das alternativas interessantes. Para que essa tecnologia seja posta em prática, é importante que as futuras termelétricas sejam implantadas, seguindo o modelo de desenvolvimento sustentável. Para tanto, é fundamental uma avaliação de custo/benefício, do ponto de vista econômico e ambiental (SALDANHA, 1998).

As maiores jazidas de carvão mineral do País situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As menores, no Paraná e São Paulo. As reservas brasileiras totalizam 32 bilhões de toneladas de carvão "in situ". Deste total, o estado do Rio Grande do Sul possui 89,25%, Santa Catarina 10,41%, Paraná 0,32% e São Paulo 0,02%. Somente a jazida Candiota, situada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, possui 38% de todo o carvão nacional (CPRM, 2014).

## 2.2 O carvão mineral no sul do Brasil

No Rio Grande do Sul as jazidas de carvão encontram-se ao longo dos bordos sudoeste, norte e nordeste do escudo sul-rio-grandense (Figura 1), separadas geograficamente entre si (BORTOLUZZI et al., 1982).

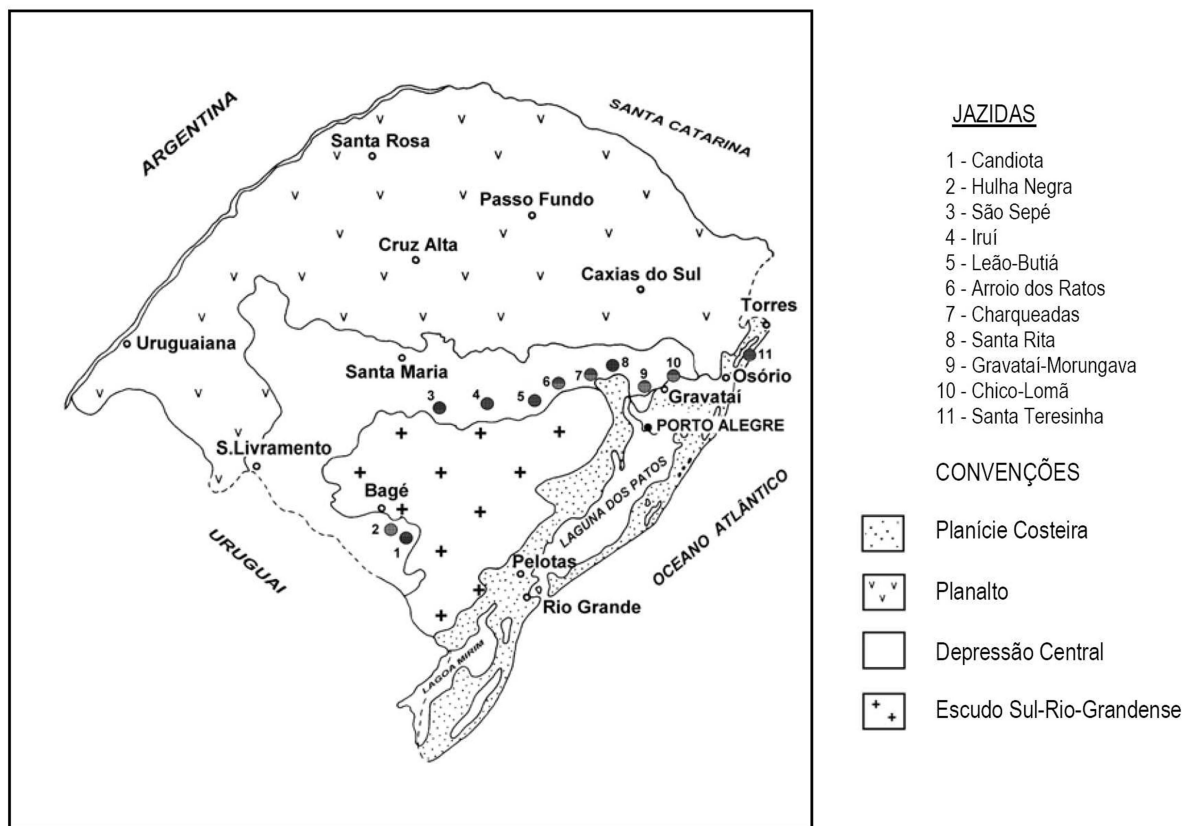


Figura 1 - Localização das principais jazidas de carvão no RS (adaptado de BORTOLUZZI et al., 1982).

A porção meridional do estado do Rio Grande do Sul insere-se no segmento sul da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1977), correspondendo aos terrenos cristalinos do Escudo Sul-Rio-Grandense, que compreende associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, distribuídas num complexo arranjo tectono-estratigráfico. Na região sul do Estado, onde está situada a jazida de carvão de Candiota, esses terrenos estão recobertos a oeste pelas rochas sedimentares gonduânicas da Província Paraná e, a leste, pelos sedimentos cenozóicos que compõem a Província Costeira (Figura 1).

A mina de Candiota, localizada no município de Candiota, a 400 quilômetros ao sul de Porto Alegre, possui a maior jazida de carvão mineral do Brasil. As reservas de carvão são de 1 bilhão de toneladas passíveis de serem mineradas a céu aberto, em profundidades de até 50 metros (CRM, 2018).

A CRM vem trabalhando nessa região desde 1961, objetivando em especial a produção de carvão termelétrico. A partir do final de 2010 com início da operação da Fase C- Candiota III da Usina Termelétrica Presidente Médici (Eletrobrás CGTEE), houve um incremento de 350 MW, somando-se as unidades A e B com capacidade de 446 MW, exigindo da CRM a duplicação da sua capacidade produtiva a níveis de 3.300.000 toneladas anuais. Além de realizar a mineração do carvão, investe na recuperação das áreas mineradas, sabendo a importância de manter a preservação do meio ambiente. Os investimentos previstos até o final de 2012, para execução de ações na área ambiental, ultrapassam o valor de R\$ 4 milhões na Mina de Candiota (CRM, 2018).

### **2.2.1 Geologia do carvão**

As sequências de rochas sedimentares gonduânicas encontradas na região de Candiota abrangem, da base para o topo, rochas dos Grupos Itararé (Formação Rio do Sul), Guatá (Formações Rio Bonito e Palermo) e Passa Dois (Formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto) (CPRM, 1999). Estas caracterizam a evolução de um ambiente glacial a periglacial, de caráter continental (Grupo Itararé), para costeiro (Grupo Guatá) e desse para marinho de água rasa (Grupo Passa Dois). As camadas de carvão que compõem a jazida de Candiota estão relacionadas ao Grupo Guatá, mais especificamente à Formação Rio Bonito.

A Formação Rio Bonito aflora por extensas áreas na região de Candiota, preservando-se topograficamente pela existência, em seu terço superior, de arenitos finos, silicificados, resistentes à erosão (CPRM, 1999). Está em contato discordante sobre o embasamento e sobre a Formação Rio do Sul sotoposta, e concordante com a Formação Palermo, sobreposta. Muitos de seus contatos laterais são por falhamentos de gravidade.

Três conjuntos litológicos são passíveis de serem individualizados dentro da Formação Rio Bonito e estão bem desenvolvidos na área (Figura 2). O inferior, consta de arenitos médios a grossos, cinza-claros, arcoseanos, localmente conglomeráticos, com grânulos e seixos de rochas metamórficas, ígneas e mais raramente sedimentares. Associados ocorrem arenitos finos a muito finos, e subordinadamente pelitos cinza escuros a cinza-esverdeados, localmente carbonosos, e ainda leitos e pequenas camadas de carvão. O segundo conjunto

caracteriza-se pela maior presença de pelitos, representados por siltitos em várias tonalidades de cinza até preto, carbonosos, com areia muito fina dispersa, ou argilosos, maciços, com interlaminações de arenito e leitos e camadas de carvão. Este conjunto é o de maior importância, pois aí situam-se as principais camadas de carvão que são explotadas, denominadas camadas Candiota, Banco Inferior (BI) e Banco Superior (BS), que são separadas por uma camada de argilito de 0,5 a 1m de espessura (argilito intermediário) e que em conjunto apresentam uma espessura que varia de 3,0 a 6,5 metros. O terceiro conjunto é constituído essencialmente por arenitos quartzosos a ortoquartzíticos, finos a médios, cinza-claros a esbranquiçados, que apresentam grande expressão lateral, sendo silicificados em grandes extensões. Essa característica é responsável pela preservação contra a erosão das camadas de carvão sotopostas, o que permite a mineração a céu aberto em grandes áreas, especialmente da camada Candiota (CPRM, 1999).

A deposição da Formação Rio Bonito nessa área deu-se em ambiente continental transicionando a litorâneo e marinho raso para o topo. Na base, leques aluviais e arenitos fluviais; na porção intermediária, carvões, siltitos e arenitos finos, oriundos de sistemas deltaicos, predominando as camadas de turfeiras desenvolvidas atrás das barreiras (*backbarriers*). No topo, distribuem-se as barreiras costeiras e, em direção ao sul, arenitos de planícies de marés são de maior expressão nessa porção da Formação Rio Bonito. A espessura média da Formação Rio Bonito está ao redor de 55m, podendo ultrapassar 70m em alguns sítios (CPRM, 1999).

A Formação Palermo é constituída por siltitos e siltitos arenosos, com intercalações subordinadas de camadas de arenitos médios a grossos, eventualmente com grânulos na base. Do ponto de vista litológico, a unidade é composta, em seu intervalo inferior, por uma interlaminação de silte e areia fina a muito fina. Intercalados no conjunto são encontrados leitos e lentes de arenito fino a médio, que mostram contatos abruptos, erosivos, com as camadas sotopostas, e possuem cimento carbonático. Na porção superior, a Formação Palermo é constituída por siltitos cinza a cinza-escuros, com alguma areia muito fina. O contato basal da Formação Palermo pode ser abrupto, erosivo, sobre os siltitos carbonosos e carvões da Formação Rio Bonito. Seus sedimentos depositaram-se num ambiente marinho de plataforma rasa, transgressivos sobre a Formação Rio Bonito. A

Formação Palermo apresenta espessura média da ordem de 40m, com poucas variações laterais de espessura (CPRM, 1999).

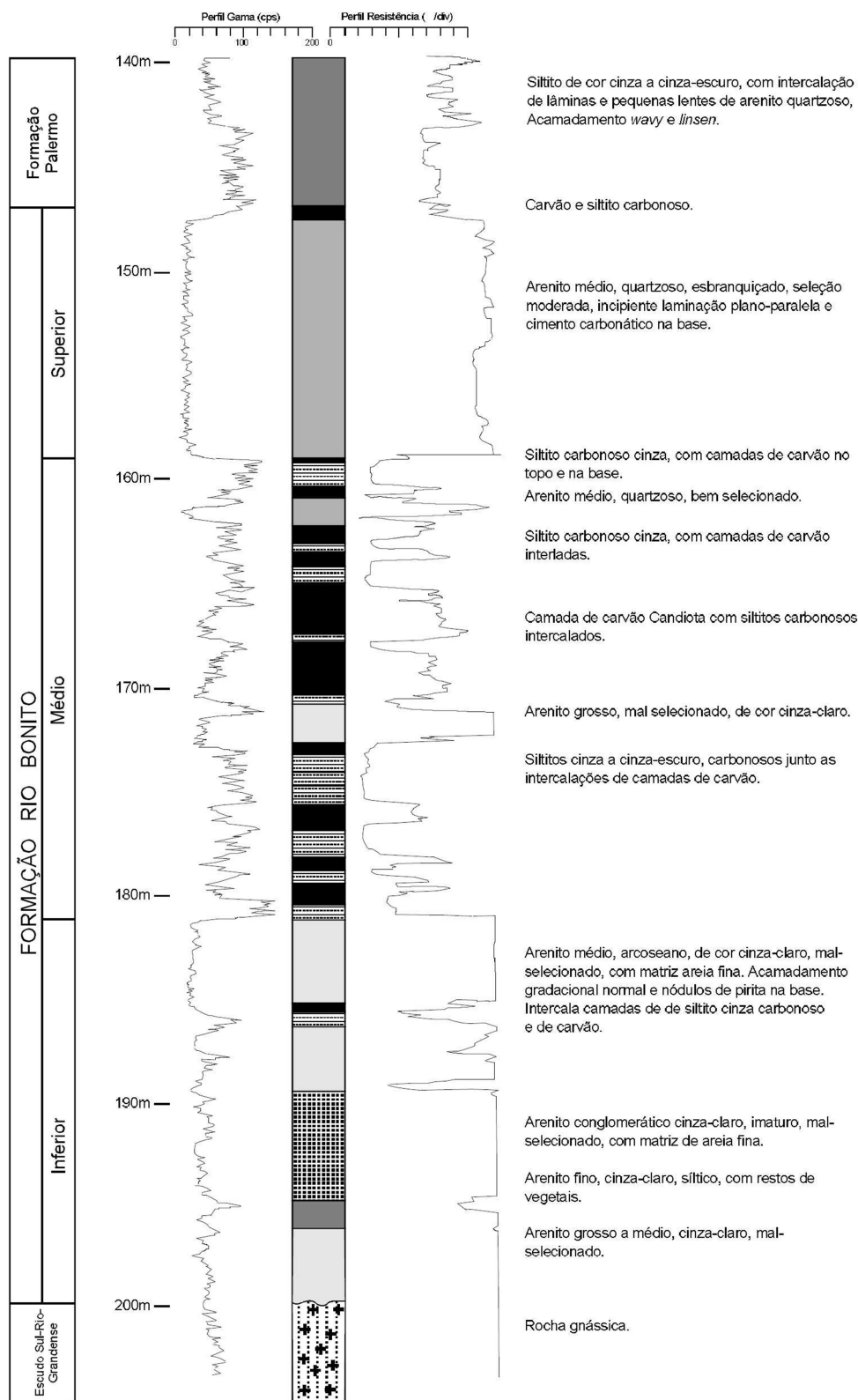


Figura 2. Detalhe da Formação Rio Bonito na bacia de Candiota. Sondagem SC-80-RS. (CPRM, 1999).

### 2.3 Recomposição ambiental na área de mina de Candiota

A exploração do carvão mineral pode ser subterrânea ou a céu aberto. A lavra a céu aberto consiste nas operações de remoção da cobertura de material estéril e a extração da camada de carvão descoberta. O método de lavra mais frequentemente utilizado no Brasil pode ser classificado de mineração em tiras “*Strip Mining*”, com variações que dependem das diferentes maneiras de decapeamento em função do equipamento utilizado. Normalmente a cobertura e o carvão são lavrados em sequência de cortes. O estéril removido de um corte é depositado dentro do vazio do corte anterior. As máquinas utilizadas no decapeamento na mina de Candiota são escavadeiras do tipo “*Dragline*” (NUNES, 2002; BITENCOURT et al., 2015).

Entretanto, os diferentes processos de lavra utilizados pelas empresas mineradoras, aliados às dificuldades na fiscalização, conduzem na prática a deficiências no processo de construção, resultando normalmente na contaminação das camadas superficiais e subsuperficiais do solo construído com os resíduos do carvão (CAMPOS et. al, 2003; BITENCOURT et al., 2015).

A degradação ambiental provocada por todas as etapas envolvidas na extração de carvão, atua negativamente na qualidade do meio ambiente sob diversos aspectos. Os recursos hídricos, o solo, o subsolo e a qualidade do ar sofrem influência direta destas atividades, podendo contribuir para o desaparecimento da fauna e flora dos ecossistemas (BORTOT & ZIM-ALEXANDRE, 1995).

Em Candiota, a mineração ocorre a céu aberto, onde são retirados os horizontes (A, B e C) do solo e camadas geológicas (arenito, folhelho e siltitos), seguido das camadas de carvão que estão localizadas em profundidades entre 10 e 25m da superfície do solo. Para que se tenha um melhor entendimento de como a mineração de carvão a céu aberto é realizada na mina de Candiota, e como o solo é posteriormente construído, apresenta-se a seguir as principais etapas envolvidas neste processo: a) Remoção dos horizontes A, B e/ou C do solo original (Figura 3a), b) Remoção das rochas através de escavadeira de alta capacidade (*dragline*) e extração dos bancos de carvão (Figura 3b); c) Na cava aberta pela extração do carvão depositam-se os estéreis ou *spoils* (mistura de rochas e carvão não aproveitados) (Figura 3c), que são aplainados por tratores de esteira durante a recomposição topográfica da área. d) Finalizando a recomposição topográfica da

área, deposita-se uma camada de solo (horizonte A e/ou B), denominada de “terra vegetal” pelos técnicos da mineração, retirada anteriormente à lavra do carvão, originando assim o “solo construído” (Figura 3d). A concepção de “solo construído” é a de solo formado por materiais e procedimentos determinados pela ação humana onde tais solos são fundamentalmente antropogênicos (KÄMPF et. al., 1997).



Figura 3. Etapas da mineração do carvão e recomposição topográfica da Mina de Candiotá/RS

Assim, em função da utilização da “dragline” na mina de Candiotá, resulta um perfil de solo construído formado por uma camada de solo, preferencialmente do horizonte A (solo superficial - “topsoil”), denominado no jargão técnico da mina de “terra vegetal”, com 30-40cm de espessura, recobrindo uma camada de estéril composta por uma mistura heterogênea de litologias e de saprolitos com graus de intemperização variados (Nunes, 2002). Mais recentemente, por vezes, é colocado entre o “topsoil” e a camada de estéril, uma camada de horizonte B e/ou BC (argila vermelha, no jargão técnico da mina), com 40-50cm de espessura (Silva, 2012; Bitencourt, 2014).



## 2.4 Exploração de carvão e a drenagem ácida de mina (DAM)

A presença de sulfetos no carvão e litologias associadas gera aquele que é considerado o principal problema ambiental nas áreas mineradas de carvão, a drenagem ácida de minas (PINTO & KÄMPF, 2002). O mineral pirita ( $\text{FeS}_2$ ), encontrado no carvão, linhito e outras rochas sedimentares, é um mineral estável desde que não entre em contato com o ar e água (KONTOPOULOS, 1998). A pirita nos carvões é formada a partir do processo de sulfidização (Figura 4), onde sulfetos são formados em solos e sedimentos costeiros, em função da influência da água do mar, rica em enxofre que entra em contato com solos de mangue e com os sedimentos submersos pela ação das ondas e das marés. As bactérias desse ambiente anaeróbico (saturado com água), reduzem o enxofre do sulfato para sulfeto, utilizando-o como receptor de elétrons durante a oxidação da matéria orgânica. O ferro reduzido combina com o enxofre precipitando como sulfeto ferroso (pirita) (EVANGELOU, 1995).

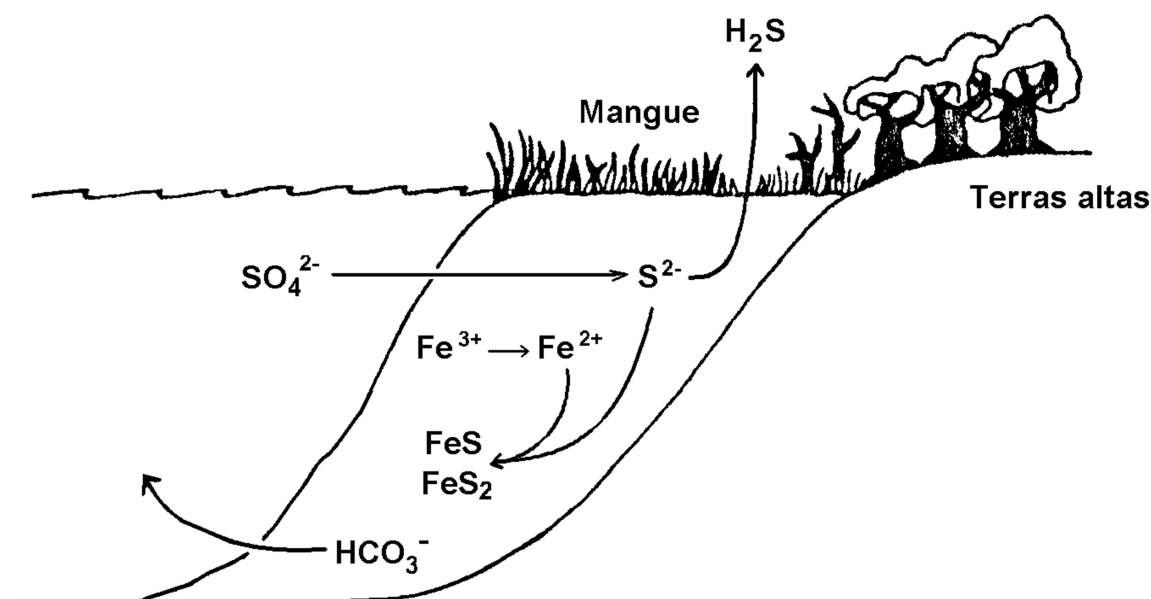
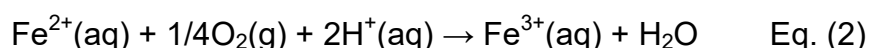
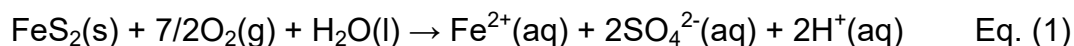


Figura 4. Processo de sulfidização (Fanning & Fanning, 1989).

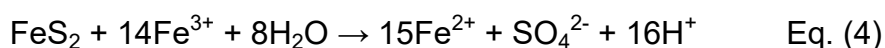
A exposição dessas rochas e sedimentos a uma condição oxidante provoca uma reação contrária, originando um processo pedogenético chamado de sulfurização, onde os materiais contendo sulfetos são oxidados formando ácido sulfúrico (Eq. 1), minerais são intemperizados pelo ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) produzido e novas fases minerais são formadas pelos produtos da dissolução. Nesse

processo, são reconhecidos três estágios: Pré-sulfurização (estágio onde a oxidação dos materiais sulfídricos está inibida pelo ambiente redutor, com saturação contínua de água, e o pH pode ser neutro ou alcalino); Sulfurização ativa (estágio em que os materiais sulfídricos estão sofrendo oxidação, minerais estão sendo decompostos pelo ácido sulfúrico e novos minerais estão sendo formados pelos produtos da reação na ausência de carbonatos e o pH pode ser  $< 3,5$ , com formação de jarosita (sulfato de ferro e potássio); Pós-sulfurização (estágio em que os sulfetos estão completamente oxidados, o pH é normalmente  $> 4$ , a presença de jarosita ou outros sulfatos e cores com cromas altos (óxidos de ferro) evidenciam que o material sofreu sulfurização). Esse processo desencadeia a acidificação das águas e a dissolução de metais, gerando o processo conhecido como drenagem ácida de mina (FANNING; FANNING, 1989).

A oxidação da pirita é um processo complexo que inclui diversas reações de oxidação-redução, hidrólise, catálise, formação de íons complexos, controle por solubilidade e efeitos cinéticos (NORDSTROM, 1982). A descrição geral do processo é dada pelas seguintes equações:



O íon ferroso gerado na reação (Eq. 1) pode ser oxidado ao estado férrico (Eq. 2) que se hidrolisa gerando mais acidez (Eq. 3). Essa dá origem, conforme proposto por Singer & Stumm (1970) a uma fase catalítica de propagação a pH baixo, onde a oxidação seria realizada pelo próprio  $\text{Fe}^{+3}$  (reação 4), que é solúvel a  $\text{pH} < 4$ .



As bactérias, *Thiobacillus ferrooxidans*, catalisam a reação de oxidação da Eq.2, que é lenta a pH baixo (NORDSTROM, 1982). Os hidróxidos ferrosos e férricos, associados na reação química (Equação 2), dão a cor vermelha alaranjada que é característica da drenagem ácida de mina e pode ser observada geralmente nos corpos d'água das áreas de mineração de carvão. Uma vez que os produtos da oxidação estão na solução, a etapa que determina a reação ácida é a oxidação do íon ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ao íon férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Os produtos solúveis da oxidação da pirita são removidos pela água; conseqüentemente, na ausência de materiais alcalinos, as reações de produção de ácidos podem prosseguir por períodos indefinidos de tempo (FILION, 1990).

As características dos solos construídos após mineração de carvão, o nível de acidez, a concentração e a composição dos metais da DAM, dependem da variabilidade herdada dos materiais geológicos e dos diferentes processos construtivos, do tipo e quantidade de sulfetos e da presença ou ausência de materiais alcalinos, que podem naturalmente neutralizar essa ou parte dessa. Além de determinarem espessura e grau de compactação das camadas, bem como diferente disposição dos materiais, aos quais os processos pedogênicos irão se sobrepor (KÄMPF et al., 1997; FUNGARO & IZIDORO, 2006). Em consequência da DAM, além do risco de contaminação de fontes de água superficiais e subterrâneas com a possível destruição do *habitat* aquático, a recuperação dessas áreas se torna mais cara devido à maior dificuldade de revegetação (FUNGARO & IZIDORO, 2006).

As propriedades químicas e físicas dos solos construídos pós-mineração de carvão refletem a variabilidade herdada dos materiais geológicos, dos diferentes processos construtivos, da espessura e grau de compactação das camadas, do grau de mistura dos materiais da coluna geológica, do grau de mistura do estéril com o solo e da presença ou ausência de drenagem ácida de mina (CAMPOS et al., 2010).

A produção de ácido, resultante da oxidação da pirita, pode ser naturalmente neutralizada pela presença de carbonatos, de bases trocáveis e de silicatos presentes no solo e nos materiais estéreis (DENT, 1986), pois o carbonato de Ca e/ou Mg se destaca pela capacidade de neutralização e reatividade (SHERLOCK et al., 1995).

A bacia hidrográfica do Arroio Candiota abrange uma área de aproximadamente 1350 km<sup>2</sup>, no sudoeste do Estado, e recebe contribuições antrópicas que constituem fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos

da região (STRECK et al., 2000). Estudos realizados nos cursos d'água da região de Candiota, reportam que o pH baixo caracteriza as águas contaminadas pelos efluentes da mina, e conseqüentemente, acarreta a solubilidade de vários metais presentes no carvão (STRECK et al., 2018). Caracterização de perfis de solos construídos com diferentes idades na área de mineração de carvão de Candiota constatarem o fenômeno de geração de drenagem ácida em subsuperfície, nas camadas de estéril, em praticamente todos os perfis estudados (BITENCOURT et al., 2015)

## **2.5 Predição da geração de acidez nas áreas contaminadas por sulfetos**

Os dois principais objetivos da predição são: (1) determinar se o material vai gerar acidez e (2) prever a qualidade da drenagem com base na taxa de formação de ácido (EUA-EPA, 1994). Os principais métodos são classificados em estáticos e cinéticos (MORIN & HUTT, 1994; EUA-EPA, 1994).

Os testes estáticos buscam determinar o potencial de acidificação (PA) devido aos sulfetos e o potencial de neutralização (PN) devido aos carbonatos, não fornecendo dados sobre suas taxas de liberação. As unidades usadas para expressar ambos potenciais são em kg de  $\text{CaCO}_3$  por tonelada de material (USEPA, 1994). Vários métodos foram desenvolvidos para realizar os testes estáticos, entre estes o balanço ácido-base (Acid Base Accounting ABA, SOBEK et al. 1978; COASTECH, 1989) e o método do peróxido de hidrogênio (SOBEK et al., 1978; O'SHAY et al., 1990), são os mais usados (BRADY et al., 1994; WHITE & JEFFERS, 1994; MILLER et al., 1994; KÄMPF et al., 1997; PINTO, 1997).

Os testes cinéticos, por sua vez, tentam imitar as reações de oxidação naturais, produzindo informações sobre as taxas de oxidação dos sulfetos e indicações a respeito da qualidade das águas de drenagem, sendo geralmente conduzidos para confirmar os resultados dos testes estáticos (USEPA, 1994; PINTO, 1997). Podem também ser usados para avaliar o impacto de tratamentos e medidas de controle sobre a geração de acidez (SOARES, 1995).

### **2.5.1 Potencial de acidificação (PA) e potencial de neutralização (PN)**

O potencial de acidificação pode ser determinado através do teor total de enxofre (teste ABA), do enxofre de sulfeto (teste ABA modificado), ou ainda, através

da oxidação com peróxido de hidrogênio (métodos do Peróxido de Hidrogênio). O potencial de neutralização pode ser determinado através do consumo de ácido adicionado à amostra.

Dessa forma, é importante o conhecimento do potencial de acidificação, devido à oxidação de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e do potencial de neutralização devido à presença de carbonatos e/ou bases nas diferentes camadas que compõem a coluna geológica dessas áreas. Essa caracterização pode indicar quais os materiais geológicos pré-mineração que apresentam potencial de acidificação, permitindo a seleção dos materiais mais adequados para a composição dos solos construídos. A quantificação dos potenciais de acidificação e de neutralização também abre a possibilidade de prever a seleção e a utilização de materiais da coluna geológica que possuem potencial de neutralização (PN) para neutralizar o potencial de acidificação (PA), bem como quantificar a necessidade de materiais alcalinos (calcário, cinza e produtos de combustão de carvão – CCP's) para serem adicionados.

O'SHAY et al. (1990) realizaram uma comparação entre vários métodos de estimativa do potencial de acidificação, quantidades variáveis de pirita foram adicionadas às amostras, coletadas em áreas de mineração de linhito, de modo a criar intervalos representativos de teores de enxofre pirítico, bem como para testar o enxofre recuperado pelo método do peróxido de hidrogênio original e pelo modificado.

Esse estudo comparativo dos métodos executado por O'SHAY et al. (1990) comprovou que os outros métodos estimam um potencial de acidificação muito mais elevado que o do peróxido de hidrogênio. Como esperado, o método do enxofre total originou as maiores estimativas, em alguns casos até 4 vezes maior que as do método do peróxido de hidrogênio modificado. O método do Fe pirítico também originou estimativas muito altas, chegando mesmo a superar as do método do enxofre total, provavelmente devido a remoção incompleta do Fe férrico ou pela extração de Fe ferroso de outras fontes que não a pirita. As estimativas do método do enxofre não sulfatado foram na média próximas das do Fe pirítico e em alguns casos maior, ou seja, também altas, superando as do peróxido de hidrogênio modificado em até 2 vezes ou mais.

A comparação entre o método do peróxido de hidrogênio original e o modificado por O'SHAY et al. (1990) indicou que o método original foi de 4 a 308 vezes mais variável que o modificado e que estimou valores mais elevados de

potencial de acidificação. A recuperação do enxofre das pirritas adicionadas foi de 61 a 171% pelo método original e de 97 a 102% pelo método modificado, excluindo quatro amostras que apresentaram problemas (recuperação entre 83 e 85%), por razões expostas adiante. O'SHAY et al. (1990) explicou os valores acima de 100% do método original com base na presença de acidez residual proveniente do HCl utilizado para remoção dos carbonatos (ver seção 3.2). No método original a remoção do HCl residual é feita com água, que teria pequena capacidade de retirar a acidez retida na superfície dos colóides; a permanência dessa acidez foi sugerida pela relação que mostra que houve um aumento na diferença entre os valores estimados pelos dois métodos com o aumento na CTC (capacidade de troca de cátions) das amostras utilizadas. Para contornar esse inconveniente, O'SHAY et al. (1990) utilizaram  $\text{CaCl}_2$  1M no lugar da água para remover o HCl residual, que teria, segundo os autores, capacidade de deslocar tanto a acidez livre como a acidez trocável.

O método do peróxido de hidrogênio modificado por O'SHAY et al. (1990), entretanto, também encontrou problemas. Nas quatro amostras que mostraram recuperação insatisfatória tinham sido detectadas pequenas quantidades de carbonato remanescentes após a remoção com HCl, indicando que a remoção desses não foi eficiente e que essas quantidades então neutralizaram parte da acidez produzida. O'SHAY et al. (1990) explicaram a permanência desses carbonatos em função da baixa solubilidade da dolomita  $[(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3]$  e da siderita  $(\text{FeCO}_3)$  com o HCl 6M a frio utilizado.

Com base nas observações feitas por vários autores e no estudo de O'SHAY et al. (1990) (seção 2.6.5.1), que indicou melhores estimativas pelo método de oxidação com peróxido de hidrogênio, decidiu-se optar pelo método modificado de O'SHAY et al. (1990). Esse, no entanto, por recomendação dos próprios autores, poderia ser melhorado de modo a obter uma dissolução mais eficiente dos carbonatos.

Essa poderia ser atingida utilizando aquecimento, já que o HCl quente favorece a solubilização de carbonatos como a dolomita e a siderita. Por outro lado, aparentemente, esse método foi desenvolvido apenas para a estimativa do potencial de acidificação, não tendo sido colocada por O'SHAY et al. (1990) observação alguma a respeito da estimativa do potencial de neutralização. Sendo assim, essa estimativa deveria ser realizada separadamente. Nesse caso, procurou-se uma

maneira de adaptar o método para estimar também o potencial de neutralização a partir da etapa que envolvia a remoção dos carbonatos, já que seria necessária uma mudança para obter uma melhor dissolução dos mesmos.

No lugar de 100 ml de HCl 6M a frio para remoção dos carbonatos utilizou-se 25 ml de HCl 0,5N e aquecimento em banho maria a 50-60°C, aproveitando a solução proveniente dessa remoção, em função da normalidade mais baixa do ácido, para medir o equivalente em carbonato de Ca e estimar o potencial de neutralização, o que não era preconizado pelo método original. Desse modo, pode-se obter o potencial de neutralização a partir da mesma porção da amostra que será utilizada para a determinação do potencial de acidificação (ver detalhes do método na seção 3.2). Além disso, o aquecimento em banho maria a uma temperatura pouco elevada, poderia diminuir os riscos de dissolver outros minerais, como constatado por LAPAKKO (1994) em métodos que levam a amostra à fervura, o que geraria superestimação do potencial de neutralização.

Outra modificação introduzida na metodologia de O'SHAY et al. (1990) foi na fase da remoção da acidez, realizada por lixiviação com 300 a 400 ml de  $\text{CaCl}_2$  1M através de filtração. A primeira consideração é a respeito do volume de  $\text{CaCl}_2$  1M (300 a 400 ml) que, talvez necessário para remover a acidez devida a 100 ml de HCl 6M, seria excessivo para 25 ml de HCl 0,5N. A consideração seguinte é a respeito da filtração, que nos testes realizados mostrou-se muito demorada, mesmo com sucção vácuo. Para diminuir o tempo necessário e simplificar o procedimento, no lugar da filtração utilizou-se a lavagem com dois volumes de 25 ml de  $\text{CaCl}_2$  1M nos mesmos tubos de centrífuga utilizados para o aquecimento em banho maria com HCl 0,5N, com agitação e centrifugação, acrescentando o sobrenadante ao volume proveniente do aquecimento com HCl 0,5N. Com isso, o volume titulado para a estimativa do potencial de neutralização é de aproximadamente 75 ml (25 ml originais da remoção dos carbonatos com HCl 0,5N mais 50 ml da remoção da acidez residual com  $\text{CaCl}_2$  1M). Os resultados do procedimento, após as modificações, mostraram-se satisfatórios, tanto na simplicidade como na rapidez de execução.

Para a etapa seguinte, a determinação do potencial de acidificação, planejou-se seguir a metodologia de O'SHAY et al. (1990) sem modificações. Os testes iniciais, porém, geraram estimativas completamente insatisfatórias, com valores muito elevados. O teste do peróxido de hidrogênio utilizado (da marca Synth)

revelou uma acidez muito elevada, que tem por origem o ácido sulfúrico adicionado como estabilizante. O teste com peróxidos de hidrogênio de outras marcas disponíveis no comércio apontou o Peridrol, fabricado pela Merck, como único peróxido livre de acidez excessiva. Com a utilização desse peróxido, seguindo praticamente todo procedimento de O'SHAY et al. (1990) para essa etapa, chegou-se a estimativas melhores.



### **3 Hipóteses**

A caracterização dos materiais das colunas geológicas de sondagens representativas de áreas pré-mineradas permite prever a qualidade do solo construído das áreas pós-mineradas.

A quantificação dos potenciais de acidificação (PA) e de neutralização (PN) possibilita a seleção e a utilização de materiais da coluna geológica que possuem PN para neutralizar o PA, bem como quantificar a necessidade de materiais alcalinos (calcário, cinza e produtos de combustão de carvão – CCP's) para correção da acidez.

### **4 Objetivos**

#### **4.1 Objetivo Geral**

Estimar a provável composição do solo construído e a predisposição desse em gerar DAM através da caracterização química dos materiais da coluna geológica e da estimativa do potencial que eles possuem para liberar acidez nos solos e águas superficiais e subsuperficiais na área pós-minerada, permitindo um melhor planejamento do controle ambiental das áreas que virão a ser mineradas na mina de carvão do município de Candiota (RS), de forma a fornecer subsídios para prevenir/mitigar a geração de drenagem ácida nas áreas futuras.

#### **4.2 Objetivos específicos**

Determinar a mineralogia e as propriedades químicas dos materiais da coluna geológica de seis sondagens de áreas que serão futuramente mineradas;

Determinar o potencial de acidificação devido à sulfetos (PA) e o potencial de neutralização (PN) em quatro sondagens representativas da coluna geológica nas malhas MIII, MIV, MVIII e MXII da área de mineração de carvão do município de Candiota/RS.

## 5 Material e Métodos

### 5.1 Localização da área de estudo

O trabalho foi realizado na área da jazida de carvão da Companhia Rio-grandense de mineração (CRM) no município de Candiota-RS (Figura 5).

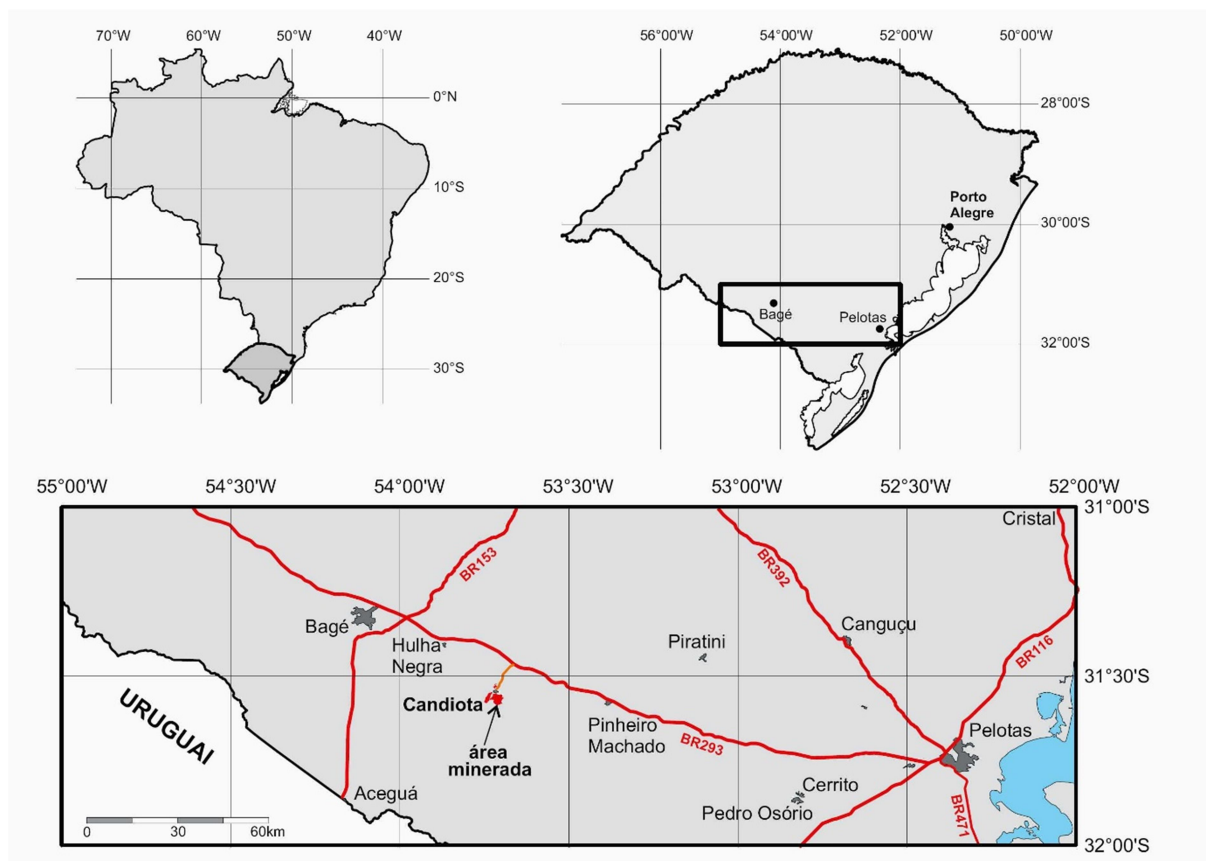


Figura 5 – Localização da área de mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração, Candiota/RS.

### 5.2 Coleta de amostra

Foram identificados e selecionados para caracterização os principais materiais geológicos presentes em seis furos de sondagens da coluna geológica, representativos das áreas das malhas de mineração (Figura 6), MIV (F-435) (Figura 7), MVII (F-344) (Figura 8), MVIII (F-530) (Figura 9), MXII (MXII-06) (Figura 10), MIII (MIII-29) (Figura 11) e MXIII (F-377) (Figura 12), que serão mineradas nos próximos anos pela Companhia Riograndense de Mineração.

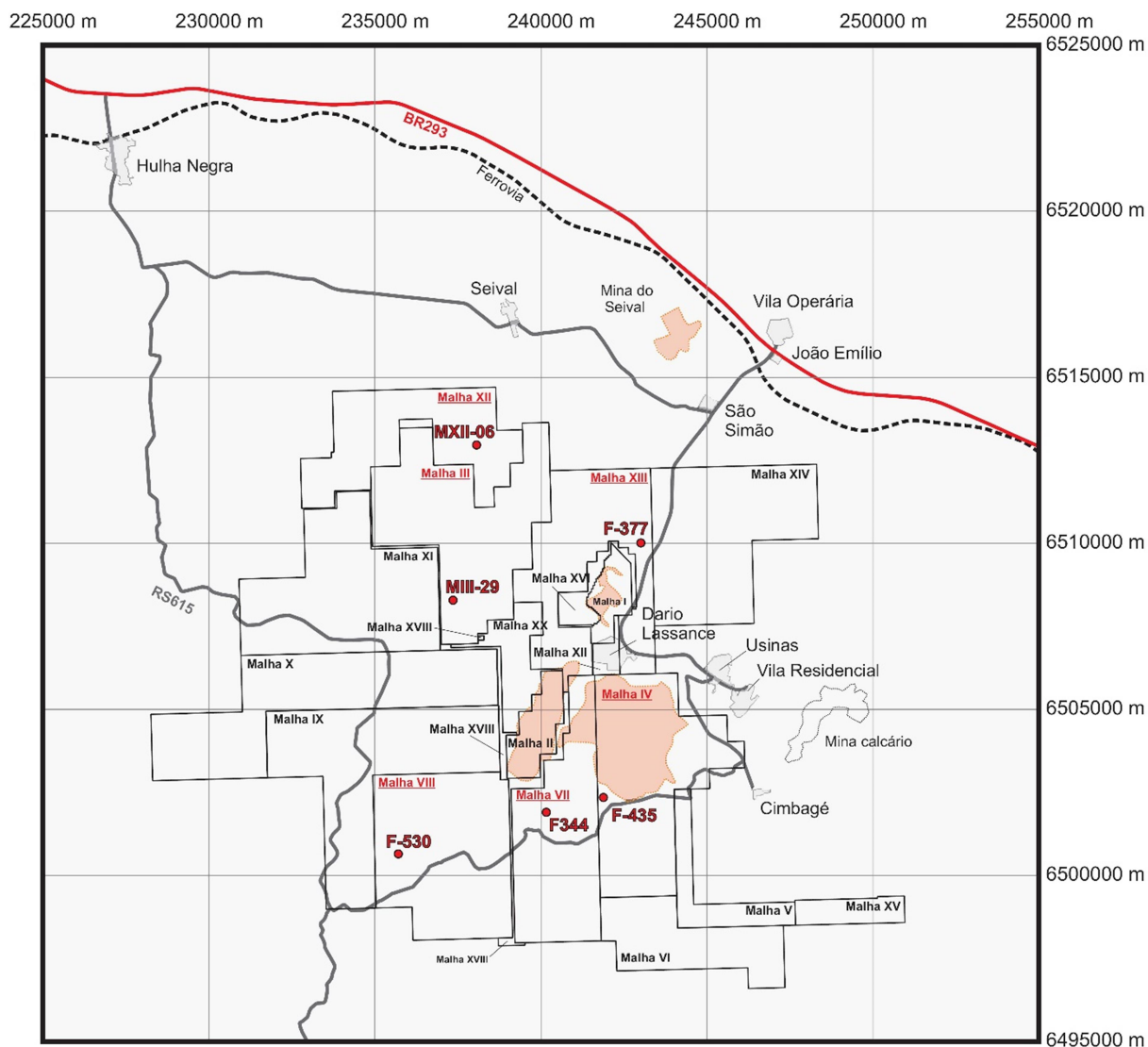


Figura 6 – Localização das malhas de mineração da Companhia Riograndense de Mineração de Candiota/RS.

Furo: F-435  
Malha: IV

Coordenadas (UTM)  
241881E; 6502337N

Cota: 213,77m

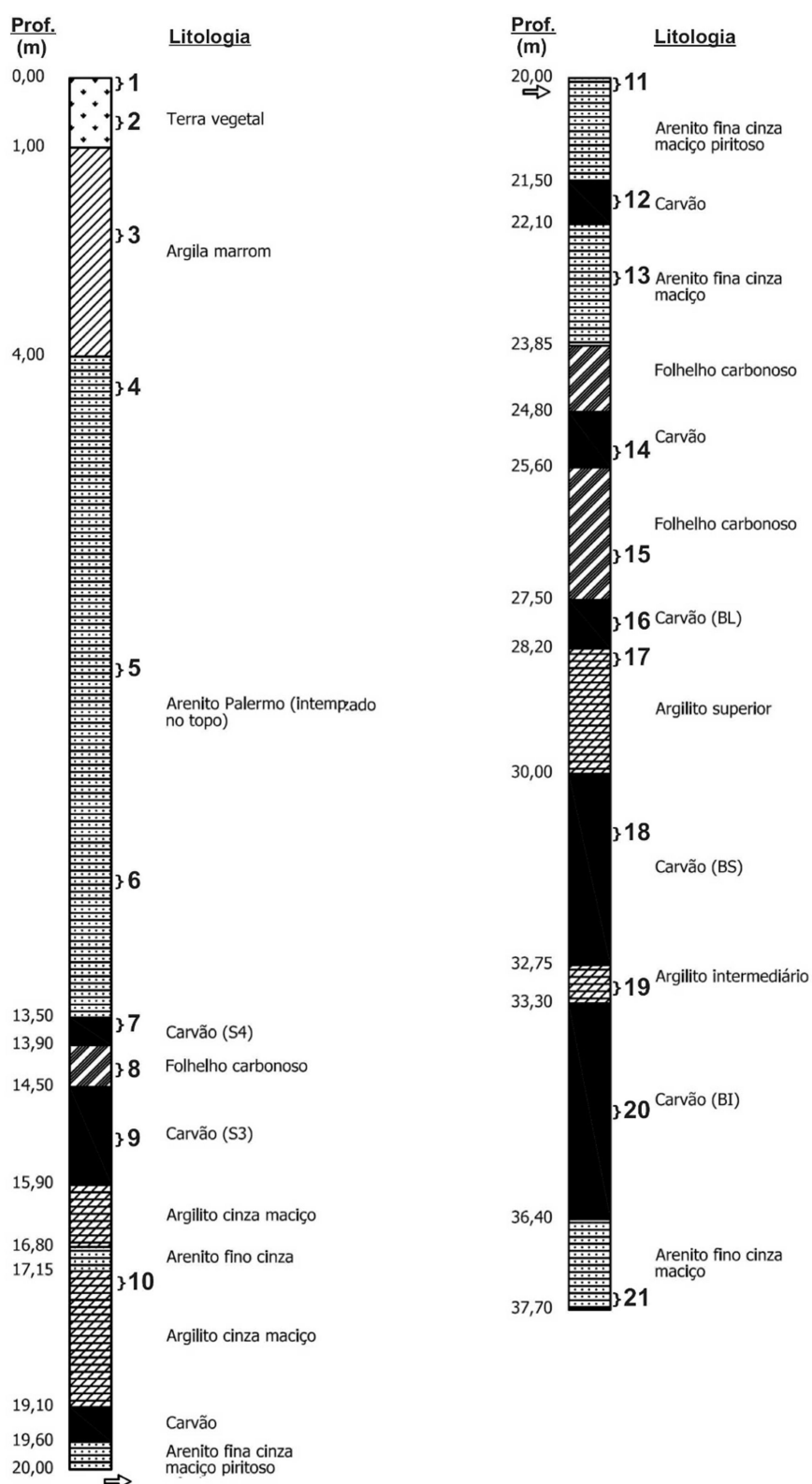


Figura 7 – Caracterização litológica do furo de sondagem F435 (MIV) e localização das amostras selecionadas (1 a 21).

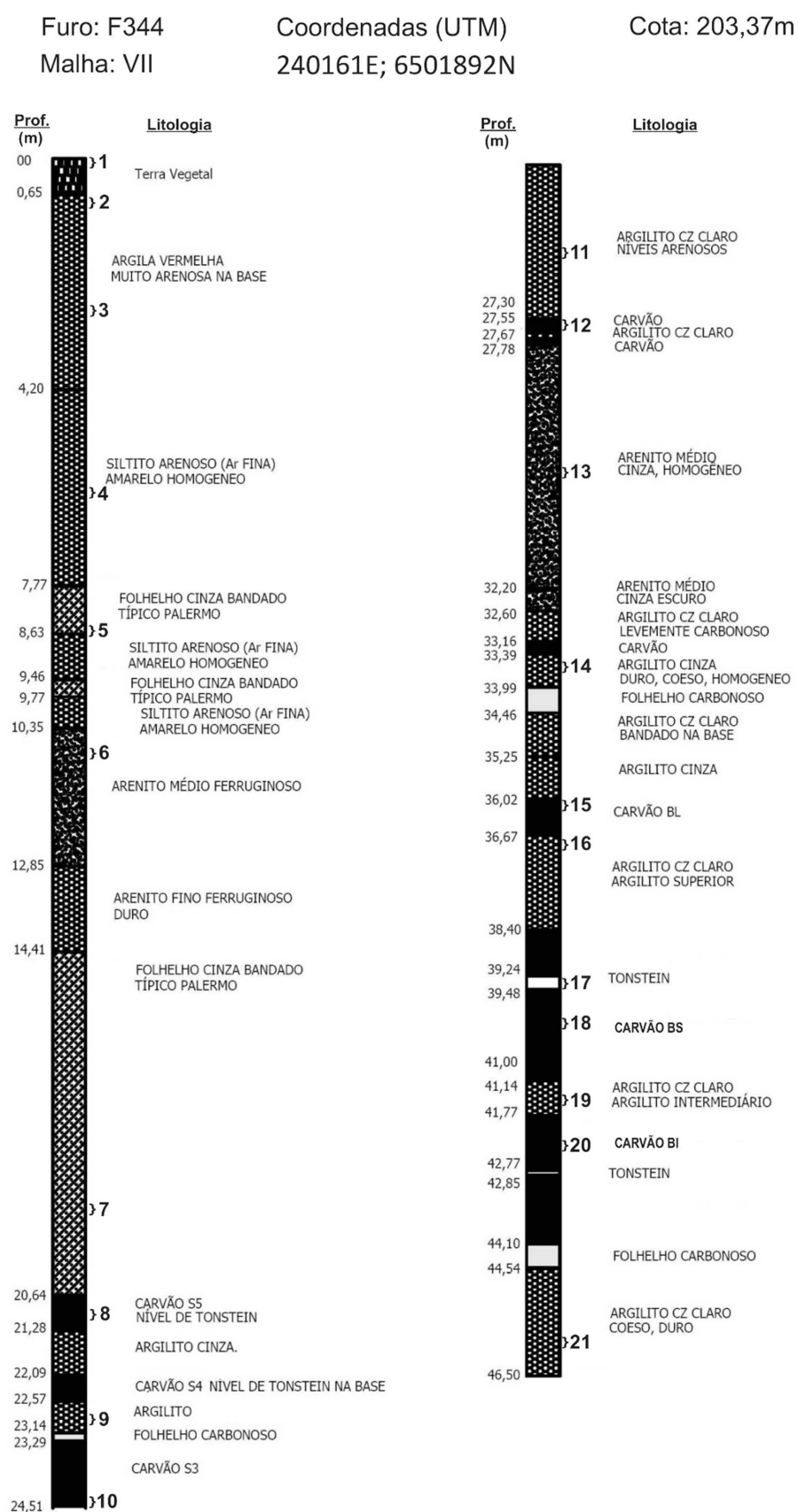


Figura 8 – Caracterização litológica do furo de sondagem F344 (MVII) e localização das amostras selecionadas (1 a 21).

Furo: F-530  
Malha: VIII

Coordenadas (UTM)  
241881E; 6502337N

Cota: 213,77m

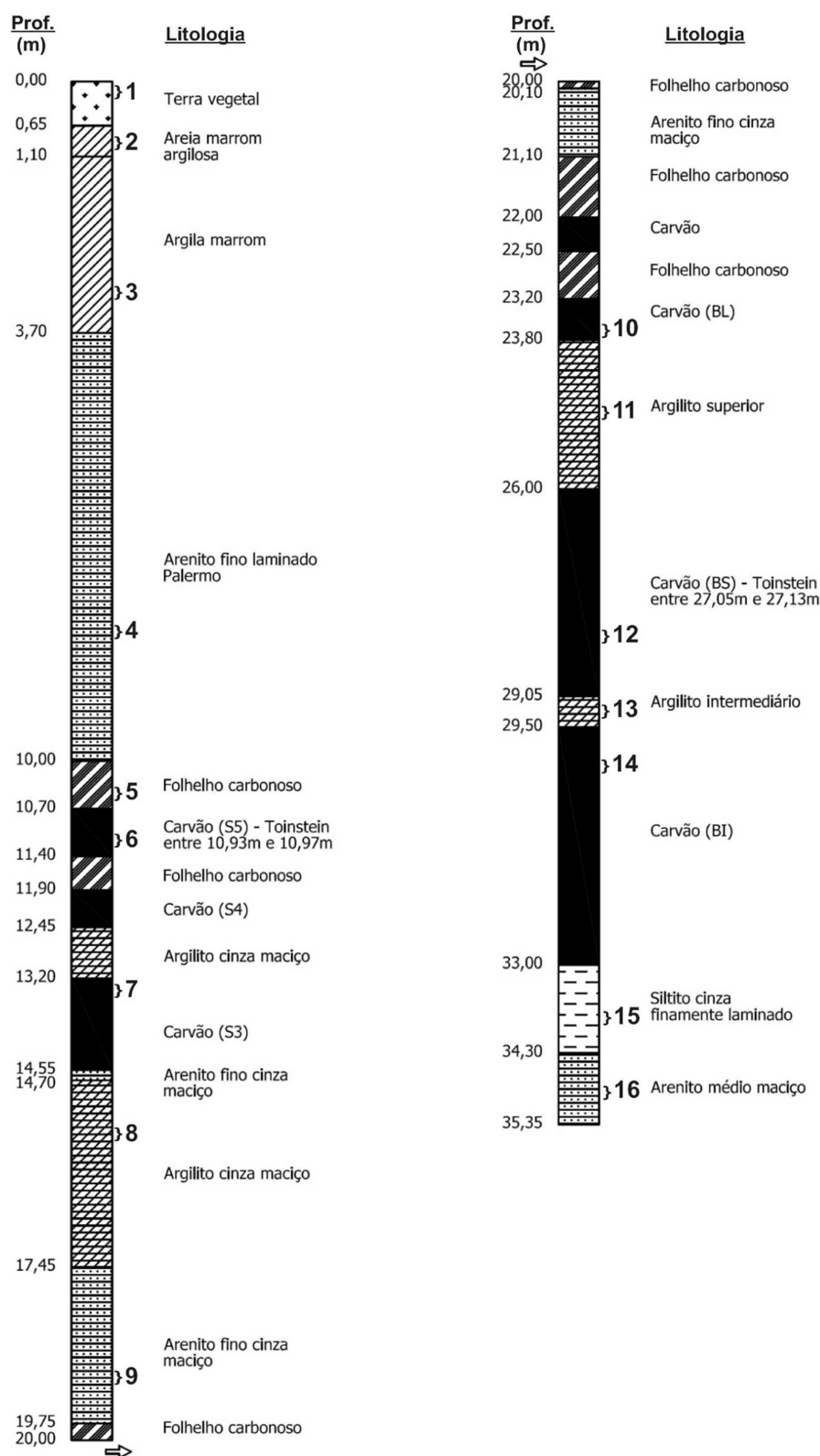


Figura 9 – Caracterização litológica do furo de sondagem F530 (MVIII) e localização das amostras selecionadas (1 a 16).

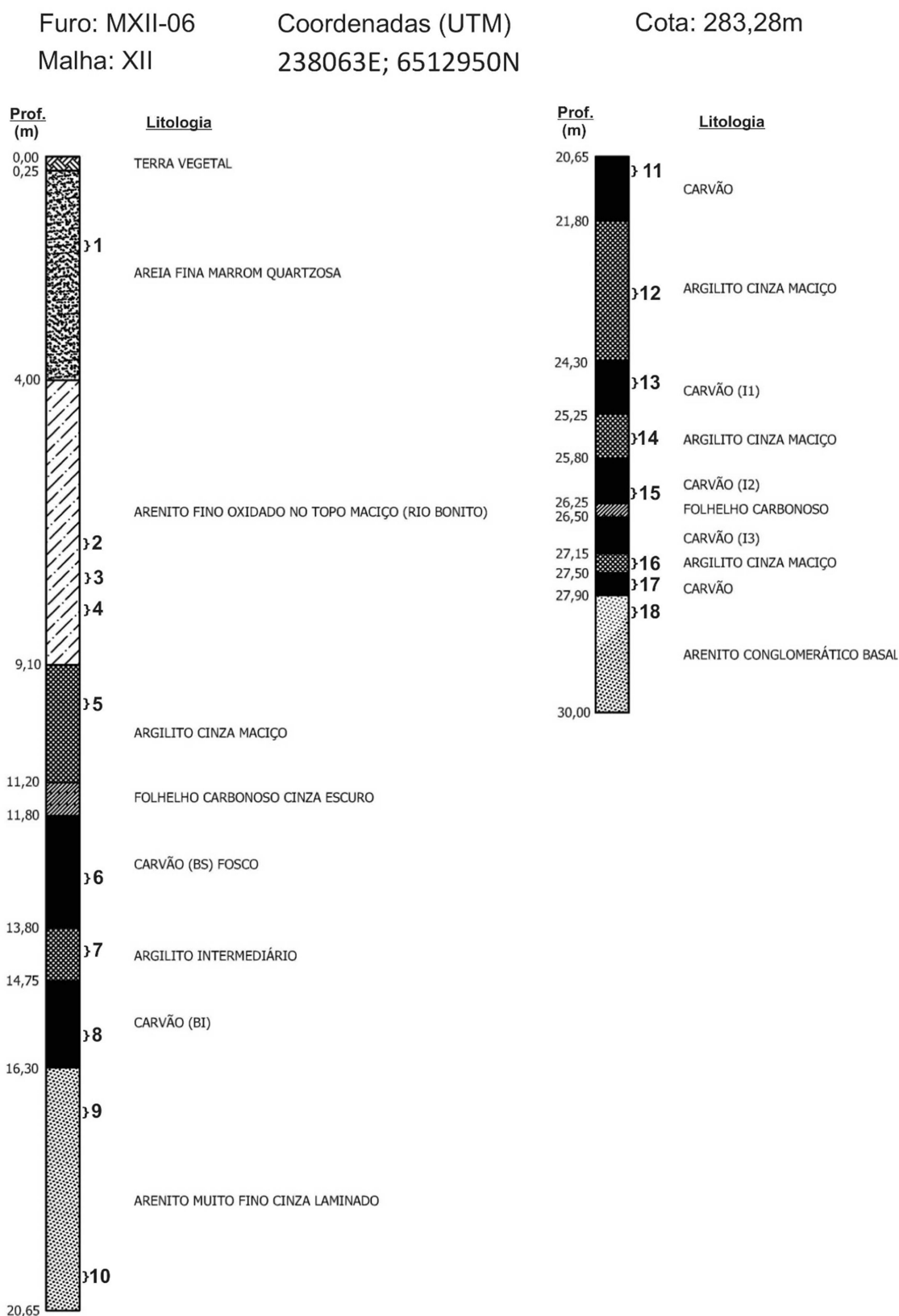


Figura 10 – Caracterização litológica do furo de sondagem MXII-06 e localização das amostras selecionadas (1 a 18).

Furo: MIII-29  
Malha: III

Coordenadas (UTM)  
237951 E; 6508277 N

Cota: 223,45 m

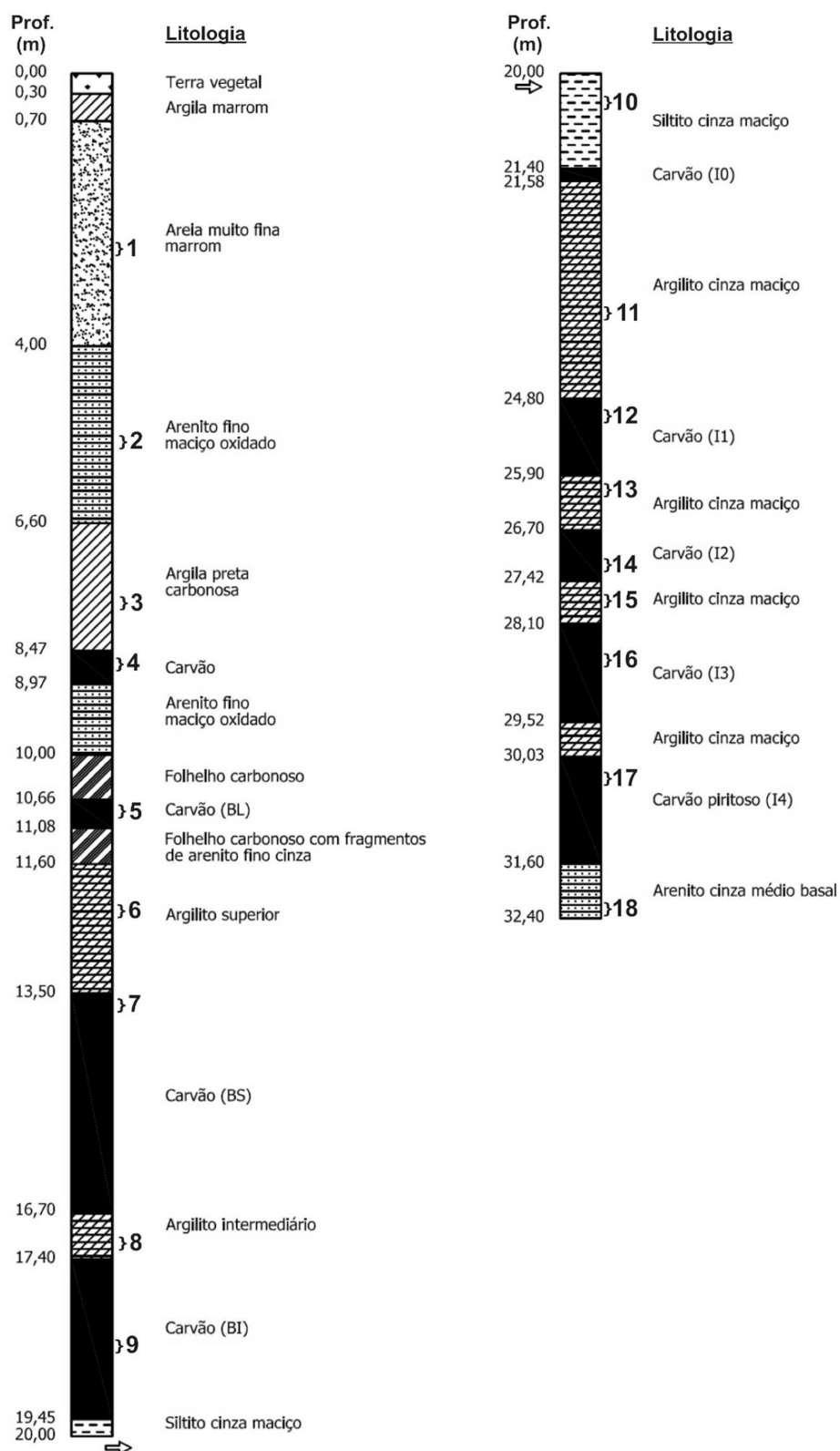


Figura 11 – Caracterização litológica do furo de sondagem MIII-29 e localização das amostras selecionadas (1 a 18).



Furo: F377  
Malha: XIII

Coordenadas (UTM)  
243009; 6510004N

Cota: 241,13m

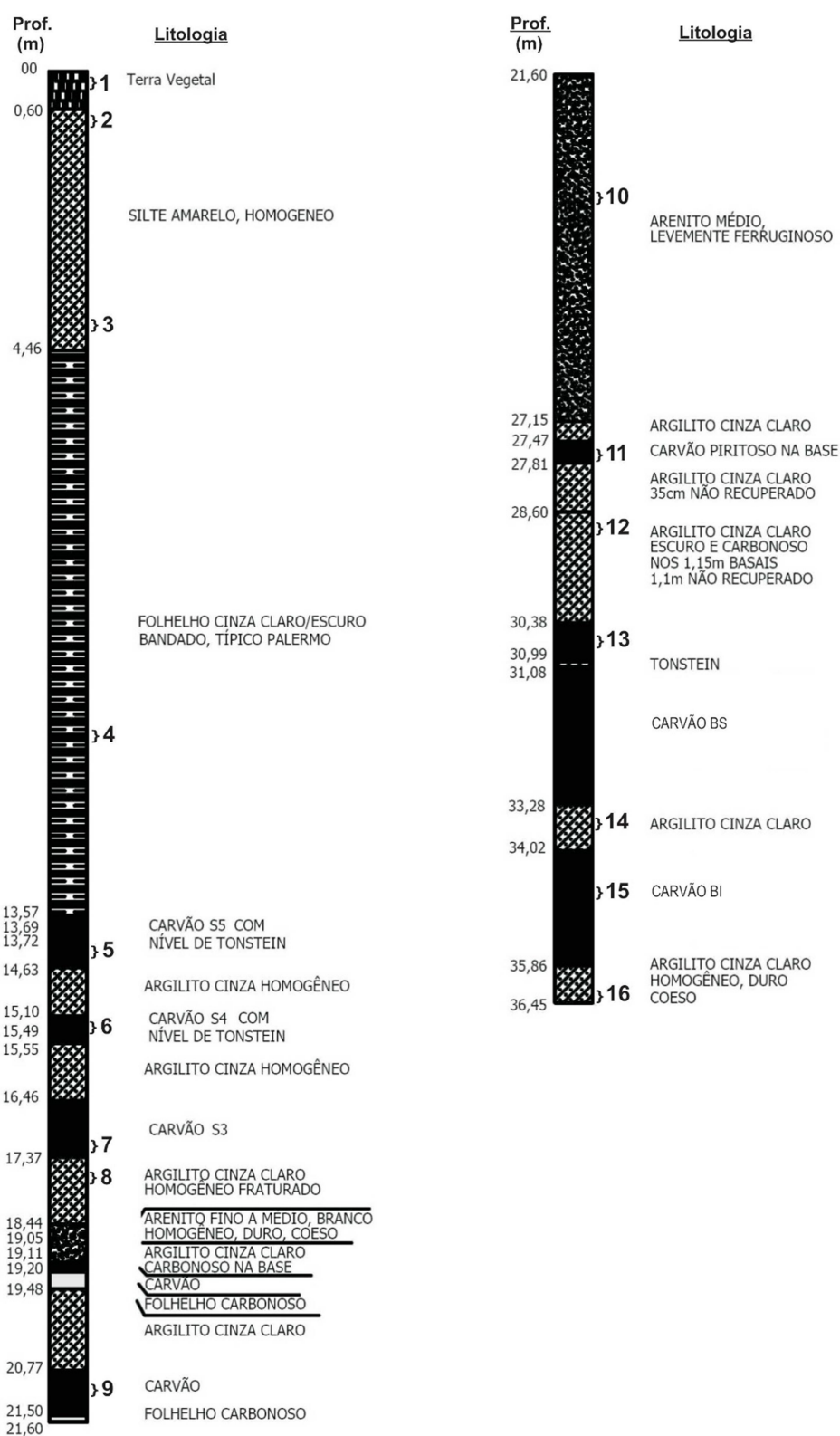


Figura 12 – Caracterização litológica do furo de sondagem F377 (MXIII) e localização das amostras selecionadas (1 a 16).

### 5.3 Preparo das amostras

As amostras de solos de cada uma das camadas da coluna geológica foram moídas manualmente com rolo de madeira segundo o método de preparo de amostras (Embrapa, 2011) enquanto as demais amostras em um moinho pulverizador de discos, todas amostras foram passadas em peneiras com malha de 2mm e armazenadas individualmente. Os materiais das camadas abaixo do solo foram tratados como “solo” para realização das análises, pressupondo que, esses no futuro, ao serem dispostos nas pilhas de estéril, irão constituir os solos construídos.

### 5.4 Determinação química

#### 5.4.1 Caracterização básica

A caracterização básica dos materiais foi realizada conforme métodos descritos em Embrapa (2011) para análises químicas de: a) pH em água; b) pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01M; c) cátions trocáveis (Ca, Mg e Al com solução de  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e K e Na com solução Mehlich-1); d) acidez potencial (H + Al) com acetato de cálcio 0,5M a pH 7.

#### 5.4.2 Caracterização dos potenciais de acidificação e neutralização

Para estimativa do PA e do PN foi utilizado o método do peróxido de hidrogênio de O'SHAY et al. (1990) e adaptado por Pinto (1997) para determinação do PN a partir da mesma amostra utilizada para determinação do PA. Essas modificações utilizaram uma dissolução menos ácida e mais eficiente dos carbonatos, que são removidos com  $\text{HCl}$  0,5M ao invés de 6M, permitindo a determinação do PN por titulação com  $\text{NaOH}$  do sobrenadante.

### 5.5 Determinação mineralógica

A análise mineralógica foi feita pelo método de difratometria de RX (DRX) da amostra total na forma de pó. A análise de difração de raios-X foi realizada no Laboratório de Difratometria da Universidade Federal do Rio Grande do Sul utilizando um difratômetro modelo Bruker D2 Phaser, equipado com um banco de dados de padrões de difração para tratamento dos resultados. A interpretação foi feita com base no espaçamento interplanar, por meio das chaves de Brindley e Brown (1980).

## 6 Resultados e Discussão

### 6.1 Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos

As características químicas dos materiais da coluna geológica estudada são apresentados nas tabelas 1 a 6.

Os dados da sondagem F435 (Tabela 1 – Malha IV) e F344 (Tabela 2 – Malha VII), representativos da área que será minerada nos próximos anos (Figura 1), indicam que nas camadas de 30-40m de estéril acima das camadas de carvão Candiota (BS e BI) há um pacote de litologias da Formação Palermo de 13 a 19m de espessura com reações neutras a alcalinas e outro do Rio Bonito superior entre as camadas de carvão S2 e S5 de 7 a 11m de espessura com reações fortemente ácidas ( $\text{pH} < 4$ ), além do carvão BL. O restante, composto principalmente pelo folhelho carbonoso acima do carvão BL e pelo argilito superior, também é de reação neutra a alcalina.

No caso da sondagem F530, da malha VIII, que deverá ser minerada nas próximas décadas em continuidade às malhas IV e VII (Figura 6), a situação geológica continua semelhante, com cobertura de litologias da Formação Palermo, de reação neutra a alcalina; porém, no pacote do Rio Bonito superior que contém as camadas de carvão S3 a S5, há um argilito com reação alcalina, sem contar que a camada de carvão S5 não possui uma reação fortemente ácida ( $\text{pH} 5,3$ ) (Tabela 3). O carvão BL, da mesma forma, também não demonstra uma reação tão ácida ( $\text{pH} 5,4$ ). Assim, esses dados indicam que, nessa malha, o perfil do solo construído deverá apresentar, pelo menos em um primeiro momento, uma menor acidificação em relação às malhas anteriores.

Em relação a novas frentes de mineração, ao norte da área de concessão (Figura 6), tem-se uma situação geológica diversa nas malhas XII e III, mostrada nas sondagens MXII-06 (Tabela 4) e MIII-29 (Tabela 5), onde não há cobertura com litologias da Formação Palermo, atingindo-se as camadas Candiota (carvão BS e BI) a uma menor profundidade (12-14m). Os estéreis que irão compor o perfil do solo construído, dessa forma, serão predominantemente de reação fortemente ácida (Tabelas 3 e 4). No caso, se forem minerados os carvões inferiores à camada Candiota (Carvões I1 a I4), as litologias entre essas camadas de carvão serão de reação ácida na malha XII (Tabela 4) e menos ácida na malha III (Tabela 5).

Tabela 1 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID* | Prof.<br>m | Litologia              | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | Ca    | Mg   | K    | Na   | S                                  | Al    | H     | CTC   | V     | Al    | P                   |
|-----|------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------|------|------|------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
|     |            |                        |                     |                      |       |      |      |      | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |       |       |       | %     |       | mg kg <sup>-1</sup> |
| 1   | 0,0-0,2    | Horizonte A            | 5,00                | 4,33                 | 2,87  | 0,61 | 0,20 | 0,15 | 3,83                               | 0,84  | 4,92  | 9,58  | 39,94 | 17,93 | 2,05                |
| 2   | 0,6-0,7    | Horizonte B            | 6,96                | 5,84                 | 7,45  | 1,64 | 0,15 | 0,01 | 9,26                               | 0,00  | 1,18  | 10,44 | 88,69 | 0,00  | 0,37                |
| 3   | 2,2-2,4    | Horizonte C            | 5,84                | 4,50                 | 10,33 | 3,06 | 0,18 | 0,01 | 13,58                              | 0,98  | 1,30  | 15,87 | 85,59 | 6,75  | 0,22                |
| 4   | 4,4-4,6    | Arenito intemperizado  | 6,24                | 5,24                 | 3,57  | 1,19 | 0,16 | 0,07 | 5,00                               | 0,10  | 0,57  | 5,66  | 88,27 | 1,93  | 10,16               |
| 5   | 8,5-8,6    | Palermo intemperizado  | 6,32                | 5,26                 | 3,19  | 1,25 | 0,14 | 0,09 | 4,68                               | 0,05  | 0,62  | 5,34  | 87,56 | 1,04  | 0,80                |
| 6   | 11,5-11,7  | Palermo são bioturbado | 6,46                | 6,25                 | 3,84  | 1,77 | 0,23 | 0,13 | 5,98                               | 0,05  | 2,31  | 8,34  | 71,67 | 0,82  | 18,06               |
| 7   | 13,5-13,7  | Carvão S4              | 2,31                | 2,21                 | 9,74  | 5,32 | 0,06 | 0,01 | 15,13                              | 12,69 | 18,03 | 45,85 | 33,01 | 45,61 | 1,24                |
| 8   | 14,2-14,3  | Folhelho carbonoso     | 3,03                | 2,90                 | 14,01 | 6,25 | 0,37 | 0,34 | 20,98                              | 5,77  | 5,91  | 32,66 | 64,23 | 21,57 | 0,95                |
| 9   | 15,2-15,3  | Carvão S3              | 2,10                | 1,78                 | 11,79 | 6,30 | 0,05 | 0,01 | 18,16                              | 61,14 | 15,00 | 94,29 | 19,26 | 77,10 | 0,51                |
| 10  | 17-17,1    | Argilito superior      | 2,85                | 2,70                 | 9,86  | 5,44 | 0,27 | 0,26 | 15,82                              | 2,31  | 5,05  | 23,17 | 68,26 | 12,73 | 1,02                |
| 11  | 20,0-20,2  | Arenito fino piritoso  | 2,84                | 2,75                 | 0,38  | 0,23 | 0,16 | 0,03 | 0,81                               | 10,38 | 5,62  | 16,81 | 4,80  | 92,79 | 1,17                |
| 12  | 21,7-21,8  | Carvão                 | 2,03                | 2,17                 | 7,62  | 2,84 | 0,15 | 0,11 | 10,71                              | 13,84 | 14,28 | 38,83 | 27,59 | 56,37 | 0,15                |
| 13  | 22,8-22,9  | Arenito fino maciço    | 4,12                | 3,87                 | 0,24  | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,35                               | 3,46  | 0,00  | 3,81  | 9,17  | 90,83 | 0,51                |
| 14  | 25,3-25,4  | Carvão S2              | 2,70                | 2,66                 | 10,85 | 2,94 | 0,17 | 0,17 | 14,12                              | 3,46  | 15,14 | 32,72 | 43,15 | 19,68 | 0,44                |
| 15  | 26,9-27    | Folhelho carbonoso     | 5,39                | 5,05                 | 10,04 | 2,87 | 0,35 | 0,25 | 13,52                              | 1,15  | 2,09  | 16,77 | 80,63 | 7,86  | 25,23               |
| 16  | 27,8-28    | Carvão BL              | 5,56                | 5,21                 | 10,01 | 2,75 | 0,16 | 0,30 | 13,21                              | 0,58  | 10,64 | 24,43 | 54,08 | 4,18  | 3,44                |
| 17  | 28,2-28,3  | Argilito superior      | 7,34                | 7,03                 | 13,90 | 5,33 | 0,42 | 0,26 | 19,91                              | 0,58  | 0,00  | 20,49 | 97,18 | 2,82  | 2,41                |
| 18  | 30,8-30,9  | Carvão BS              | 5,92                | 5,51                 | 12,90 | 3,76 | 0,32 | 0,40 | 17,38                              | 1,73  | 5,62  | 24,74 | 70,27 | 9,05  | 4,39                |
| 19  | 33,0-33,1  | Argilito intermediário | 7,61                | 7,31                 | 16,34 | 5,06 | 0,49 | 0,34 | 22,22                              | 1,15  | 0,00  | 23,38 | 95,07 | 4,93  | 3,95                |
| 20  | 34,8-34,9  | Carvão BI              | 4,75                | 4,52                 | 10,82 | 3,40 | 0,25 | 0,42 | 14,89                              | 6,34  | 5,34  | 26,57 | 56,04 | 29,88 | 8,77                |
| 21  | 37,5-37,7  | Arenito fino maciço    | 7,42                | 7,44                 | 9,57  | 2,28 | 0,27 | 0,18 | 12,30                              | 1,73  | 0,00  | 14,03 | 87,67 | 12,33 | 6,14                |

\*Número da identificação da amostra

Tabela 2 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F344, da malha MVII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID                                             | Prof.<br>m | Litologia                 | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | Ca    | Mg   | K    | Na   | S     | Al    | H     | CTC   | V             | Al                               | P     |
|------------------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------------|----------------------------------|-------|
| ----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----- |            |                           |                     |                      |       |      |      |      |       |       |       |       | ----- % ----- | mg <sub>l</sub> kg <sup>-1</sup> |       |
| 1                                              | 0,0-0,2    | Horizonte A               | 4,96                | 4,74                 | 4,06  | 0,96 | 0,34 | 0,08 | 5,43  | 0,53  | 6,56  | 12,52 | 43,36         | 8,94                             | 1,94  |
| 2                                              | 0,7-0,8    | Argila vermelha Hz B      | 4,92                | 4,39                 | 2,70  | 1,47 | 0,09 | 0,10 | 4,37  | 0,87  | 4,00  | 9,24  | 47,23         | 16,65                            | 0,28  |
| 3                                              | 2,7-2,8    | Argila vermelha Hz C      | 4,98                | 4,35                 | 2,35  | 1,21 | 0,11 | 0,08 | 3,75  | 0,51  | 3,04  | 7,29  | 51,37         | 11,96                            | 0,76  |
| 4                                              | 6,0-6,1    | Siltito amarelo/saprolito | 6,30                | 5,48                 | 12,58 | 7,72 | 0,15 | 0,28 | 20,73 | 0,51  | 0,82  | 22,06 | 93,97         | 2,40                             | 0,55  |
| 5                                              | 8,5-8,6    | Folhelho Palermo          | 6,38                | 5,94                 | 6,41  | 4,62 | 0,36 | 0,26 | 11,65 | 0,05  | 1,28  | 12,98 | 89,75         | 0,41                             | 0,21  |
| 6                                              | 10,7-10,8  | Arenito conglomerático    | 6,94                | 5,92                 | 0,66  | 0,30 | 0,05 | 0,05 | 1,05  | 0,00  | 0,35  | 1,40  | 75,08         | 0,00                             | 1,66  |
| 7                                              | 19-19,2    | Folhelho típico Palermo   | 7,25                | 6,83                 | 4,15  | 1,43 | 0,24 | 0,22 | 6,04  | 0,00  | 0,07  | 6,12  | 98,78         | 0,00                             | 10,52 |
| 8                                              | 20,9-21,0  | Carvão S5                 | 4,17                | 4,02                 | 14,93 | 3,58 | 0,26 | 0,57 | 19,35 | 1,85  | 5,98  | 27,18 | 71,19         | 8,73                             | 7,61  |
| 9                                              | 22,8-22,9  | Argilito                  | 3,52                | 3,47                 | 25,78 | 7,47 | 0,41 | 0,51 | 34,17 | 5,13  | 5,51  | 44,81 | 76,25         | 13,05                            | 0,97  |
| 10                                             | 24-24,2    | Carvão S3                 | 2,56                | 2,46                 | 16,53 | 4,11 | 0,14 | 0,38 | 21,16 | 12,52 | 24,28 | 57,96 | 36,50         | 37,18                            | 1,87  |
| 11                                             | 26-26,1    | Argilito cinza-claro      | 3,27                | 3,17                 | 16,52 | 7,89 | 0,47 | 0,49 | 25,37 | 2,47  | 5,95  | 33,80 | 75,07         | 8,88                             | 0,83  |
| 12                                             | 27-27,5    | Carvão                    | 3,09                | 3,02                 | 4,00  | 0,90 | 0,17 | 0,27 | 5,34  | 4,10  | 22,95 | 32,39 | 16,50         | 43,39                            | 30,04 |
| 13                                             | 30-30,1    | Arenito médio-cinza       | 5,16                | 4,58                 | 0,12  | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,26  | 0,12  | 1,21  | 1,59  | 16,11         | 32,17                            | 0,97  |
| 14                                             | 33,5-33,7  | Argilito cinza            | 5,22                | 5,01                 | 19,05 | 4,12 | 0,32 | 0,29 | 23,77 | 0,05  | 9,71  | 33,53 | 70,91         | 0,20                             | 7,96  |
| 15                                             | 36-36,2    | Carvão BL                 | 2,92                | 2,9                  | 24,34 | 5,48 | 0,33 | 0,18 | 30,33 | 9,84  | 24,30 | 64,47 | 47,04         | 24,49                            | 2,77  |
| 16                                             | 36,7-3,8   | Argilito superior         | 7,86                | 7,41                 | 17,58 | 3,54 | 0,43 | 0,37 | 21,91 | 0,05  | 0,39  | 22,36 | 98,02         | 0,22                             | 2,84  |
| 17                                             | 39,3-39,4  | Tonstein                  | 8,19                | 7,77                 | 6,35  | 0,60 | 0,12 | 0,20 | 7,28  | 0,00  | 0,00  | 7,28  | 100,00        | 0,00                             | 0,28  |
| 18                                             | 40-40,2    | Carvão BS                 | 5,76                | 5,57                 | 19,34 | 2,65 | 0,31 | 0,57 | 22,87 | 0,63  | 10,90 | 34,40 | 66,49         | 2,68                             | 5,12  |
| 19                                             | 41,4-41,5  | Argilito intermediário    | 7,64                | 7,48                 | 20,11 | 4,36 | 0,46 | 0,37 | 25,30 | 0,05  | 0,00  | 25,34 | 99,81         | 0,19                             | 3,46  |
| 20                                             | 42,2-42,4  | Carvão BI                 | 4,94                | 4,65                 | 16,23 | 3,02 | 0,26 | 0,50 | 20,01 | 0,29  | 16,56 | 36,86 | 54,29         | 1,43                             | 4,08  |
| 21                                             | 45,8-46    | Argilito cinza-claro      | 7,71                | 7,44                 | 10,41 | 2,99 | 0,32 | 0,21 | 13,93 | 0,00  | 0,00  | 13,93 | 100,00        | 0,00                             | 7,20  |

\*Número da identificação da amostra

Tabela 3 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.     | Litologia              | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | Ca                                             | Mg   | K    | Na   | S     | Al    | H    | CTC   | V             | Al    | P                                |
|----|-----------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|---------------|-------|----------------------------------|
|    | m         |                        |                     |                      | ----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |       |       |      |       | ----- % ----- |       | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> |
| 1  | 0,0-0,65  | Terra vegetal Hz A     | 6,31                | 5,52                 | 33,51                                          | 7,34 | 0,38 | 0,72 | 41,95 | 0,20  | 2,66 | 44,81 | 93,62         | 0,48  | 6,95                             |
| 2  | 0,75-0,8  | Solo horizonte C       | 7,48                | 6,55                 | 35,64                                          | 7,40 | 0,21 | 1,35 | 44,60 | 0,20  | 0,00 | 44,80 | 99,55         | 0,45  | 2,69                             |
| 3  | 3,0-3,1   | Argila - saprolito     | 7,99                | 6,73                 | 14,69                                          | 3,07 | 0,15 | 0,46 | 18,37 | 0,00  | 0,00 | 18,37 | 100,00        | 0,00  | 9,36                             |
| 4  | 8,0-8,2   | Arenito fino Palermo   | 7,95                | 7,60                 | 4,76                                           | 1,76 | 0,25 | 0,39 | 7,16  | 0,00  | 0,00 | 7,16  | 100,00        | 0,00  | 36,73                            |
| 5  | 10,0-10,5 | Folhelho carbonoso     | 2,79                | 2,33                 | 14,71                                          | 4,33 | 0,12 | 0,51 | 19,67 | 18,02 | 0,00 | 37,69 | 52,19         | 47,81 | 6,74                             |
| 6  | 11,1-11,2 | Carvão S5              | 5,32                | 4,83                 | 16,37                                          | 4,49 | 0,26 | 1,45 | 22,56 | 3,49  | 2,59 | 28,65 | 78,76         | 13,40 | 4,82                             |
| 7  | 13,3-13,4 | Carvão S3              | 3,28                | 3,29                 | 18,52                                          | 4,10 | 0,12 | 1,23 | 23,97 | 2,92  | 9,83 | 36,72 | 65,26         | 10,87 | 4,40                             |
| 8  | 15,4-15,5 | Argilito cinza maciço  | 8,16                | 7,79                 | 17,41                                          | 4,32 | 0,66 | 1,77 | 24,16 | 0,00  | 0,00 | 24,16 | 100,00        | 0,00  | 5,53                             |
| 9  | 19,0-19,2 | Arenito fino maciço    | 3,33                | 3,39                 | 0,75                                           | 0,14 | 0,02 | 0,00 | 0,92  | 0,69  | 0,00 | 1,61  | 57,02         | 42,98 | 0,50                             |
| 10 | 23,7-23,8 | Carvão BL              | 5,38                | 5,27                 | 20,78                                          | 4,42 | 0,19 | 0,57 | 25,96 | 0,12  | 4,94 | 31,02 | 83,69         | 0,47  | 8,23                             |
| 11 | 24,8-24,9 | Argilito superior      | 5,82                | 5,75                 | 22,75                                          | 6,25 | 0,49 | 0,56 | 30,05 | 0,16  | 0,35 | 30,56 | 98,32         | 0,54  | 4,40                             |
| 12 | 28,1-28,2 | Carvão BS              | 4,70                | 4,40                 | 15,15                                          | 2,97 | 0,34 | 0,66 | 19,12 | 1,58  | 5,53 | 26,24 | 72,89         | 7,65  | 2,34                             |
| 13 | 29,2-29,3 | Argilito intermediário | 4,55                | 3,91                 | 15,88                                          | 3,64 | 0,49 | 0,46 | 20,47 | 0,93  | 1,19 | 22,59 | 90,59         | 4,36  | 3,19                             |
| 14 | 30,0-30,3 | Carvão BI              | 5,75                | 5,31                 | 15,72                                          | 2,28 | 0,31 | 0,56 | 18,86 | 0,24  | 4,89 | 24,00 | 78,61         | 1,27  | 8,01                             |
| 15 | 33,7-33,8 | Siltito cinza laminado | 7,93                | 7,11                 | 8,76                                           | 1,07 | 0,15 | 0,11 | 10,10 | 0,00  | 0,00 | 10,10 | 100,00        | 0,00  | 0,50                             |
| 16 | 34,9-35   | Arenito médio maciço   | 6,64                | 6,19                 | 14,83                                          | 1,18 | 0,03 | 0,00 | 16,03 | 0,00  | 0,73 | 16,77 | 95,63         | 0,00  | 5,25                             |

\*Número da identificação da amostra

Tabela 4 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.     | Litologia                | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | Ca    | Mg   | K    | Na   | S                                  | Al    | H     | CTC    | V      | Al    | P                   |
|----|-----------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------|------|------|------|------------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------------------|
|    |           |                          |                     |                      |       |      |      |      | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |       |       |        |        |       | mg kg <sup>-1</sup> |
| m  |           |                          |                     |                      |       |      |      |      |                                    |       |       | %      |        |       |                     |
| 1  | 1,5-1,8   | Areia fina - solo Hz C   | 4,17                | 3,95                 | 0,32  | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 0,54                               | 0,00  | 1,30  | 1,83   | 29,25  | 0,00  | 0,44                |
| 2  | 6,8-6,9   | Arenito fino intemperiz. | 5,10                | 4,60                 | 0,23  | 0,07 | 0,11 | 0,00 | 0,41                               | 0,10  | 0,05  | 0,56   | 73,64  | 19,27 | 0,88                |
| 3  | 7,4-7,6   | Arenito fino cinza       | 1,88                | 1,85                 | 0,49  | 0,25 | 0,30 | 0,07 | 1,11                               | 8,19  | 54,54 | 63,83  | 1,74   | 88,09 | 11,55               |
| 4  | 8-8,2     | Arenito fino são         | 3,30                | 3,30                 | 0,38  | 0,10 | 0,08 | 0,00 | 0,56                               | 3,10  | 1,66  | 5,32   | 10,47  | 84,78 | 0,66                |
| 5  | 9,7-9,8   | Argilito cinza           | 3,84                | 3,61                 | 6,44  | 2,34 | 0,33 | 0,08 | 9,19                               | 0,98  | 1,30  | 11,48  | 80,07  | 9,67  | 1,83                |
| 6  | 12,8-13,1 | Carvão BS                | 2,18                | 2,34                 | 10,87 | 1,71 | 0,19 | 0,19 | 12,95                              | 27,31 | 7,73  | 47,99  | 26,99  | 67,83 | 0,29                |
| 7  | 14,1-14,2 | Argilito intermediário   | 2,56                | 2,46                 | 10,49 | 2,31 | 0,16 | 0,11 | 13,08                              | 7,58  | 1,51  | 22,16  | 59,00  | 36,69 | 1,46                |
| 8  | 15,6-15,7 | Carvão BI                | 4,51                | 4,14                 | 10,01 | 2,02 | 0,36 | 0,24 | 12,64                              | 0,84  | 15,47 | 28,95  | 43,66  | 6,21  | 1,90                |
| 9  | 17,0-17,2 | Arenito muito fino cinza | 6,70                | 6,42                 | 6,27  | 1,10 | 0,44 | 0,11 | 7,92                               | 0,00  | 0,00  | 7,92   | 100,00 | 0,00  | 21,35               |
| 10 | 19,9-20   | Siltito                  | 2,90                | 2,81                 | 15,53 | 2,97 | 0,17 | 0,21 | 18,87                              | 5,07  | 2,29  | 26,23  | 71,96  | 21,17 | 0,73                |
| 11 | 20,7-20,9 | Carvão I1                | 2,24                | 1,89                 | 14,22 | 5,67 | 0,07 | 0,05 | 20,01                              | 49,19 | 64,58 | 133,78 | 14,96  | 71,08 | 0,22                |
| 12 | 23,0-23,1 | Argilito cinza maciço    | 3,28                | 3,26                 | 14,77 | 3,30 | 0,27 | 0,22 | 18,56                              | 2,80  | 1,95  | 23,32  | 79,59  | 13,13 | 0,22                |
| 13 | 24,6-24,8 | Carvão I2                | 5,96                | 5,58                 | 11,95 | 4,33 | 0,33 | 0,29 | 16,90                              | 0,05  | 9,32  | 26,27  | 64,32  | 0,29  | 4,75                |
| 14 | 25,6-25,7 | Argilito cinza maciço    | 3,26                | 3,14                 | 13,63 | 2,84 | 0,24 | 0,18 | 16,90                              | 2,85  | 2,77  | 22,52  | 75,03  | 14,45 | 1,32                |
| 15 | 26,6-26,7 | Carvão I3                | 4,46                | 4,15                 | 8,60  | 1,29 | 0,34 | 0,29 | 10,52                              | 1,40  | 12,88 | 24,80  | 42,44  | 11,74 | 22,89               |
| 16 | 27,5-27,6 | Argilito cinza maciço    | 3,43                | 3,29                 | 9,03  | 1,99 | 0,46 | 0,14 | 11,63                              | 3,39  | 2,23  | 17,25  | 67,40  | 22,60 | 3,88                |
| 17 | 27,6-27,8 | Carvão I4                | 2,82                | 2,47                 | 3,25  | 0,41 | 0,11 | 0,09 | 3,85                               | 11,41 | 16,70 | 31,97  | 12,05  | 74,77 | 0,66                |
| 18 | 28,7-28,9 | Arenito conglomerático   | 4,92                | 4,59                 | 0,29  | 0,05 | 0,07 | 0,00 | 0,41                               | 0,05  | 2,11  | 2,57   | 15,92  | 10,73 | 1,10                |

\*Número da identificação da amostra





Tabela 6 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F377, da malha MXIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.     | Litologia              | pH H <sub>2</sub> O                            | pH CaCl <sub>2</sub> | Ca    | Mg   | K    | Na   | S     | Al    | H     | CTC   | V             | Al    | P                   |
|----|-----------|------------------------|------------------------------------------------|----------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|---------------------|
|    |           |                        | ----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----- |                      |       |      |      |      |       |       |       |       | ----- % ----- |       | mg kg <sup>-1</sup> |
| m  |           |                        |                                                |                      |       |      |      |      |       |       |       |       |               |       |                     |
| 1  | 0,1-0,2   | Horizonte A            | 5,83                                           | 5,30                 | 10,90 | 1,79 | 0,17 | 0,08 | 12,94 | 0,38  | 3,09  | 16,41 | 78,86         | 2,86  | 21,33               |
| 2  | 0,7-0,8   | Silte amarelo Hz B     | 5,31                                           | 4,55                 | 10,86 | 4,12 | 0,15 | 0,12 | 15,25 | 3,43  | 0,00  | 18,67 | 81,65         | 18,35 | 0,48                |
| 3  | 4-4,1     | Silte amarelo saprol.  | 5,84                                           | 5,14                 | 9,61  | 1,45 | 0,14 | 0,13 | 11,34 | 0,24  | 0,87  | 12,45 | 91,11         | 2,06  | 8,03                |
| 4  | 10,5-10,7 | Folhelho típico Paler. | 8,59                                           | 8,12                 | 8,22  | 1,78 | 0,14 | 0,14 | 10,29 | 0,10  | 0,00  | 10,39 | 99,08         | 0,92  | 48,61               |
| 5  | 14-14,1   | Carvão S5              | 4,95                                           | 4,67                 | 28,13 | 3,96 | 0,25 | 0,59 | 32,93 | 1,09  | 12,75 | 46,78 | 70,41         | 3,22  | 3,19                |
| 6  | 15,2-15,3 | Carvão S4              | 2,21                                           | 2,18                 | 17,21 | 6,19 | 0,05 | 0,05 | 23,51 | 22,47 | 13,87 | 59,84 | 39,28         | 48,87 | 2,22                |
| 7  | 17,1-17,2 | Carvão S3              | 4,01                                           | 3,93                 | 35,72 | 6,25 | 0,20 | 0,53 | 42,69 | 4,71  | 19,51 | 66,92 | 63,80         | 9,94  | 1,52                |
| 8  | 17,6-17,7 | Argilito cinza         | 7,74                                           | 7,56                 | 50,94 | 6,81 | 0,47 | 0,44 | 58,67 | 0,14  | 0,00  | 58,81 | 99,76         | 0,24  | 3,25                |
| 9  | 21,0-21,1 | Carvão                 | 4,06                                           | 3,87                 | 29,91 | 2,29 | 0,18 | 0,41 | 32,80 | 4,47  | 14,56 | 51,84 | 63,28         | 12,00 | 37,74               |
| 10 | 23,5-23,6 | Arenito médio          | 6,09                                           | 5,41                 | 1,04  | 0,12 | 0,02 | 0,01 | 1,19  | 0,14  | 0,30  | 1,63  | 72,82         | 10,74 | 1,45                |
| 11 | 27,8-27,9 | Carvão BL              | 2,21                                           | 2,18                 | 19,59 | 1,57 | 0,10 | 0,36 | 21,62 | 11,82 | 17,59 | 51,04 | 42,37         | 35,35 | 0,00                |
| 12 | 28,8-28,9 | Argilito cinza         | 7,84                                           | 7,78                 | 56,58 | 6,49 | 0,63 | 0,41 | 64,11 | 0,19  | 0,67  | 64,97 | 98,67         | 0,30  | 1,59                |
| 13 | 30,6-30,8 | Carvão BS              | 4,49                                           | 4,34                 | 37,53 | 8,41 | 0,25 | 0,51 | 46,70 | 2,09  | 12,61 | 61,41 | 76,05         | 4,29  | 5,05                |
| 14 | 33,5-33,6 | Argilito intermediário | 7,91                                           | 7,74                 | 57,20 | 4,70 | 0,47 | 0,46 | 62,83 | 0,14  | 0,00  | 62,97 | 99,77         | 0,23  | 3,60                |
| 15 | 34,6-34,8 | Carvão BI              | 5,69                                           | 5,15                 | 50,75 | 5,75 | 0,29 | 0,60 | 57,40 | 0,62  | 12,59 | 70,61 | 81,29         | 1,07  | 1,18                |
| 16 | 36,3-36,5 | Argilito cinza claro   | 8,28                                           | 7,97                 | 41,15 | 4,33 | 0,37 | 0,41 | 46,26 | 0,10  | 0,00  | 46,36 | 99,79         | 0,21  | 4,15                |

No caso da malha XIII é encontrada uma situação geológica semelhante à da malha VIII, ao sul, com uma cobertura da Formação Palermo, de reação neutra a alcalina, com aproximadamente 10m de espessura, e camadas geológicas menos ácidas, incluindo os carvões S2 a S5, na Formação Rio Bonito acima do carvão BL (Tabela 6).

A situação prevista de acidificação nos solos construídos foi observada na porção já minerada das malhas I, II, IV e VII, conforme caracterizado por Silva (2012) (Anexo 1 e 2).

Em geral, a capacidade de troca de cátions dos materiais do estéril é de duas a três vezes mais elevada do que das camadas de argila e de terra vegetal. Essa pode ser resultado de uma atividade maior da argila nos estéreis e/ou da presença de sais solúveis produzidos pelo processo de sulfurização. Silva (2012) também observou que em média a soma de bases foi maior para as malhas IV e VII e menor para as Malhas I e II obedecendo a seguinte ordem decrescente (Malhas IV e VII > Malha II > Malha I) o mesmo ocorreu com a saturação por bases, porém com um comportamento inverso em relação os teores e saturação por alumínio. A autora sugeriu que as diferentes idades de mineração desses solos construídos poderiam explicar estas características, isto é, as malhas I e II que são as mais antigas e possivelmente por não possuírem terra vegetal e camada de argila ficaram submetidas a uma maior lixiviação dos cátions básicos (Ca, Mg, Na e K) em função da percolação da água ao longo do tempo e a acumulação de cátions ácidos (Al e H) o que resultou no deslocamento do equilíbrio ácido/base para a faixa mais ácida.

O pH em água e  $\text{CaCl}_2$  do estéril dos solos construídos das malhas IV e VII apresentaram valores maiores do que nas malhas I e II, atingindo valores de  $\text{pH}=4,5$ , o que pode ser atribuído a uma menor lixiviação de bases em relação as malhas I e II. As malhas mais antigas concentram mais cátions  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  ao longo do perfil desses solos construídos devido ao maior tempo de exposição dessas camadas ao oxigênio resultando em uma maior oxidação de sulfetos, principalmente a pirita.

Estas reações químicas de oxidação de natureza ácida liberam íons de hidrogênio que atacam os minerais aluminossilicatos liberando o alumínio para o meio, o que acaba aumentando a acidez potencial. Devido a acidificação e a maior lixiviação das bases o pH tende a ser menor nas porções superiores dos perfis das malhas I e II. A diferença dos valores da acidez potencial entre as malhas IV/VII e malhas I e II pode ser atribuída às camadas superficiais de terra vegetal e/ou argila

que funcionariam com uma barreira evitando o contato do oxigênio com o estéril de mineração.

## 6.2 Caracterização mineralógica

Os resultados da análise mineralógica por difração de raios X são apresentados nas tabelas 7 a 10.

As sondagens representativas do avanço da frente de mineração atual, F435 (Tabela 7), F344 (não analisada mineralogicamente) e F530 (Tabela 8) mostram uma nítida diferença em relação ao solo. Na sondagem F435 a mineralogia do solo é a base de caulinita e quartzo, com traços de feldspato potássico e plagioclásio. Essa mineralogia, associada aos dados químicos básicos (Tabela 1) é condizente com as características de um Argissolo Eutrófico, em acordo com o solo da frente de mineração caracterizado em Nunes (2002). Já na sondagem F530, a mineralogia é totalmente diversa, a base de esmectita, quartzo e pouca caulinita, ocorrendo calcita no saprolito. Isso indica a ocorrência de solo com argila de atividade alta, que com a combinação das características químicas de saturação por bases altas em todo o perfil (Tabela 3), é compatível com solos do tipo vertissolo ou chernossolo. O mapa de solos do Rio Grande do Sul confirma para a área da sondagem F435 a ocorrência de solos da unidade de mapeamento Alto das Canas (Argissolo) e para a sondagem F530 solos da unidade de mapeamento Aceguá (Vertissolo) (Streck et al., 2018).

A coluna geológica abaixo do solo nessas sondagens (F435 e F530), que apresenta litologias da Formação Palermo até aproximadamente 13 e 10m (Figuras 7 e 9), respectivamente, mostra, além de quartzo e caulinita, a presença significativa de plagioclásio, mica e feldspato potássico, com siderita (carbonato de Fe) no caso do siltito são da Formação Palermo (amostra 6) da sondagem F435 (Tabela 7) e (Apêndice B). Na sequência da Formação Rio Bonito que vai até a camada de carvão BS (amostras 7 a 17 da sondagem F435 (Tabela 7) e amostras 5 a 11 da sondagem F530 (Tabela 8) as quantidades de mica e plagioclásio diminuem bastante, chegando a ser ausentes em alguns casos como mostrados nos difratogramas (Apêndices de B a G) e a pirita somente foi detectada nas camadas de carvão S4, carvão S3 e carvão (amostra 12) e no arenito (amostra 11) da sondagem F435.

Tabela 7 – Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.      | Litologia                     | Mineralogia                                                                              |
|----|------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 0,0-0,2    | Solo horizonte A              | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços                      |
| 2  | 0,6-0,7    | Solo horizonte B              | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços                      |
| 3  | 2,2-2,4    | Solo horizonte C              | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, mica, Plagioclásio traços                       |
| 4  | 4,4-4,6    | Arenito Palermo intemperizado | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica, Plagioclásio traços                       |
| 5  | 8,5-8,6    | Palermo intemperizado         | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Mica                              |
| 6  | 11,5 -11,7 | Palermo são bioturbado        | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Mica, Siderita                    |
| 7  | 13,5-13,7  | Carvão S4                     | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Mica, Pirita                      |
| 8  | 14,2-14,3  | Folhelho carbonoso            | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Mica                              |
| 9  | 15,2-15,3  | Carvão S3                     | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Pirita, Mica traços                             |
| 10 | 17,0-17,1  | Argilito cinza maciço         | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico, Plagioclásio                              |
| 11 | 20,0-20,2  | Arenito fino piritoso         | Quartzo, Feldspato Potássico, Caulinita traços, Pirita traços                            |
| 12 | 21,7-21,8  | Carvão                        | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico, Pirita traços                             |
| 13 | 22,8-22,9  | Arenito fino maciço           | Quartzo, Feldspato Potássico, Caulinita traços, Mineral pico 0,291nm(?)                  |
| 14 | 25,3-25,4  | Carvão S2                     | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                            |
| 15 | 26,9-27,0  | Folhelho carbonoso            | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                            |
| 16 | 27,8-28,0  | Carvão BL                     | Quartzo, Caulinita                                                                       |
| 17 | 28,2-28,3  | Argilito superior             | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico                                                  |
| 18 | 30,8-30,9  | Carvão BS                     | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica traços                                     |
| 19 | 33,0-33,1  | Argilito intermediário        | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica traços                                     |
| 20 | 34,8-34,9  | Carvão BI                     | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica, Siderita traços                           |
| 21 | 37,5-37,7  | Arenito fino cinza maciço     | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico, Plagioclásio, Calcita, Dolomita, Siderita |

(?) picos de substâncias não identificadas no banco de amostras

Tabela 8 – Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Profundidade | Litologia               |                                                                                                    |
|----|--------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 0,0-0,65     | Horizonte A             | Quartzo, Esmectita, Plagioclásio, Mica traços, Caulinita traços                                    |
| 2  | 0,75-0,8     | Horizonte C             | Quartzo, Esmectita, Plagioclásio, Calcita, Feldspato Potássico, Caulinita, Mica traços             |
| 3  | 3,0-3,1      | Argila marrom saprolito | Quartzo, Caulinita, Esmectita, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Mica e Calcita                   |
| 4  | 8,0-8,2      | Arenito fino Palermo    | Quartzo, Caulinita, Mica, Plagioclásio, Siderita, Feldspato Potássico                              |
| 5  | 10,0-10,5    | Folhelho carbonoso      | Quartzo, Caulinita, Mica, Plagioclásio, Feldspato Potássico                                        |
| 6  | 11,1-11,2    | Carvão S5               | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico traços, Mica traços                          |
| 7  | 13,3-13,4    | Carvão S3               | Quartzo, Caulinita, Plagioclásio, Feldspato Potássico traços, Mica traços                          |
| 8  | 15,4-15,5    | Argilito cinza maciço   | Quartzo, Caulinita, Mica, Plagioclásio, Feldspato Potássico, Esmectita traços                      |
| 9  | 19,0-19,2    | Arenito fino maciço     | Quartzo, Feldspato Potássico, Plagioclásio, Caulinita traços                                       |
| 10 | 23,7-23,8    | Carvão BL               | Quartzo, Caulinita, Mica traços, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços                   |
| 11 | 24,8-24,9    | Argilito intermediário  | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços, Mica traços, Esmectita traços |
| 12 | 28,1-28,2    | Carvão BS               | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços                          |
| 13 | 29,2-29,3    | Argilito intermediário  | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços                          |
| 14 | 30,0-30,3    | Carvão BI               | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços, Plagioclásio traços, Mica traços                   |
| 15 | 33,7-33,8    | Siltito cinza laminado  | Quartzo, Calcita, Caulinita, Dolomita, Feldspato Potássico, Plagioclásio e Mica                    |
| 16 | 34,9-35,0    | Arenito médio maciço    | Quartzo, Feldspato Potássico, Plagioclásio, Calcita, Dolomita e Caulinita                          |

(?) picos de substâncias não identificadas no banco de amostras

As sondagens (MXII-06 e MIII-29), representativas de áreas de concessão ao norte da frente de mineração atual (Figura 6), que podem constituir novas frentes de mineração, não apresentaram amostragem dos horizontes A e B dos solos, apenas dos horizontes mais profundos (horizonte C e/ou saprolito), não permitindo inferir o tipo de solo existente. Nos horizontes analisados, derivados do arenito do topo e da Formação Rio Bonito (Figura 10 e 11), predominam o quartzo, como era de se esperar, com traços de caulinita na sondagem MXII-06 (Tabela 9) e difratograma (Apêndice H ao J) e com caulinita e traços de mica na sondagem MIII-29 (Tabela 10) e difratograma (Apêndice K ao M), indicando uma provável matriz argilosa nesse caso.

Nestas sondagens, a sequência da Formação Rio Bonito que vai até a camada de carvão BS (amostras 2 a 5 na sondagem MXII-06 (Tabela 9) e amostras 2 a 6 na sondagem MIII-29 (Tabela 10)) a mineralogia é semelhante a da sequência análoga nas sondagens F435 e F530, com quartzo, caulinita e pouco feldspato, traços de mica e ausência de plagioclásio conforme os difratogramas (Apêndice H a K). A pirita foi detectada em alta proporção na camada de carvão BL (amostra 5) da sondagem MIII-29 e em menores proporções no arenito cinza (amostra 3) da sondagem MXII-06. Nestas sondagens, por outro lado, se tem uma ampla amostragem das camadas abaixo do carvão BI (amostras 9 a 18 na sondagem MXII-06 e amostras 10 a 18 na sondagem MIII-29), incluindo as camadas de carvão I1 a I4. Nesse caso, ao contrário do observado nas camadas logo abaixo da camada de carvão BI, não se observou a presença de carbonatos e de plagioclásio, à exceção de traços de calcita no arenito (amostra 18) da sondagem MIII-29 (Tabelas 10) e difratograma (Apêndices M).

Tabela 9 – Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.     | Litologia                     | Mineralogia                                                                                                                              |
|----|-----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 1,5-1,8   | Areia fina Hz C               | Quartzo, Feldspato Potássico traços, Caulinita traços                                                                                    |
| 2  | 6,8-6,9   | Arenito fino<br>intemperizado | Quartzo, Feldspato Potássico traços                                                                                                      |
| 3  | 7,4-7,6   | Arenito fino cinza            | Quartzo, Mineral pico 0,488nm(?), Feldspato Potássico, Mineral pico 0,325nm(?), Mineral pico 0,263nm(?), Pirita traços, Caulinita traços |
| 4  | 8,0-8,2   | Arenito fino são              | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços                                                                                           |
| 5  | 9,7-9,8   | Argilito cinza                | Quartzo, Feldspato Potássico, Caulinita, Calcita                                                                                         |
| 6  | 12,8-13,1 | Carvão BS                     | Quartzo, Caulinita, Mica traços, Feldspato Potássico traços, Pirita traços                                                               |
| 7  | 14,1-14,2 | Argilito intermediário        | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico                                                                                                  |
| 8  | 15,6-15,7 | Carvão BI                     | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico                                                                                                  |
| 9  | 17,0-17,2 | Arenito muito fino cinza      | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                                                                            |
| 10 | 19,9-20,0 | Siltito                       | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica traços                                                                                     |
| 11 | 20,7-20,9 | Carvão I1                     | Quartzo, Caulinita, Mineral pico 0,489nm(?), Feldspato Potássico, Mica traços, Pirita traços                                             |
| 12 | 23,0-23,1 | Argilito cinza maciço         | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços                                                                                           |
| 13 | 24,6-24,8 | Carvão I2                     | Quartzo, Caulinita, Mineral pico 0,290nm(?)                                                                                              |
| 14 | 25,6-25,7 | Argilito cinza maciço         | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico                                                                                                  |
| 15 | 26,6-26,7 | Carvão I3                     | Quartzo, Caulinita, Mica, Mineral pico 0,384nm(?), Feldspato Potássico traços                                                            |
| 16 | 27,5-27,6 | Argilito cinza maciço         | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços                                                                                           |
| 17 | 27,6-27,8 | Carvão I4                     | Quartzo, Caulinita                                                                                                                       |
| 18 | 28,7-28,9 | Arenito conglomerático        | Quartzo, Feldspato Potássico, Caulinita, Mineral pico 0,348nm(?), Mineral pico 0,291nm(?), Mineral pico 0,262nm(?)                       |

(?) picos de substâncias não identificadas no banco de amostras

Tabela 10 – Mineralogia dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.      | Litologia                      | Mineralogia                                                                             |
|----|------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2,5-2,6    | Areia mt fina marrom saprolito | Quartzo, Caulinita, Mineral pico 0,270nm(?), Mica traços                                |
| 2  | 5,3-5,5    | Arenito fino oxidado           | Quartzo, Feldspato Potássico, Mineral pico 0,259 (?), Caulinita traços                  |
| 3  | 7,7-7,9    | Argila carbonosa               | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços,                                         |
| 4  | 8,6-8,8    | Carvão                         | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico traços, Mica traços                             |
| 5  | 11,2 -11,4 | Carvão BL                      | Quartzo, Pirita, Caulinita, Mineral pico 0,489nm(?)                                     |
| 6  | 12,2-12,4  | Argilito superior              | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico traços                                    |
| 7  | 13,6-13,8  | Carvão BS                      | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                           |
| 8  | 17,1-17,2  | Argilito intermediário         | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                           |
| 9  | 18,6-18,8  | Carvão BI                      | Quartzo, Caulinita, Mica traços, Feldspato Potássico                                    |
| 10 | 20,1-20,5  | Siltito cinza maciço           | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica                                           |
| 11 | 23,5-23,7  | Argilito cinza maciço          | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico traços                                    |
| 12 | 25,0-25,2  | Carvão I1                      | Quartzo, Caulinita, Feldspato Potássico, Mica traços                                    |
| 13 | 26,1-26,2  | Argilito cinza maciço          | Quartzo, Caulinita, Mica traços, Feldspato Potássico traços                             |
| 14 | 27,2-27,4  | Carvão I2                      | Quartzo, Pirita, Caulinita, Calcita                                                     |
| 15 | 27,7-27,9  | Argilito cinza maciço          | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                           |
| 16 | 28,6-28,8  | Carvão I3                      | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico                                           |
| 17 | 30,3-30,5  | Carvão I4                      | Quartzo, Caulinita, Mica, Feldspato Potássico traços, Pirita traços                     |
| 18 | 32,5-32,6  | Arenito médio                  | Quartzo, Feldspato Potássico, Caulinita, Calcita traços, Mineral pico 0,290nm(?) traços |

(?) picos de substâncias não identificadas no banco de amostras

### 6.3 Caracterização dos potenciais de acidificação e de neutralização

As tabelas 11 a 14 apresentam os resultados das determinações dos potenciais de neutralização (PN) e de acidificação (PA) dos quatro furos de sondagem selecionados (F435 – Malha IV, F530 – Malha VIII, MXII-06 e MIII-29).

Os dados do furo da sondagem F435 mostram que as camadas da Formação Palermo, apesar da reação neutra a alcalina do complexo trocável (Tabela 1), indicativos do comportamento esperado inicial do solo, possuem relativamente baixo PN (Tabela 11), à exceção do arenito (amostra 21) abaixo da camada de carvão BI,



valores estes que se relacionam com as baixas somas de base (S) da caracterização básica (Tabela 1). A ausência de carbonatos na sequência até a camada de carvão BI, e a presença de carbonatos no arenito (amostra 21), podem explicar esses PNs. Por outro lado, todas as camadas de carvão (S2 a S4 e BL), bem como o arenito, do pacote do Rio Bonito superior (amostra 11), mostram um PA que varia de 18 (arenito - 11) a 89 kg CaCO<sub>3</sub> Mg<sup>-1</sup> (carvão BL - 16) (Tabela 11). Os dados das camadas de carvão BS e BI, não são considerados na análise pois não irão teoricamente compor os solos construídos (por serem integralmente aproveitados). A presença de pirita nestes materiais, no entanto, não foi detectada em vários casos (amostras 12, 14 e 16, além dos carvões BS e BI), sem relação com os valores de PA.

Tabela 11 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID | Prof.      | Litologia                     | PN                                               | PA     | PL      |
|----|------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|--------|---------|
|    |            |                               | -----kg CaCO <sub>3</sub> Mg <sup>-1</sup> ----- |        |         |
| 1  | 0,0-0,2    | Solo horizonte A              | 1,69                                             | 0,12   | 1,57    |
| 2  | 0,6-0,7    | Solo horizonte B              | 2,65                                             | 0,00   | 2,65    |
| 3  | 2,2-2,4    | Solo horizonte C              | 2,65                                             | 0,24   | 2,41    |
| 4  | 4,4-4,6    | Arenito Palermo intemperizado | 1,93                                             | 0,24   | 1,69    |
| 5  | 8,5-8,6    | Palermo intemperizado         | 1,45                                             | 0,00   | 1,45    |
| 6  | 11,5 -11,7 | Palermo são bioturbado        | 2,17                                             | 1,09   | 1,08    |
| 7  | 13,5-13,7  | Carvão S4                     | -8,20                                            | 42,26  | 50,46   |
| 8  | 14,2-14,3  | Folhelho carbonoso            | 7,47                                             | 0,36   | 7,11    |
| 9  | 15,2-15,3  | Carvão S3                     | -40,02                                           | 74,87  | -114,89 |
| 10 | 17,0-17,1  | Argilito cinza maciço         | -6,75                                            | 1,09   | -7,84   |
| 11 | 20,0-20,2  | Arenito fino piritoso         | -8,33                                            | 18,11  | -26,44  |
| 12 | 21,7-21,8  | Carvão                        | 7,47                                             | 57,96  | -50,49  |
| 13 | 22,8-22,9  | Arenito fino maciço           | -27,65                                           | 0,24   | -27,89  |
| 14 | 25,3-25,4  | Carvão S2                     | -1,09                                            | 0,97   | -2,06   |
| 15 | 26,9-27,0  | Folhelho carbonoso            | -7,61                                            | 0,24   | -7,85   |
| 16 | 27,8-28,0  | Carvão BL                     | -4,71                                            | 89,36  | -94,06  |
| 17 | 28,2-28,3  | Argilito superior             | -0,36                                            | 0,61   | -0,97   |
| 18 | 30,8-30,9  | Carvão BS                     | 0,12                                             | 117,13 | 117,01  |
| 19 | 33,0-33,1  | Argilito intermediário        | 6,75                                             | 0,24   | 6,51    |
| 20 | 34,8-34,9  | Carvão BI                     | 9,89                                             | 82,11  | -72,22  |
| 21 | 37,5-37,7  | Arenito fino cinza maciço     | 74,62                                            | 0,12   | 74,50   |

\*Número da identificação da amostra

No caso dos potenciais da sondagem F435, as camadas alcalinas a neutras possuem baixa capacidade de neutralização para contrabalançar o potencial de acidificação. Isto significa que, mesmo havendo uma reação inicial não tão ácida na

camada de estéril do perfil do solo, em relativamente pouco tempo esse irá acidificar fortemente se as camadas de carvão não forem aproveitadas e se alguma outra medida de controle não for adotada.

No caso da malha VIII (sondagem F530), a situação se mostra um pouco mais favorável, dado que as litologias da Formação Palermo apresentam um maior PN (Tabela 12). Os valores de PN superiores a  $25 \text{ kg CaCO}_3 \text{ Mg}^{-1}$  (amostras 2, 3, 4, 15 e 16) coincidem com a ocorrência de carbonatos nesses materiais (Tabela 8) e difratogramas (Apêndice E e G). Por outro lado, os carvões BL e S3 a S5 apresentam um PA mais elevado do que no furo F435 (Tabela 11); no entanto, a análise mineralógica não detectou a presença de pirita (Tabela 7). De qualquer forma, devido ao PA mais elevado, o balanço final também tende em direção à acidificação. Assim, igualmente, se não forem aproveitados os carvões do pacote do Rio Bonito superior, o perfil do solo construído também deverá desenvolver drenagem ácida, apesar de não tão intensa em um primeiro momento quanto na malha IV (sondagem F435).

Tabela 12 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID* | Profundidade | Litologia               | PN    | PA     | PL      |
|-----|--------------|-------------------------|-------|--------|---------|
| 1   | 0,0-0,65     | Horizonte A             | 14,59 | 0,49   | 14,10   |
| 2   | 0,75-0,8     | Horizonte C             | 25,68 | 0,24   | 25,43   |
| 3   | 3,0-3,1      | Argila marrom saprolito | 28,09 | 0,00   | 28,09   |
| 4   | 8,0-8,2      | Arenito fino Palermo    | 27,12 | 0,12   | 27,00   |
| 5   | 10,0-10,5    | Folhelho carbonoso      | 23,27 | 5,22   | 18,05   |
| 6   | 11,1-11,2    | Carvão S5               | 11,69 | 97,81  | -86,11  |
| 7   | 13,3-13,4    | Carvão S3               | 6,39  | 120,75 | -114,36 |
| 8   | 15,4-15,5    | Argilito cinza maciço   | 8,32  | 3,62   | 4,70    |
| 9   | 19,0-19,2    | Arenito fino maciço     | 0,36  | 3,88   | -3,52   |
| 10  | 23,7-23,8    | Carvão BL               | 18,44 | 169,05 | -150,61 |
| 11  | 24,8-24,9    | Argilito intermediário  | 5,18  | 12,08  | -6,89   |
| 12  | 28,1-28,2    | Carvão BS               | 8,56  | 132,83 | -124,27 |
| 13  | 29,2-29,3    | Argilito intermediário  | 2,05  | 1,70   | 0,35    |
| 14  | 30,0-30,3    | Carvão BI               | 12,90 | 211,31 | -198,41 |
| 15  | 33,7-33,8    | Siltito cinza laminado  | 27,61 | 0,00   | 27,61   |
| 16  | 34,9-35,0    | Arenito médio maciço    | 36,04 | 0,97   | 35,07   |

\*Número da identificação da amostra

No caso de uma nova frente de mineração ao norte da área de concessão nas malhas XII e III, a situação mostra-se totalmente desfavorável, não havendo praticamente PN nas litologias da camada de cobertura acima do carvão BS (sondagem MXII-06 (Tabela 13) e sondagem MIII-29 (Tabela 14). A ausência de

carbonatos está em acordo com esse baixo PN. A faixa de valores de PA nos carvões é bastante elevada, especialmente na sondagem MIII-29. Soma-se a isso o fato de haver no caso da Malha XII uma camada de arenito com alto PA. A pirita, apesar de não ter sido detectada em todos casos, expressou-se com picos bem definidos nos materiais com maiores valores de PA (amostras 5 e 14 da sondagem MIII-29 e amostra 3 da sondagem MXII-06) conforme os difratogramas (Apêndice K, M e H respectivamente).

Dessa forma, alguma medida de controle tem de ser adotada para evitar a geração de drenagem ácida, como por exemplo a disposição controlada da camada de arenito com alto PA e o seu tratamento com adição de materiais carbonáticos. Recomenda-se fortemente, nesse caso, o aproveitamento das camadas de carvão BL e S2, que possuem um PA extremamente elevado.

Tabela 13 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID* | Prof.     | Litologia                  | PN     | PA     | PL      |
|-----|-----------|----------------------------|--------|--------|---------|
| 1   | 1,5-1,8   | Areia fina Hz C            | 1,21   | 0,49   | 0,72    |
| 2   | 6,8-6,9   | Arenito fino intemperizado | 0,00   | 0,12   | -0,12   |
| 3   | 7,4-7,6   | Arenito fino cinza         | -33,03 | 100,22 | -133,25 |
| 4   | 8,0-8,2   | Arenito fino são           | -1,21  | 0,36   | -1,57   |
| 5   | 9,7-9,8   | Argilito cinza             | 0,48   | 0,61   | -0,12   |
| 6   | 12,8-13,1 | Carvão BS                  | -6,27  | 88,15  | -94,42  |
| 7   | 14,1-14,2 | Argilito intermediário     | -2,89  | 1,82   | -4,71   |
| 8   | 15,6-15,7 | Carvão BI                  | 5,55   | 119,54 | -114,00 |
| 9   | 17,0-17,2 | Arenito muito fino cinza   | 3,86   | 0,73   | 3,13    |
| 10  | 19,9-20,0 | Siltito                    | 0,00   | 2,18   | -2,18   |
| 11  | 20,7-20,9 | Carvão I1                  | -52,56 | 140,07 | -192,63 |
| 12  | 23,0-23,1 | Argilito cinza maciço      | 9,16   | 28,98  | -19,82  |
| 13  | 24,6-24,8 | Carvão I2                  | -0,96  | 67,62  | -68,58  |
| 14  | 25,6-25,7 | Argilito cinza maciço      | -0,72  | 0,73   | -1,45   |
| 15  | 26,6-26,7 | Carvão I3                  | 9,89   | 206,48 | 196,60  |
| 16  | 27,5-27,6 | Argilito cinza maciço      | -0,24  | 0,73   | -0,97   |
| 17  | 27,6-27,8 | Carvão I4                  | -0,48  | 89,36  | -89,84  |
| 18  | 28,7-28,9 | Arenito conglomerático     | 0,00   | 0,24   | -0,24   |

\*Número da amostra

Tabela 14 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

| ID* | Prof.      | Litologia              | PN     | PA     | PL      |
|-----|------------|------------------------|--------|--------|---------|
| 1   | 2,5-2,6    | Saprolito              | 2,53   | 2,91   | -0,38   |
| 2   | 5,3-5,5    | Arenito                | -0,12  | 0,36   | -0,48   |
| 3   | 7,7-7,9    | Folhelho               | -8,80  | 3,15   | -11,95  |
| 4   | 8,6-8,8    | Carvão S2 ou S3        | 3,50   | 277,73 | -274,23 |
| 5   | 11,2 -11,4 | Carvão BL              | -43,52 | 419,00 | -462,52 |
| 6   | 12,2-12,4  | Argilito               | -3,98  | 3,88   | -7,86   |
| 7   | 13,6-13,8  | Carvão BS              | 0,84   | 57,96  | -57,12  |
| 8   | 17,1-17,2  | Argilito intermediário | -5,91  | 2,67   | -8,58   |
| 9   | 18,6-18,8  | Carvão BI              | 11,93  | 182,33 | -170,40 |
| 10  | 20,1-20,5  | Siltito fossilífero    | -0,12  | 4,37   | -4,49   |
| 11  | 23,5-23,7  | Argilito               | 2,29   | 1,70   | 0,59    |
| 12  | 25,0-25,2  | Carvão I1              | 10,25  | 73,66  | -63,41  |
| 13  | 26,1-26,2  | Argilito               | 21,82  | 28,98  | -7,16   |
| 14  | 27,2-27,4  | Carvão I2              | 22,54  | 241,50 | -218,96 |
| 15  | 27,7-27,9  | Argilito               | 3,74   | 0,85   | 2,89    |
| 16  | 28,6-28,8  | Carvão I3              | 10,73  | 91,77  | -81,04  |
| 17  | 30,3-30,5  | Carvão I4              | -26,88 | 103,53 | -130,41 |
| 18  | 32,5-32,6  | Arenito                | 0,84   | 1,09   | -0,25   |

\*Número da identificação da amostra

Considerando o aspecto geral, os resultados mostram que os materiais geológicos das camadas acima do carvão S5, ligadas a Formação Palermo, apresentam potencial de neutralização consideravelmente maior do que os materiais entre essa camada de carvão e a camada do Banco Inferior, ligadas a Formação Rio Bonito. Essa situação resulta em uma condição melhor do que as que tem sido encontradas nos solos construídos até então nas áreas mineradas das malhas IV e VII, que apresentam um potencial de neutralização relativamente baixo (BITENCOURT et al., 2015). Esse potencial de neutralização é explicado pela presença de carbonatos calcita e siderita conforme o difratograma (Apêndice E) e de esmectitas altamente saturadas por bases (Tabela 3). Por outro lado, os carvões BL e S3 a S5 apresentam um PA elevado (Tabela 12), indicando que se esses não forem aproveitados e incorporados ao material do estéril, o balanço final irá se

conduzir em direção à acidificação. Dessa forma, igualmente se não forem aproveitados os carvões do pacote do Rio Bonito superior, o perfil do solo construído também deverá desenvolver drenagem ácida, apesar de não tão intensa em um primeiro momento.

No trabalho de Pinto (1997), realizado na jazida Leão-Butiá-RS, na porção central do Estado (Figura 1), os resultados indicaram de maneira geral, que em relação ao potencial de acidificação, apenas o carvão fosco da camada A destacou-se por apresentar um valor estimado de PA elevado ( $71,1 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ ), quase 10 vezes o apresentado pelo material com o segundo maior valor ( $7,6 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ ) (Anexo 3).

Por outro lado, em relação ao potencial de neutralização destacaram-se algumas camadas importantes integrantes da Formação Rio Bonito. Em um primeiro plano, o siltito e o siltito verde da camada A e o siltito espesso, com valores estimados de PN entre  $29,5$  e  $37,4 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ . Em um segundo plano aparecem o carvão e os argilitos com valores variando entre  $10,1$  e  $14,9 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ . Após, os materiais da camadas S e do argilito intermediário, com valores entre  $5,5$  e  $9,4 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ , com o solo mostrando os valores mais baixos, entre  $4,9$  e  $5,2 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ . De acordo com esses critérios, apenas o carvão seria considerado potencial gerador de acidez. Os siltitos da camada A e o siltito espesso seriam os únicos considerados como não geradores de acidez (razões  $\text{PN/PA} > 3$ ), enquanto que os demais cairiam na faixa de incerteza (razões  $\text{PN/PA}$  entre 1 e 3) (Anexo 3).

Nota-se, dessa forma, que a situação em Candiota, comparada com as da mina do Recreio, em Butiá-RS, é mais preocupante em relação à tendência de acidificação, com relativamente menor quantidade de materiais com PN suficiente para neutralizar parte significativa da acidez gerada pela oxidação da pirita nos solos construídos.

## 7 Conclusões

A caracterização básica do complexo trocável aliada às estimativas dos potenciais de acidificação e de neutralização das litologias presentes na coluna geológica permite prever o provável comportamento químico do perfil do solo que irá ser construído nas futuras áreas de mineração de carvão de Candiota-RS de concessão da Companhia Riograndense de Mineração. Os dados indicam a tendência geral de acidificação, porém com diferentes situações dependendo da área, exigindo e permitindo diferentes abordagens no tratamento do problema, conforme o caso.

A caracterização dos potenciais de acidificação (PA) e de neutralização (PN), bem como da mineralogia, dos materiais geológicos do furo 530 da malha VIII de concessão da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), Candiota-RS, indica uma presença consideravelmente maior de PN do que os materiais entre essa camada de carvão e a camada do Banco Inferior, ligadas a Formação Rio Bonito, situação que resulta em uma condição melhor do que as que tem sido encontradas nos solos construídos até então nas áreas mineradas nas malhas atuais. O não aproveitamento das camadas de carvão acima das camadas Candiota, no entanto, podem levar a acidificação em longo prazo.

Devem ser adotadas medidas de controle para evitar a geração da DAM. Recomenda-se o aproveitamento das camadas de carvão BL e S2, que possuem um PA extremamente elevado, bem como a disposição controlada da camada de arenito com alto PA e o seu tratamento com adição de materiais carbonáticos.

Os dados do solo, com alta soma e saturação por bases e presença de esmectita, típicos de um Chernossolo na sondagem F530, indicam para as equipes de recuperação ambiental a necessidade de se adaptar a uma outra condição de solo, mais fértil em termos químicos, porém com condições físicas mais difíceis de manejar do que o Argissolo normalmente encontrada na área de mineração atual.

Os dados dos materiais das rochas indicam a presença de materiais alcalinos, que poderão vir a neutralizar parte da acidez produzida pela oxidação da pirita nos solos construídos na área da malha VIII, que provavelmente irá ser minerada nas próximas décadas.

Os materiais da coluna geológica da malha IV até o último leito de carvão que é minerado possuem relativamente baixo potencial de naturalmente neutralizar a

acidez produzida pelos sulfetos, o que irá originar solos construídos com baixos pHs e com elevados teores de metais pesados em solução.

## 8 Referências bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 7:349-364.

BITENCOURT, Dioni Glei Bonini et al. Geração de Drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**. 2015, vol.39, n.6, pp.1821-1834. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832015000601821&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000601821&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 0100-0683. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140810>.

BORBA, R.F. (2001). “**Carvão Mineral**”. Balanço Mineral Brasileiro, 2001. 18p.

BORTOLUZZI, C.A.; PICCOLI, A.E.M; MUNARO, P.; SARTURA, J.A.D. 1982. Geologia e estratigrafia da região carbonífera de Santa Rita, RS. **Acta Geológ. Leopoldensia**, São Leopoldo, v.6, n.16, p.75-130.

BORTOT, A. ZIM-ALEXANDRE. Programa de proteção e melhoria da qualidade ambiental da bacia do rio Tubarão e complexo lagunar. **Rev. Tecnol. Ambiente**, Criciúma, v. 1, n. 1, p. 55-74, 1995.

BRADY, K.B.C., PERRY, E.F., BEAM, R.L. et al. Evaluation of acid-base accounting to predict the quality of drainage at surface coal mines in Pennsylvania, U.S.A. In: **international land reclamation and mine drainage conference and international conference on the abatement of acidic drainage**, 3, 1994, Pittsburgh. Proceedings... v.1, p.138-147.

BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. **Crystal structures of clay minerals and their X ray identification**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. 495 p.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SOUZA, L. S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, 2003.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SILVEIRA, C. B.; GATIBONI, L. C.; ALBULQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; MIQUELUTTI, D. J.; FILHO, O. K.; SANTOS, J. C. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.

Coastech Research Inc. **Investigation of Prediction techniques for Acid Mine Drainage**. MEND Project 1.16.1a. Canada Center for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines, and Resources Canada. 61p. 1989.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carvão mineral**. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/coluna/carvaomineral0.html>>. Acesso em 13 out. 2014.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB** : Pedro Osório. SH22-Y-C. Estado do Rio



Grande do Sul. Escala 1:250.000/organizado por Gilberto Emílio Ramgrab [e] Wilson Wildner. – Brasília : CPRM, 1999.

CRM – Companhia Riograndense de Mineração. Mina de Candiota. Disponível em <<http://www.crm.rs.gov.br/conteudo/858/?Mina-de-Candiota#.W1jP6NJKjIU>>. Acesso em 25 jun. 2018.

DENT, D. Acid sulphate soils: **A baseline for research and development**. Wageningen: ILRI., 1986. 200p. (ILRI Publ., 39).

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro. 2005 (ano base de 2004)**. Disponível em [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. 1994. **Acid mine drainage prediction**. Washington. (Technical Document EPA 530-R, NTIS PB94)

EVANGELOU, V.P. **Pyrite oxidation and its control**. New York: CRC, 1995. 293p.

FANNING, D.S; FANNING, M.C.B. 1989. **Soil: morphology, genesis and classification**. New York, J. Wiley. 395p.

FARIAS, C.E.G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Relatório preparado para o CGEE. PNUD – contrato 2002/001604. Outubro, 2002.

FILION, M. P.; SIROIS, L. L.; FERGUSON, K. **Acid mine drainage research in Canada**. CIM Bull. 1990, 83, 33.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. D. C. Remediação de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas leves de carvão. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 735-740, 2006

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do Baixo Jacuí (RS). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 21, n. 1, p. 79-88, 1997.

KONTOPOULOS, A. Acid mine drainage control. In: CASTRO, S. H.; VERGARA, F.; SÁNCHEZ, M.A. (editors). **Effluent treatment in the mining industry**. University of Concepcion, p. 57-118, 1998.

LAPAKKO, K.A. 1994. Evaluation of neutralization potential determinations for metal mine waste and a proposed alternative. In: **International land reclamation and mine drainage conference and international conference on the abatement of acidic drainage**, 3, Pittsburgh. Proceedings ... v.1, p.129-137.

MILLER, S.D.; JEFFERY, J.J.; DONOHUE, T.A. 1994. Developments in predicting and management of acid forming mine wastes in Australia and Southeast Asia. In: **International land reclamation and mine drainage conference and international**

**conference on the abatement of acidic drainage**, 3, Pittsburgh. Proceedings ... v.1, p.177-184.

MORIN, K.A.; HUTT, N.M. 1994. Observed preferential depletion of neutralization potential over sulfide minerals in kinetic tests: site specific criteria for safe NP/AP ratios. In: **International land reclamation and mine drainage conference and international conference on the abatement of acidic drainage**, 3, Pittsburgh. Proceedings ... v.1, p.148-156. MOSES

NORDSTROM, D.K. The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural waters: some stability relations in the system  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SO}_2\text{--H}_2\text{O}$  at 298 K. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 46, p. 681-692, 1982.

NUNES, Mari Cândida Moitinho. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. Pelotas-RS. 130f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2002.

O'SHAY, T.; HOSSNER, L.R.; DIXON, J.B. A modified hydrogen peroxide oxidation method for determination of potential acidity in pyritic overburden. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 19, p.778-782, 1990.

OLIZ, Camila M.; Lopes, E. R.; Medina, A. L.; Ribeiro, A. S.; Nunes, A. M. Determinação de metais por técnicas de espectrometria atômica em amostras de carvão mineral e cinzas utilizando metodologia de superfície de resposta. **Quim. Nova**, v. 39, n. 8, p. 936-943, 2016.

PINTO, Luiz Fernando Spinelli. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição de solo construído em área de mineração de carvão**. 1997, 186f. Tese (doutorado em ciência do solo) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre-RS.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Contaminação dos solos construídos. In: \_\_\_\_\_. **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP\CAPES\PADCT\GTM\PUCRS\UFSC\FEPAM, 2002, p. 69-92.

SALDANHA, A. J. **Estudo para estabelecimento da política de longo prazo para a produção e uso do carvão mineral nacional**, Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1998.

SHERLOCK, E.J., LAWRENCE, R.W., POULIN, R. On the neutralization of acid rock drainage by carbonate and silicate minerals. **Environmental Geology**, v.25, n.1, p.43-54, 1995.

SILVA, Mariana Tavares. **Potencial de acidificação e contaminação por metais em solos construídos na área de mineração de carvão em Candiota-RS**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2012. 58p. Dissertação de Mestrado.

SINGER, P.C.; STUMM, W. 1970. Acid mine drainage: the rate determining step. **Science**, Washington, v.167, p.1121-1123.

SOARES, Evaldo Rodrigues. **Mobilidade de Metais Pesados em Materiais Provenientes do Complexo Carboenergético de Candiota-RS**. Viçosa, 1995. 58f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

SOBEK, A.A., SCHULLER, W.A., FREEMAN, J.R. SMITH, R.M. 1978. **Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils**. EPA 600/2-78-054.

STRECK, C. D. A., ORTIZ, L. S., TEIXEIRA, E. C., & SÁNCHEZ, J. C. D. Influência das atividades do processamento do carvão sobre a qualidade das águas na bacia do arroio candiota/RS-estudo preliminar. In: **Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 27. ABES, 2000. p. 1-8 [t. VII].

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 3.ed. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2018. 252p.

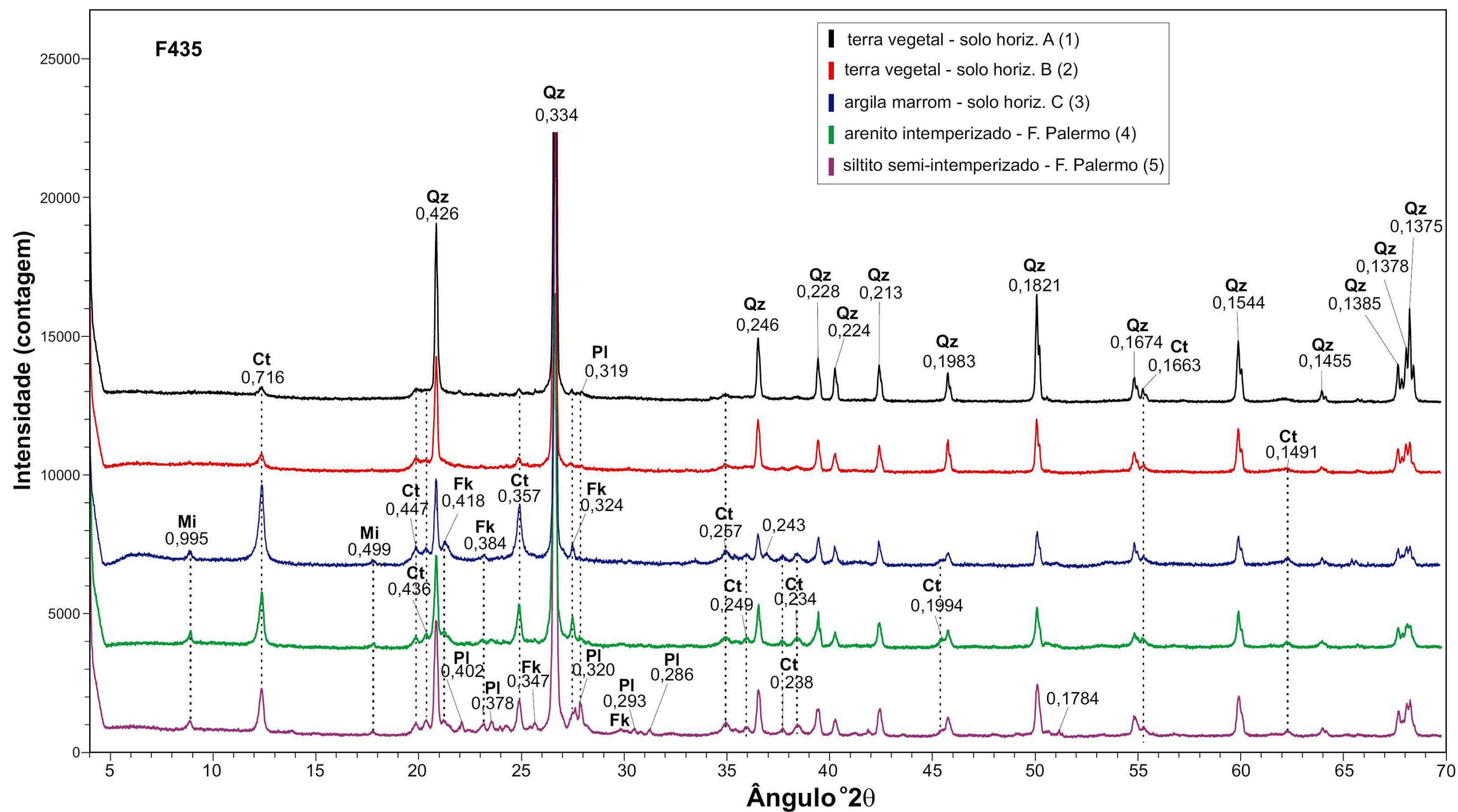
USEPA - Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. 1994. **Acid mine drainage prediction**. Washington. (Technical Document EPA 530-R, NTIS PB94)

USEPA - Environmental Protection Agency. **Method 3051 A**. 1998b. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW846/3051a.pdf>. Acesso em: set. 2014.

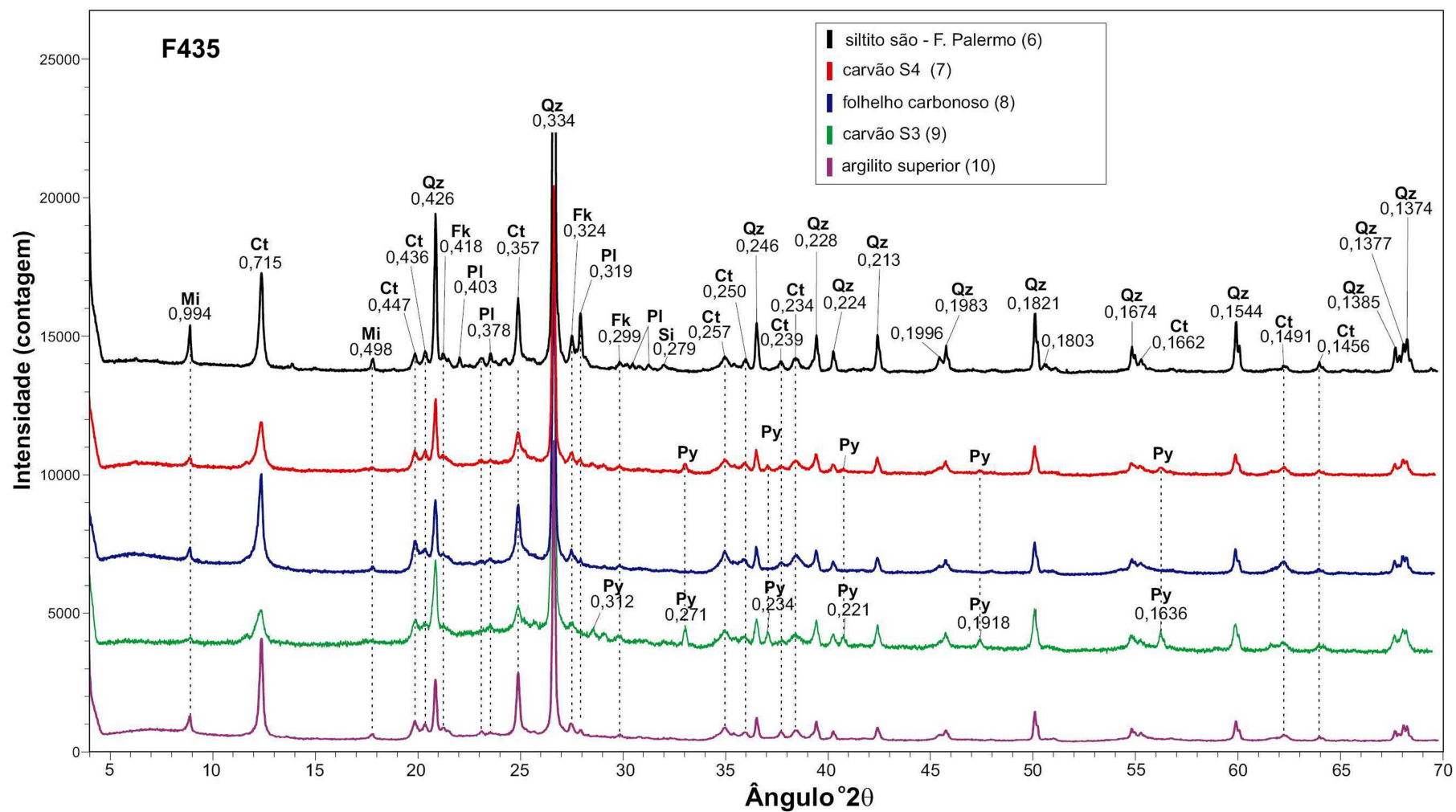
WHITE, W.W.; JEFFERS, T.H. 1994. Chemical predictive modeling of acid mine drainage from metallic sulfide-bearing waste rock. In: **ALPERS, C.N; BLOWES, D.W. (Ed.). Environmental geochemistry of sulfide oxidation**. Washington, American Chemical Society. p.608-630. (ACS Symp. Series., 550).

## **Apêndices**

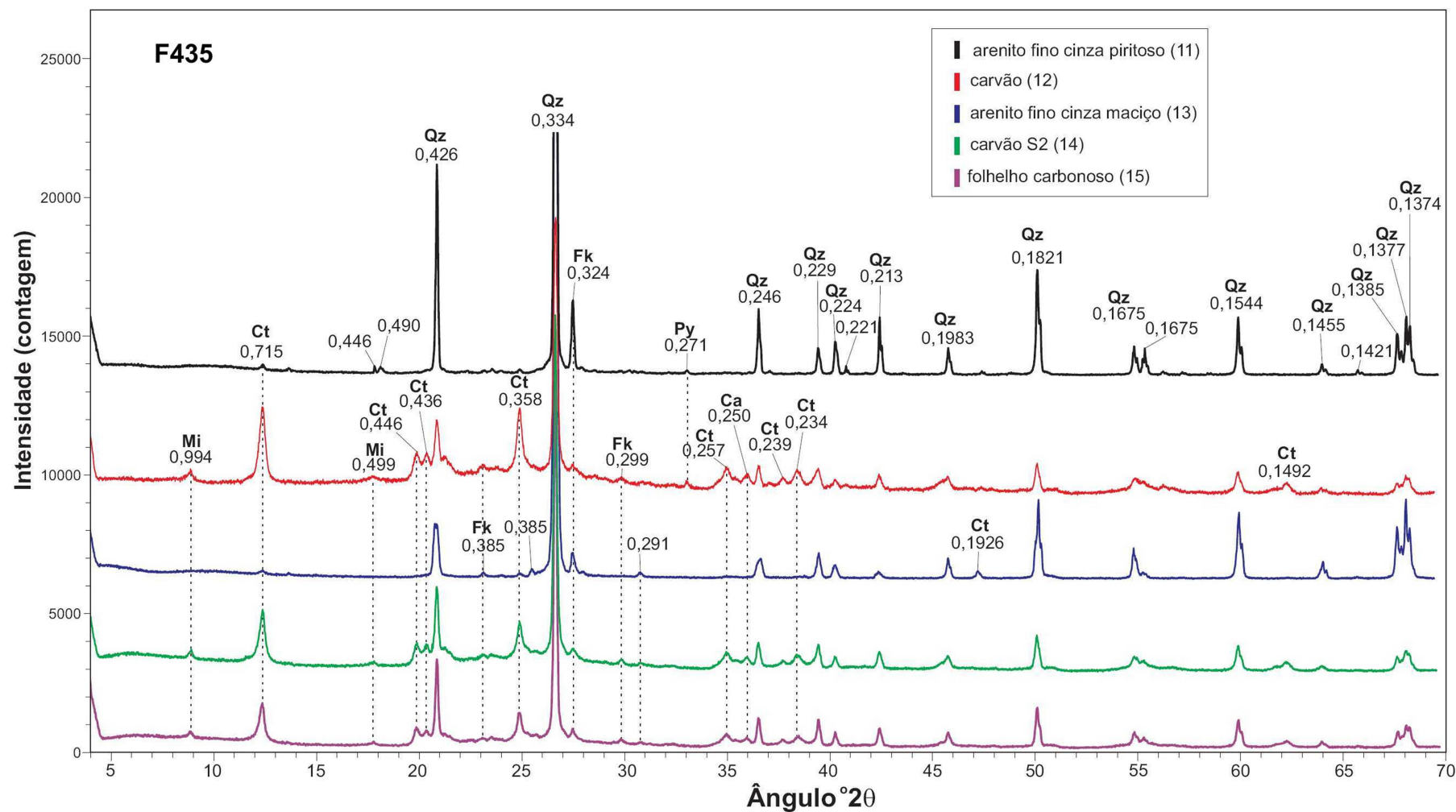
Apêndice A – Difratogramas das amostras 1 a 5 do furo de sondagem F-435. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.



Apêndice B – Difratogramas das amostras 6 a 10 do furo de sondagem F-435. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.

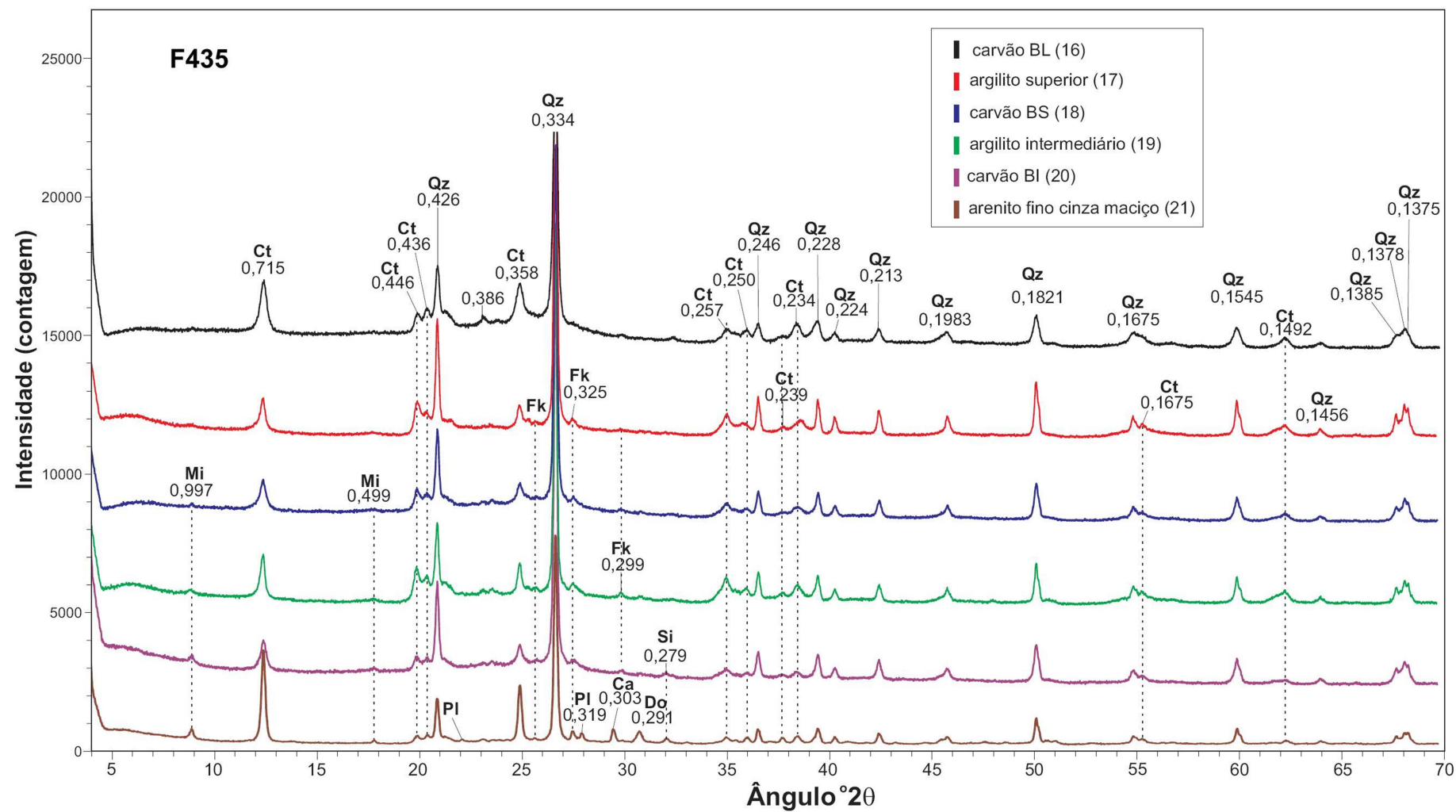


Apêndice C – Difratogramas das amostras 11 a 15 do furo de sondagem F-435. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.



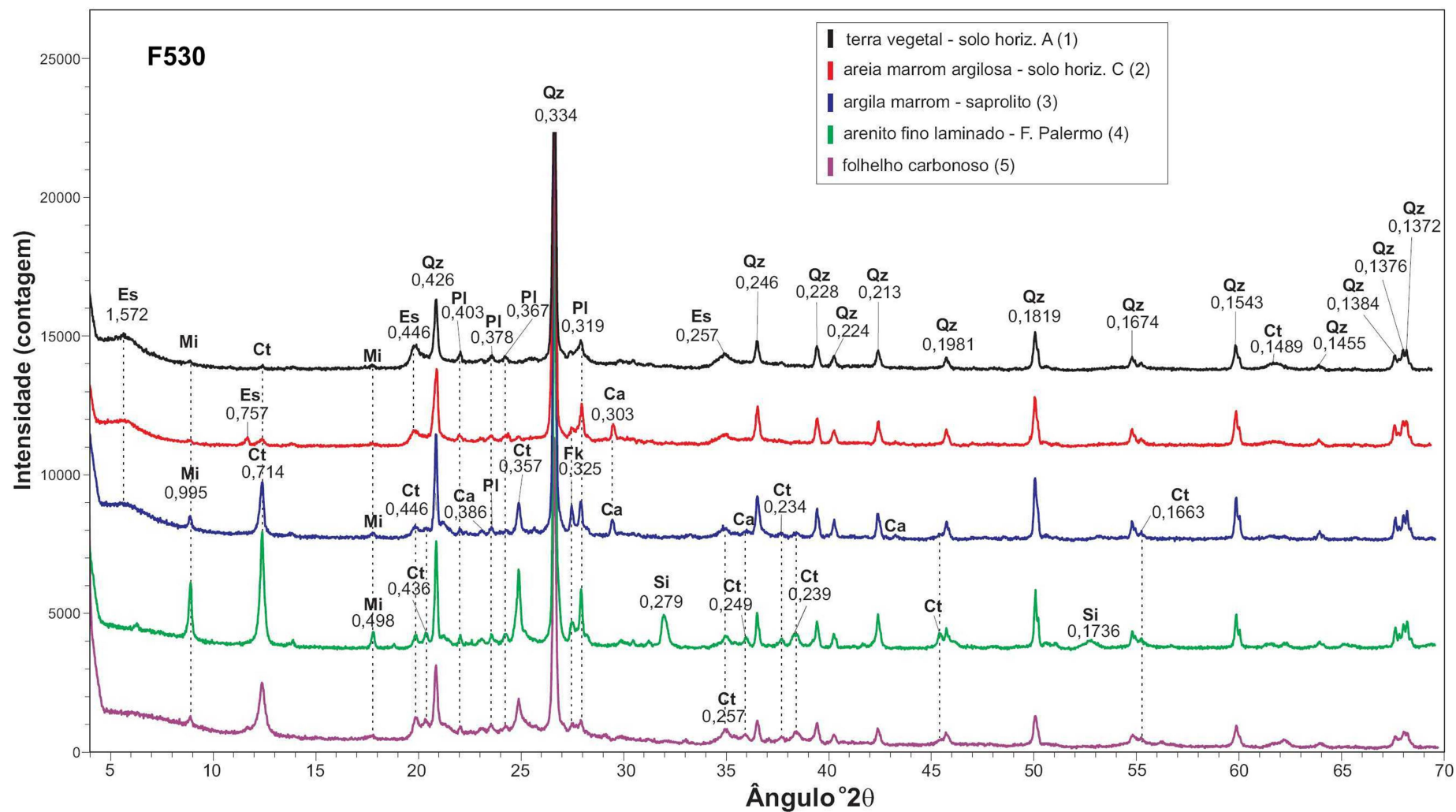


Apêndice D – Difratogramas das amostras 16 a 21 do furo de sondagem F-435. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.

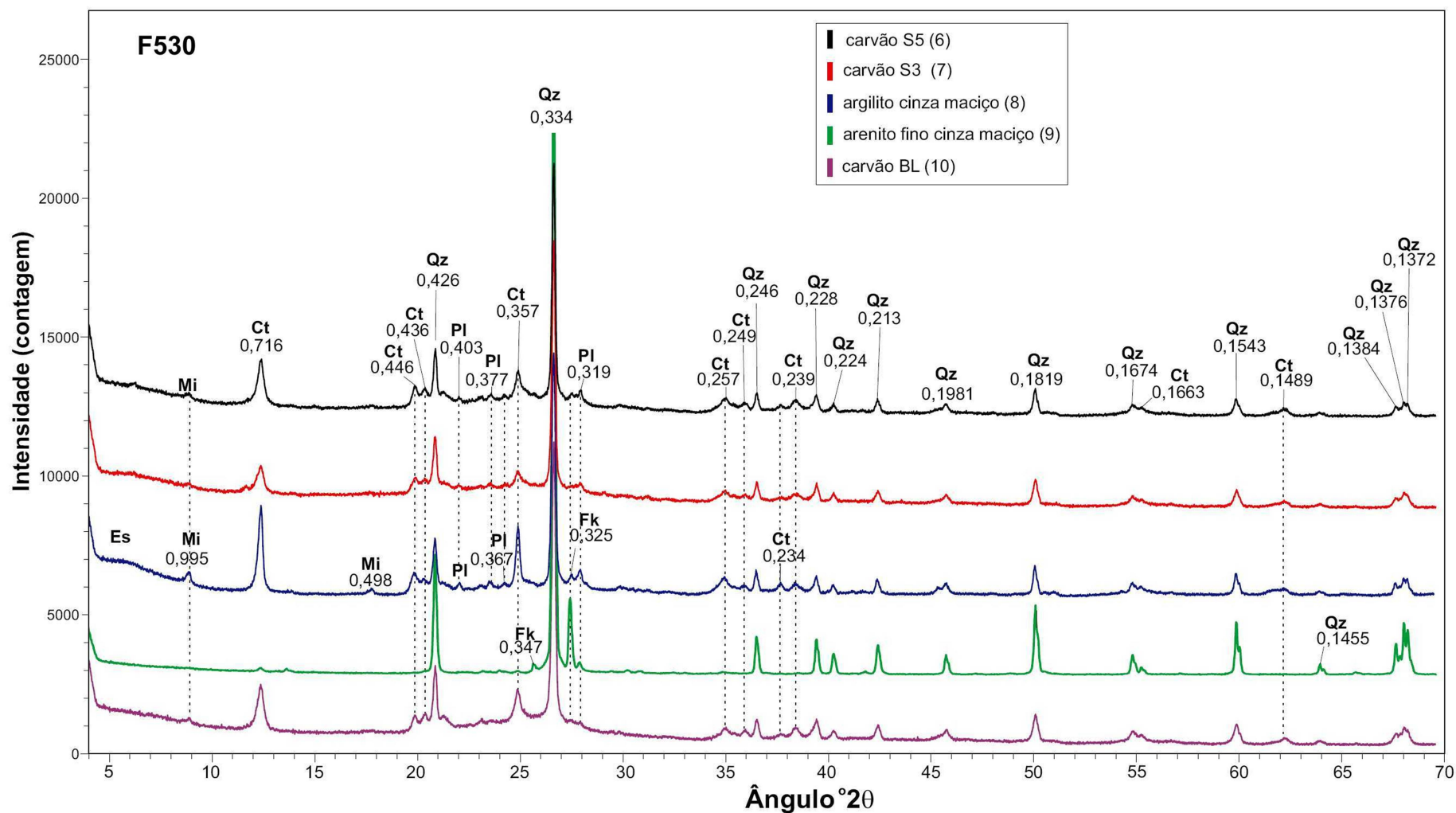




Apêndice E – Difratogramas das amostras 1 a 5 do furo de sondagem F-530. Espaçamentos "d" em nm; Es = esmectita, Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.

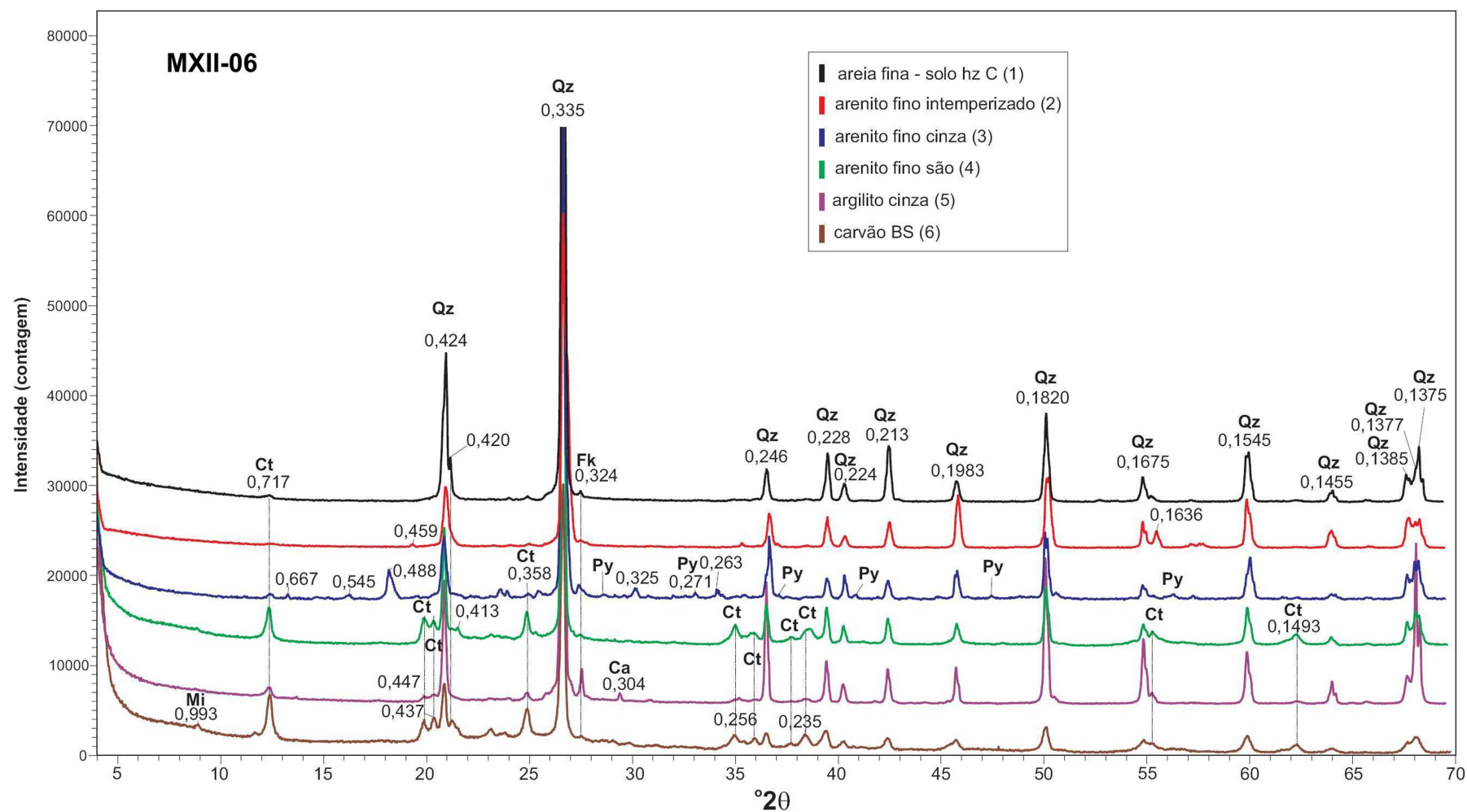


Apêndice F – Difratogramas das amostras 6 a 10 do furo de sondagem F-530. Espaçamentos "d" em nm; Es = esmectita, Ct = caulinita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.



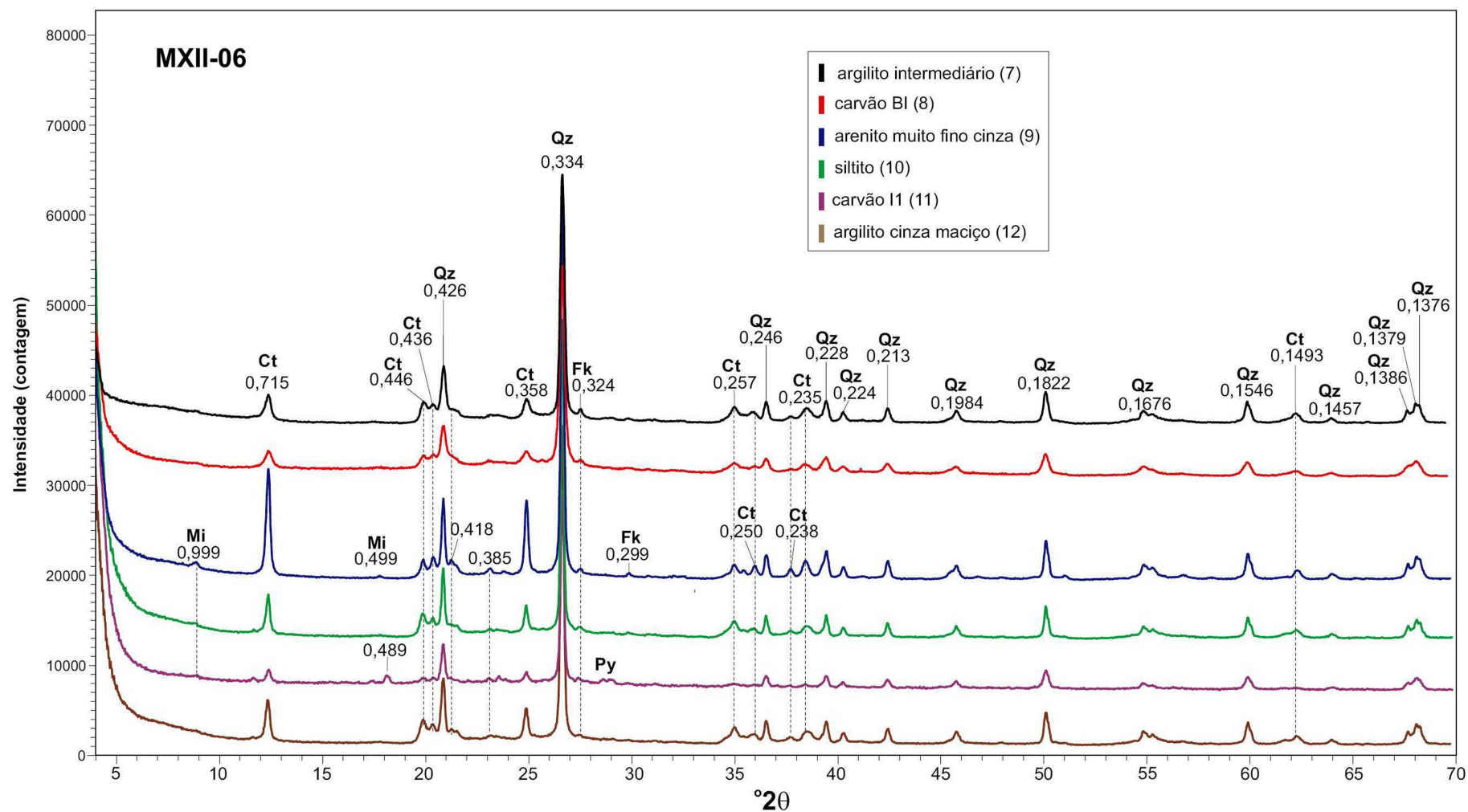


Apêndice H – Difratogramas das amostras 1 a 6 do furo de sondagem MXII-06. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.

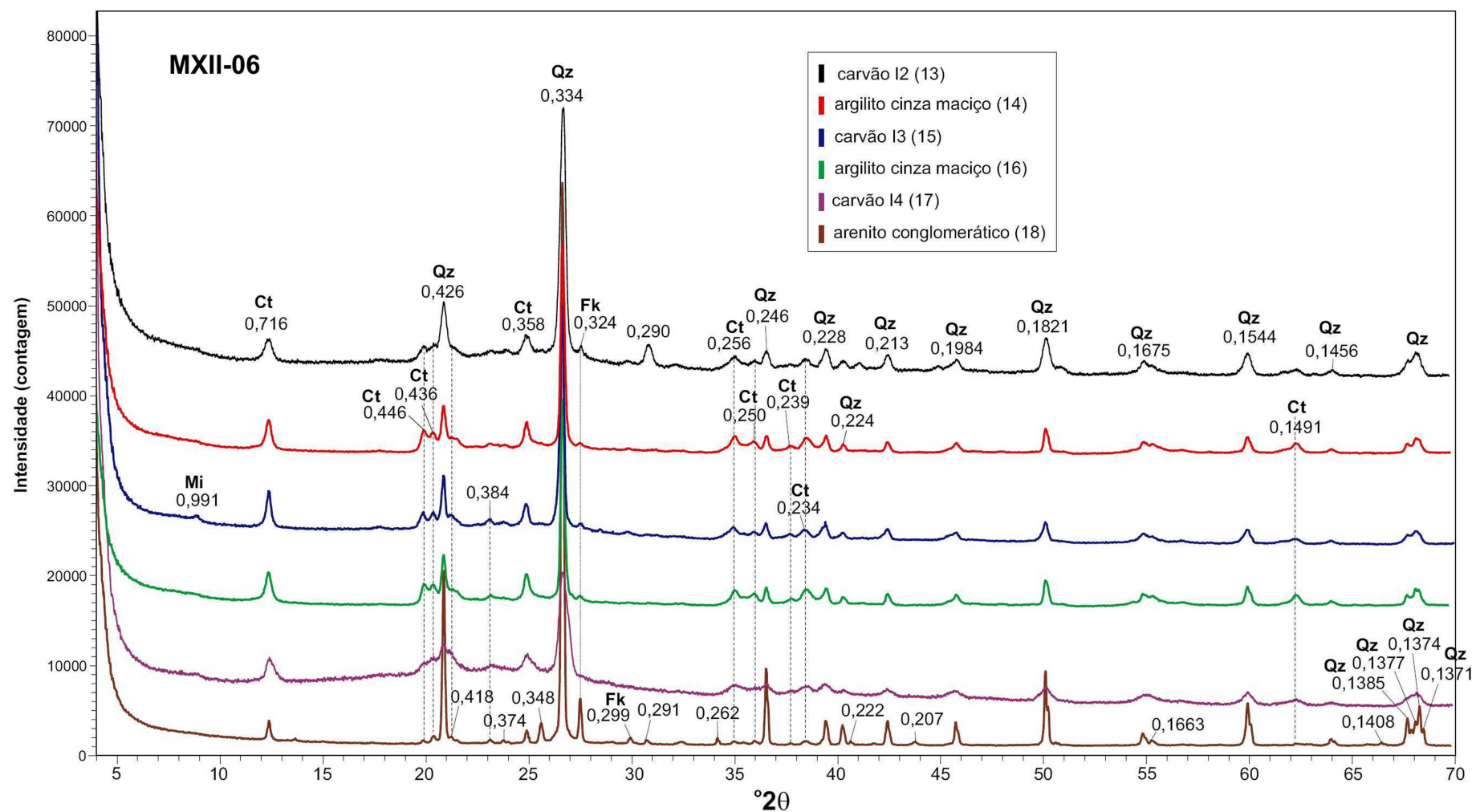




Apêndice I – Difratogramas das amostras 7 a 12 do furo de sondagem MXII-06. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.

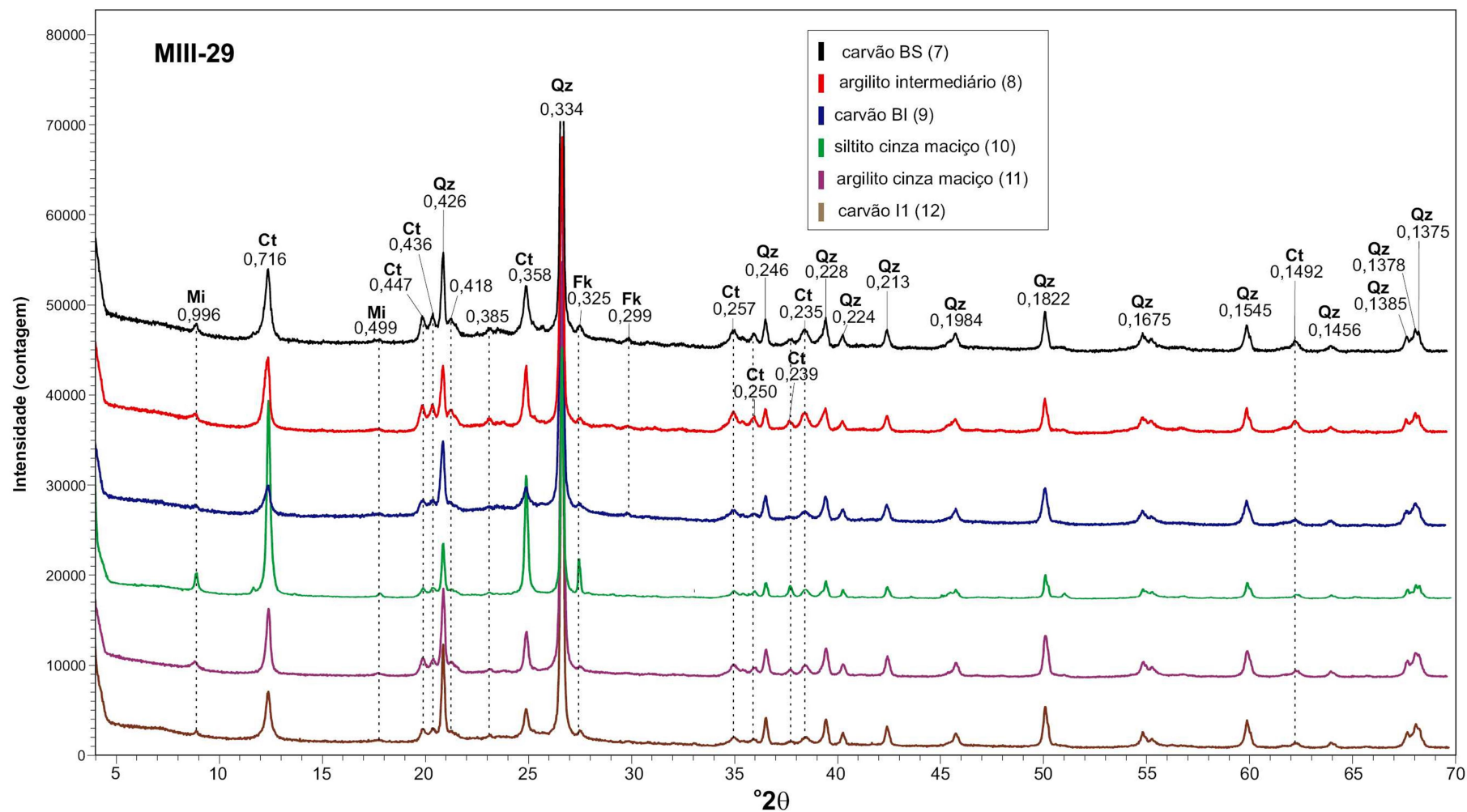


Apêndice J – Difratogramas das amostras 13 a 18 do furo de sondagem MXII-06. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.



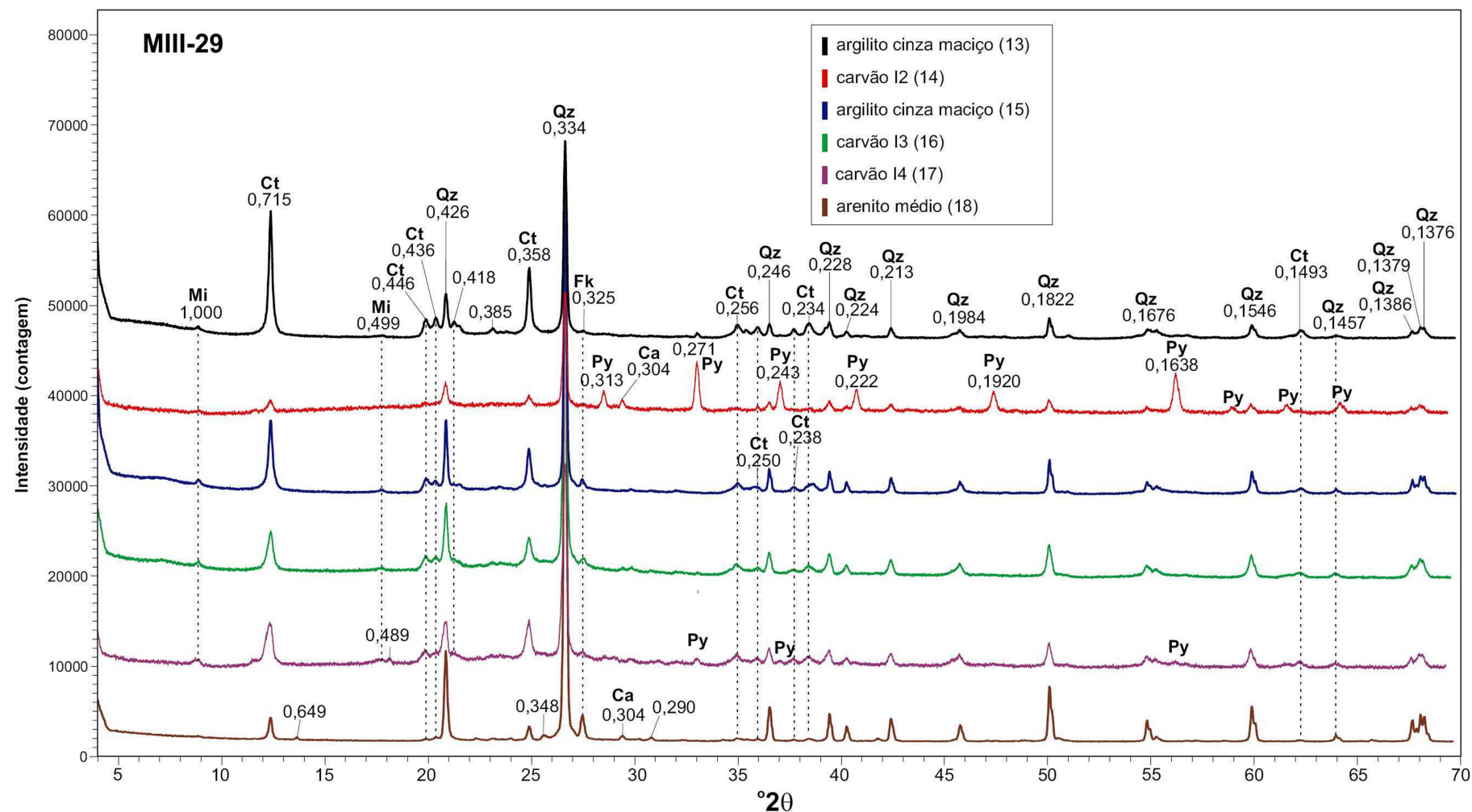


Apêndice L – Difratomogramas das amostras 7 a 12 do furo de sondagem MIII-29. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.





Apêndice M – Difratogramas das amostras 13 a 18 do furo de sondagem MIII-29. Espaçamentos "d" em nm; Ct = caulinita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Mi = mica, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Py = pirita, Ca = calcita, Do = dolomita, Si = siderita.



## **Anexos**

Anexo 1 – Caracterização química dos perfis de solo das Malhas I e II em diferentes localizações e profundidades (extraído de Silva, 2012).

| Perfil / Idade      | Prof.   | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | índice SMP | Ca                                 | Mg   | K    | Na   | Soma de Bases | Al    | H     | CTC potencial | CTC efetiva | Sat. de Bases | Sat. por Al | H+Al                               | Carbono Orgânico   |
|---------------------|---------|---------------------|----------------------|------------|------------------------------------|------|------|------|---------------|-------|-------|---------------|-------------|---------------|-------------|------------------------------------|--------------------|
|                     | cm      |                     |                      |            | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |      |      |      |               |       |       |               |             | ---           | ---         | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> |
| MI-T1<br>(44 anos)  | 0-10    | 2,36                | 2,65                 | 3,34       | 1,27                               | 0,90 | 0,02 | 0,03 | 2,22          | 25,90 | 9,33  | 37,45         | 28,12       | 5,94          | 92,09       | 35,23                              | 40,61              |
|                     | 40-50   | 2,41                | 2,61                 | 3,50       | 1,43                               | 0,67 | 0,01 | 0,12 | 2,24          | 21,33 | 7,92  | 31,49         | 23,57       | 7,11          | 90,50       | 29,25                              | 41,39              |
|                     | 100-110 | 2,63                | 2,85                 | 3,79       | 1,99                               | 0,64 | 0,04 | 0,17 | 2,84          | 13,44 | 6,85  | 23,13         | 16,28       | 12,30         | 82,53       | 20,28                              | 37,65              |
|                     | 190-200 | 2,59                | 2,84                 | 3,82       | 1,86                               | 0,73 | 0,00 | 0,08 | 2,68          | 16,54 | 6,48  | 25,70         | 19,22       | 10,41         | 86,07       | 23,02                              | 30,60              |
| MI-T2<br>(44 anos)  | 0-10    | 2,51                | 2,81                 | 3,48       | 1,56                               | 2,53 | 0,03 | 0,02 | 4,15          | 19,39 | 5,65  | 29,19         | 23,54       | 14,22         | 82,37       | 25,04                              | 20,14              |
|                     | 40-50   | 2,48                | 2,76                 | 3,59       | 4,19                               | 4,31 | 0,03 | 0,07 | 8,59          | 18,44 | 4,27  | 31,31         | 27,03       | 27,44         | 68,23       | 22,72                              | 26,88              |
|                     | 100-110 | 2,75                | 2,95                 | 3,97       | 3,53                               | 4,20 | 0,06 | 0,20 | 7,97          | 12,53 | 3,09  | 23,60         | 20,51       | 33,80         | 61,11       | 15,62                              | 27,87              |
|                     | 190-200 | 2,94                | 3,21                 | 4,17       | 4,19                               | 2,63 | 0,35 | 0,30 | 7,47          | 8,76  | 2,95  | 19,18         | 16,23       | 38,95         | 53,96       | 11,71                              | 23,88              |
| MI-T3<br>(44 anos)  | 0-10    | 2,86                | 3,08                 | 3,93       | 0,52                               | 0,19 | 0,34 | 0,03 | 1,07          | 11,16 | 5,68  | 17,92         | 12,23       | 5,99          | 91,22       | 16,84                              | 25,80              |
|                     | 40-50   | 2,98                | 3,13                 | 3,85       | 1,12                               | 0,17 | 0,16 | 0,02 | 1,47          | 10,00 | 9,09  | 20,56         | 11,46       | 7,13          | 87,21       | 19,09                              | 32,56              |
|                     | 100-110 | 3,14                | 3,25                 | 4,03       | 0,28                               | 0,11 | 0,30 | 0,02 | 0,71          | 9,21  | 7,64  | 17,56         | 9,92        | 4,07          | 92,80       | 16,85                              | 31,33              |
|                     | 190-200 | 3,18                | 3,22                 | 3,92       | 0,26                               | 0,11 | 0,31 | 0,02 | 0,70          | 9,86  | 7,50  | 18,05         | 10,56       | 3,89          | 93,35       | 17,35                              | 32,18              |
| MII-T1<br>(28 anos) | 0-10    | 2,28                | 2,58                 | 3,13       | 3,90                               | 0,50 | 0,00 | 0,01 | 4,41          | 17,28 | 8,20  | 29,90         | 21,69       | 14,75         | 79,67       | 25,49                              | 51,09              |
|                     | 40-50   | 2,23                | 2,52                 | 2,78       | 6,39                               | 0,72 | 0,00 | 0,02 | 7,13          | 24,38 | 6,01  | 37,52         | 31,52       | 19,01         | 77,37       | 30,39                              | 34,03              |
|                     | 100-110 | 2,53                | 2,80                 | 3,71       | 7,02                               | 1,00 | 0,04 | 0,02 | 8,08          | 20,70 | 2,40  | 31,18         | 28,78       | 25,91         | 71,93       | 23,10                              | 33,13              |
|                     | 190-200 | 2,42                | 2,69                 | 3,69       | 1,56                               | 1,37 | 0,13 | 0,04 | 3,09          | 19,60 | 2,21  | 24,90         | 22,69       | 12,42         | 86,37       | 21,81                              | 37,63              |
| MII-T2<br>(25 anos) | 0-10    | 3,00                | 3,14                 | 3,87       | 1,56                               | 0,31 | 0,29 | 0,03 | 2,19          | 11,03 | 6,33  | 19,55         | 13,22       | 11,20         | 83,44       | 17,36                              | 40,70              |
|                     | 40-50   | 2,66                | 2,94                 | 3,83       | 5,78                               | 0,47 | 0,18 | 0,05 | 6,48          | 10,96 | 5,66  | 23,11         | 17,44       | 28,06         | 62,82       | 16,62                              | 34,05              |
|                     | 100-110 | 2,88                | 3,14                 | 3,96       | 7,77                               | 1,12 | 0,33 | 0,06 | 9,27          | 9,95  | 4,65  | 23,86         | 19,22       | 38,85         | 51,76       | 14,59                              | 34,16              |
|                     | 190-200 | 2,67                | 2,97                 | 3,92       | 9,73                               | 3,87 | 0,32 | 0,14 | 14,07         | 12,11 | 5,47  | 31,64         | 26,18       | 44,46         | 46,26       | 17,58                              | 49,33              |
| MII-T3<br>(19 anos) | 0-10    | 3,11                | 3,22                 | 3,86       | 2,34                               | 0,29 | 0,32 | 0,03 | 2,99          | 10,39 | 8,82  | 22,20         | 13,38       | 13,45         | 77,67       | 19,22                              | 44,62              |
|                     | 40-50   | 2,68                | 2,93                 | 3,70       | 4,88                               | 0,43 | 0,23 | 0,03 | 5,58          | 11,92 | 12,50 | 30,00         | 17,50       | 18,59         | 68,13       | 24,42                              | 58,79              |
|                     | 100-110 | 2,82                | 3,07                 | 3,86       | 6,76                               | 0,53 | 0,24 | 0,10 | 7,64          | 9,88  | 9,64  | 27,17         | 17,52       | 28,12         | 56,40       | 19,53                              | 45,44              |
|                     | 190-200 | 3,19                | 3,38                 | 4,15       | 7,56                               | 0,84 | 0,42 | 0,15 | 8,96          | 9,05  | 3,33  | 21,35         | 18,02       | 41,99         | 50,25       | 12,39                              | 28,82              |

MI-T1 = malha I, trincheira 1; MI-T2 = malha I, trincheira 2; MI-T3 = malha I, trincheira 3; MII-T1 = malha II, trincheira 1; malha II-T2 = malha II, trincheira 2; malha II-T3 = malha II, trincheira 3.

Anexo 2 – Caracterização química dos perfis de solo das Malhas IV e VII em diferentes localizações e profundidades (extraído de Silva, 2012).

| Perfil / Idade       | Prof.   | pH H <sub>2</sub> O | pH CaCl <sub>2</sub> | índice SMP | Ca                      | Mg    | K    | Na   | Soma de Bases | Al    | H     | CTC potencial | CTC efetiva | Sat. de Bases | Sat. por Al | H+Al                   | Carbono Orgânico   |
|----------------------|---------|---------------------|----------------------|------------|-------------------------|-------|------|------|---------------|-------|-------|---------------|-------------|---------------|-------------|------------------------|--------------------|
|                      | cm      |                     |                      |            | cmolc. Kg <sup>-1</sup> |       |      |      |               |       |       |               |             | ----          | ----        | cmolc.kg <sup>-1</sup> | g.kg <sup>-1</sup> |
| MIV-T1<br>(18 anos)  | 0-10    | 4,72                | 3,95                 | 4,92       | 2,39                    | 1,05  | 0,32 | 0,01 | 3,77          | 3,78  | 4,77  | 12,32         | 7,56        | 30,61         | 50,07       | 8,55                   | 22,28              |
|                      | 60-70   | 2,88                | 2,87                 | 3,70       | 4,74                    | 1,78  | 0,29 | 0,02 | 6,84          | 10,78 | 5,18  | 22,80         | 17,62       | 29,99         | 61,19       | 15,96                  | 24,39              |
|                      | 100-110 | 3,18                | 3,16                 | 4,51       | 8,92                    | 4,38  | 0,50 | 0,08 | 13,88         | 6,98  | 3,73  | 24,59         | 20,87       | 56,45         | 33,47       | 10,71                  | 29,15              |
|                      | 190-200 | 4,12                | 3,76                 | 5,84       | 12,37                   | 5,93  | 0,71 | 0,19 | 19,20         | 2,91  | 2,22  | 24,33         | 22,10       | 78,91         | 13,15       | 5,13                   | 29,42              |
| MIV-T2<br>(17 anos)  | 0-10    | 5,07                | 4,26                 | 5,62       | 2,43                    | 1,30  | 0,65 | 0,02 | 4,40          | 1,66  | 5,02  | 11,09         | 6,06        | 39,72         | 27,37       | 6,68                   | 16,90              |
|                      | 60-70   | 3,75                | 3,51                 | 4,32       | 0,85                    | 0,52  | 0,12 | 0,01 | 1,50          | 6,29  | 4,68  | 12,47         | 7,79        | 12,01         | 80,76       | 10,97                  | 11,12              |
|                      | 100-110 | 2,78                | 2,83                 | 3,76       | 5,25                    | 2,02  | 0,24 | 0,11 | 7,61          | 10,11 | 11,76 | 29,48         | 17,72       | 25,83         | 57,03       | 21,86                  | 39,69              |
|                      | 190-200 | 3,15                | 3,17                 | 4,64       | 7,39                    | 3,52  | 0,39 | 0,30 | 11,60         | 5,35  | 7,55  | 24,50         | 16,95       | 47,35         | 31,57       | 12,90                  | 42,89              |
| MVII-T3<br>(10 anos) | 0-10    | 7,09                | 6,55                 | 6,95       | 6,02                    | 3,68  | 0,41 | 0,01 | 10,12         | 0,14  | 2,28  | 12,55         | 10,26       | 80,70         | 1,36        | 2,42                   | 7,79               |
|                      | 60-70   | 3,40                | 3,44                 | 4,54       | 6,56                    | 3,82  | 0,33 | 0,10 | 10,80         | 4,39  | 7,70  | 22,88         | 15,18       | 47,18         | 28,89       | 12,09                  | 34,49              |
|                      | 100-110 | 4,02                | 3,93                 | 5,76       | 9,43                    | 6,45  | 0,46 | 0,19 | 16,53         | 2,19  | 5,70  | 24,41         | 18,72       | 67,71         | 11,68       | 7,88                   | 37,33              |
|                      | 190-200 | 3,88                | 3,78                 | 5,71       | 8,53                    | 5,99  | 0,44 | 0,20 | 15,16         | 2,21  | 5,48  | 22,86         | 17,38       | 66,33         | 12,74       | 7,70                   | 36,92              |
| MIV-T4<br>(4 anos)   | 0-10    | 5,12                | 4,67                 | 6,07       | 3,50                    | 1,85  | 0,19 | 0,04 | 5,58          | 0,31  | 4,28  | 10,18         | 5,89        | 54,83         | 5,32        | 4,60                   | 8,08               |
|                      | 70-80   | 5,45                | 4,41                 | 6,28       | 4,99                    | 3,15  | 0,11 | 0,14 | 8,39          | 1,30  | 2,20  | 11,89         | 9,69        | 70,56         | 13,40       | 3,50                   | 1,10               |
|                      | 110-120 | 2,37                | 2,53                 | 3,13       | 11,45                   | 5,55  | 0,15 | 0,28 | 17,44         | 18,43 | 7,77  | 43,63         | 35,86       | 39,97         | 51,38       | 26,19                  | 45,06              |
|                      | 190-200 | 4,48                | 4,49                 | 5,75       | 14,40                   | 11,91 | 0,52 | 1,15 | 27,98         | 1,64  | 5,68  | 35,30         | 29,63       | 79,27         | 5,54        | 7,32                   | 23,64              |

MIVT1 = malha IV, trincheira 1; MIVT2 = malha IV, trincheira 2; MVII-T3 = malha VII, trincheira 3; MIVT4 = malha IV, trincheira 4. Sombreado de cinza identifica as camadas onde houve a colocação de terra vegetal. Sombreado de cinza escuro indica as camadas de argila.

Anexo 3 – Estimativas de potencial de acidificação (PA) e potencial de neutralização (PN) de solo, saprólito e rochas presentes na coluna geológica da mina Recreio, Butiá, RS (extraído de Pinto, 1997).

| nº | Material           | PA                                       | PN    | PN-PA  | PN/PA |
|----|--------------------|------------------------------------------|-------|--------|-------|
|    |                    | — kg CaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> — |       |        |       |
| 1  | Solo - horiz. A    | 5,11                                     | 4,92  | -0,19  | 1,0   |
| 2  | Solo - horiz. B    | 5,02                                     | 5,20  | 0,19   | 1,0   |
| 3  | Solo - horiz. C    | 5,59                                     | 4,90  | -0,69  | 0,9   |
| 4  | Saprólito          | 6,45                                     | 10,16 | 3,71   | 1,6   |
| 5  | Transição          | 5,69                                     | 12,25 | 6,56   | 2,2   |
| 6  | Argilito amarelo   | 5,69                                     | 14,29 | 8,60   | 2,5   |
| 7  | Argilito cinza     | 5,74                                     | 14,92 | 9,18   | 2,6   |
| 10 | Carvão fosco (CA)  | 71,13                                    | 14,52 | -56,61 | 0,2   |
| 11 | Siltito (CA)       | 7,55                                     | 29,51 | 21,96  | 3,9   |
| 13 | Siltito verde (CA) | 6,69                                     | 37,74 | 31,05  | 5,6   |
| 14 | Siltito espesso    | 5,93                                     | 30,98 | 25,05  | 5,2   |
| 15 | Siltito carb. (CS) | 3,30                                     | 8,97  | 5,67   | 2,7   |
| 17 | Siltito (CS)       | 3,11                                     | 6,09  | 2,98   | 2,0   |
| 18 | Pedra areia (CS)   | 2,53                                     | 7,38  | 4,85   | 2,9   |
| 20 | Pedra areia (EI)   | 5,31                                     | 9,37  | 4,06   | 1,8   |
| 21 | Siltito (EI)       | 4,16                                     | 5,48  | 1,32   | 1,3   |