UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

JOSEANE SOUZA DE OLIVEIRA

Análise Estratigráfica, petrologia e química orgânica aplicada nas camadas superiores, inferiores e Banco Louco na região de Candiota, Bacia do Paraná, RS, Brasil

Orientador: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

Banca Examinadora: Prof. Dr Eduardo Osório
Profª. Drª. Maristela Bagatin Silva
Prof. Dr. Michael Holz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências

Porto Alegre
2011

Oliveira, Joseane Souza de
Análise Estratigráfica, petrologia e química orgânica aplicada nas camadas superiores, inferiores e Banco Louco na região de Candiota, Bacia do Paraná, RS, Brasil. / Joseane Souza de Oliveira. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2011.
[145 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2011.
Orientação: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

1. Estratigrafia de Seqüências. 2. Jazida de Candiota. 3. Petrologia e Química do Carvão. 4. Petrologia e Química do Carvão. I. Título.

Catalogação na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. Wolfgang Kalkreuth pela sua orientação e oportunidade de aprendizado.

Ao pessoal do laboratório de Análises de carvão e rochas geradoras, em especial ao Maiquel e Matthew, pela sua ajuda nas análises químicas e à Janaína pelas conversas na salinha da pós-graduação.

Ao Centro de Tecnologia por auxiliar nas análises indisponíveis no Instituto de Geociências.

Ao Laboratório de Difratometria de raios X do Instituto de Geociências da UFRGS pela realização das análises de difração de raios X.

À banca, Prof. Dr. Eduardo Osório, Profa. Dra. Maristela Silva e Prof. Dr. Michael Holz por ler e avaliar este trabalho.

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Obrigada!

RESUMO

As camadas de carvão de idade Permiana da Formação Rio Bonito de Candiota constituem o maior depósito do país. Atualmente são mineradas duas camadas, denominadas “Camada Candiota Superior” e “Camada Candiota Inferior”. As outras camadas, S1-S9 (camadas superiores) e I1-I5 (camadas inferiores), não são explotadas. O objetivo deste trabalho foi realizar um detalhamento das camadas inferiores, superiores e Banco Louco do depósito, utilizando como metodologia a aplicação dos conceitos de sedimentologia e estratigrafia de sequências; petrologia do carvão (descrição dos litotipos, análise da reflectância da vitrinita e análise de macerais) e análises químicas (imediatas, elementares, poder calorífico e difração de raios X). Foram identificados quatro sistemas deposicionais na área: leque aluvial, fluvial, laguna-barreira e marinho raso. A partir da base, a sucessão de litofácies compreende conglomerados matriz-suportado e arenitos grossos, sugerindo um ambiente típico para sistemas de leques aluviais e fluviais, com camadas de carvão pouco desenvolvidas (camadas inferiores). As principais camadas de carvão (espessas e contínuas) ocorrem no subambiente lagunar, no final do Trato de Sistemas Transgressivo da seqüência 2. As camadas superiores desenvolvem-se no Trato de Sistemas de Nível Alto e Trato de Sistemas de Nível Baixo, sendo tipicamente finas e descontinuas. Em seguida ocorrem sedimentos marinhos no topo da seção (Formação Palermo), sobrepostos à sucessão portadora de carvão. Os resultados das reflectâncias da vitrinita das camadas analisadas indicam um rank de carvão sub-bituminoso C (Rrandom= 0,36% - 0,47%), com evidências de alguns valores anômalos baixos relacionados ao alto conteúdo de matéria mineral. A análise dos litotipos determinou o litotipo fosco (durênio) predominante. A composição dos macerais é altamente variável, com algumas camadas extremamente ricas em macerais do grupo da inertinita (fusinita, semifusinita, inertodetrinita). A petrologia juntamente com a estratigrafia de seqüências mostra que as características do carvão são controladas pelo ambiente deposicional. Os resultados da análise elementar apresentam teores médios em peso das amostras de 28,3% para o carbono, 2,8% para o hidrogênio, 0,6% para o nitrogênio, 1,9% para o enxofre total e 20,3% para o oxigênio. A matéria volátil apresenta em média 43,6% em peso (*d.a.f.*) classificando as camadas de carvão como sub-bituminoso A. O poder calorífico calculado em uma base seca e livre de cinzas (*d.a.f.*) obteve valor médio de 5588 cal/g, classificando as amostras como sub-bituminoso B. Através da difração de raios X a mineralogia é constituída principalmente por quartzo, caolinita e ilita. As camadas de carvão analisadas são ricas em cinzas, utilizando os critérios do International Classification of in-Seam Coals (1998), a maioria das camadas é classificada como carvões de categoria muito inferior, entretanto, as camadas S4, I1, I4 e I5 são classificadas como rochas carbonosas (>50% em peso de cinza). Conforme dados da CRM, a usina termelétrica Presidente Médici pode operar com até 53% % em peso de cinzas e 2,0 de enxofre total. Assim sendo, as camadas S3, S6, S7, S8, S9, BL, I3 e I4 atenderiam as exigências de teor de cinzas e enxofre total máximo e exigido pela termelétrica.

Palavras – chave: jazida de Candiota, estratigrafia de seqüências, petrologia e química do carvão.

ABSTRACT

The Candiota Coalfield, RS, is the largest coal deposit in the country, with coal seams developed in the Permian age the Rio Bonito Formation. Currently two seams are mined, called "Seam Candiota Superior" and "Seam Candiota Inferior". The other seams, S1-S9 (upper seams) and I1-I5 (lower seams) have not being mined so far. The aim of the present study was a characterization of the lower and upper seams of the deposit using methods of sequence stratigraphy and sedimentology, coal petrology (coal lithotypes, vitrinite reflectance, maceral analyses), and chemical characterization (proximate analysis, ultimate analysis, calorific value determination and x-ray diffraction). Sedimentological analyses identified four depositional systems in the area: alluvial fan, fluvial, lagoon-barrier and shallow marine. From the base, the succession of lithofacies comprises matrix-supported conglomerates and coarse grained sandstones, suggesting a typical environment for systems dominated by alluvial fans and river, with poorly developed coal seams (lower seams). The main coal seams (continuous, thick) occur in a lagoon-type subenvironment at the final stage of a transgressive systems tract of sequence 2. The upper seams developed in a Highstand Systems Tract and Lowstand Systems Tract, and are typically thin and discontinuous. Marine sediments occur at the top of the section (Palermo Formation), overlapping the coal-bearing strata. The results of the vitrinite reflectance measurements of the coal seams indicate a rank of sub-bituminous C (Rrandom = 0.36 - 0.47%), with evidence of some anomalous low values related to the high content of mineral matter. The dominant lithotype in the coal seams is durain. The maceral composition is highly variable, with some seams extremely rich in the maceral group inertinita (fusinite, semifusinite, inertodetrinite). The petrology along with the sequence stratigraphic interpretation show that the characteristics of the coal seams are controlled by depositional environment. Results from elemental analysis show that the average content (wt.%) were: 28.3% carbon, 2.8 % hydrogen, 0.6% for nitrogen, 1.9% for total sulfur and 20.3% for oxygen. The average volatile matter content obtained from proximate analyses is 43.6 wt% (daf), classifying the seams as sub-bituminous A. The average calorific value calculated on an dry, ash-free basis (daf) is 5588 cal /g, classifying the samples as sub-bituminous B. Based on results from x-ray diffraction the mineralogy consists mainly of quartz, kaolinite and illite. The coal seams are rich in ashes, ranging from 32,0 to 62,3 wt%, with most seams according to the International Classification System ranked as very low quality coals. Seams such as S4, I1, I4 and I5 are classified as carbonaceous rocks (> 50 wt.% ash). According to data from CRM, the President Medici power plant in Candiota can operate with coal containing of up to 53% wt% ash and 2,0 wt% total sulfur. Thus, coal seams S3, S6, S7, S8, S9, BL, I3 and I4 meet the requirements of maximum ash and total sulphur contents for combustion in the power plant.

Key-words: Candiota Coalfield, Sequence Stratigraphy, Coal Petrology and Chemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil representativo do furo de sondagem F-371-MVII com as camadas superiores 2 a 9, Banco Louco, Candiota Superior, Candiota Inferior e Inferiores 1 a 5. 14
Figura 2: Mapa com a localização da Bacia do Paraná, mostrando o estado do Rio Grande do Sul, detalhando a localização da área de estudo, enfatizando os poços utilizados na região de Candiota, a área de explotação atual da mina de Candiota e a Usina Termelétrica Presidente Médici. 16
Figura 3: Esquema ilustrando a formação do carvão, com mudanças nos parâmetros principais usados na determinação do rank; M.V.- matéria volátil % em peso, H,O,C- % em peso, R%- reflectância da vitrinita e PC- poder calorífico em cal/g . 19
Figura 4: Determinação do nível do rank dos carvões de acordo com diversos parâmetros. Fonte: Modificado de Stach et al. (1982)..... 20
Figura 5: Mapa de isopácas da Bacia do Paraná, mostrando a subdivisão em Superseqüências. O quadrado vermelho indica a localização da área de estudo (fora de escala), inserida na Superseqüência Gondwana I (mod. MILANI, 2000). . 31
Figura 6: Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná, com destaque para o intervalo estudado (modificado de MILANI et al., 2007)..... 33
Figura 7: Fluxograma para o processamento de amostras..... 38
Figura 8: Diagrama funcional do equipamento de análise elementar (Modificado de vario MACRO, 2004) 44
Figura 9: Partes do cilindro e bomba calorimétrica com o cilindro acoplado (modificado de IKA – WERKE, 2007)..... 45
Figura 10: Incidência de um feixe de raios X sobre um mineral 46
Figura 11: Fácies conglomerado suportado pela matriz com aspecto maciço e clastos polimiticos. Exemplo pertencente ao Furo F-370-MVII, aos 24 m de profundidade (topo)..... 48
Figura 12: Fácies diamictito com matriz siltica cinza e clasto de até 3 cm, angulosos. Exemplo pertencente ao Furo F-371-MVII, aos 60,5 m de profundidade (topo)..... 49
Figura 13: Fácies Arenito com estratificação acanalada bem visível na parte superior do testemunho. Exemplo pertencente ao Furo F-370-MVII, aos 16 m de profundidade (topo)..... 50
Figura 14: Arenito flaser com intensa bioturbação e ripples assimétricas. Exemplo pertencente ao Furo F-369-MVII, aos 14 m de profundidade (topo)..... 51
Figura 15: Arenito wavy com intensa bioturbação e laminação paralela na fração siltíca. Exemplo pertencente ao Furo F-372-MVII, aos 10 m de profundidade (topo)..... 52
Figura 16: Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo swash. Exemplo pertencente ao Furo F-369-MVII, aos 17 m de profundidade (topo)..... 53
Figura 17: Siltito linsen com climbing ripples. Exemplo pertencente ao Furo F-371-MVII, aos 10 m de profundidade (topo)..... 54
Figura 18: Siltito linsen com acamadamento lenticular. Exemplo pertencente ao Furo F-372-MVII, aos 28 m de profundidade (topo). 55
Figura 19: Dois cortes transversais de furos de sondagem mostrando na parte superior siltito cinza com restos vegetais, exemplo retirado do furo F-370-MVII, aos 18m de profundidade (topo), e na parte inferior carvão com lâminas de vitrênio, exemplo retirado do furo F-365-MVII, aos 24m de profundidade (topo).. 56
Figura 20: A fácies Gm, típica de depósitos de debris flow de leque aluvial ocorrendo na base do testemunho. Os depósitos de canal e planície fluvial ocorrem sobrepostos. Foto retirada do furo F-365-MVII, o topo correponde a profundidade de 39,5m e a base corresponde a profundidade de 44,1m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm. 59

Figura 21: Associação de fácies de laguna, com siltitos carbonosos intercalados com camadas de carvão e associação de fácies de barreira (arenito). Foto retirada do furo F-368-MVII, o topo correponde a profundidade de 17,3m e a base corresponde a profundidade de 21,3m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm. 63
Figura 22: : Associação de fácies marinha, mostrando heterolíticos com relação linsen típica de shoreface inferior, heterolíticos com relação wavy de shoreface superior, arenito fino swash de foreshore e arenito de barreira. Foto retirada do furo F-366-MVII, o topo correponde a profundidade de 11,7m e a base corresponde a profundidade de 24,7m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm. 65
Figura 23: Mapa com as seções de correlação estratigráfica realizadas 66
Figura 24: quadro esquemático mostrando a estratigrafia de sequências da área de Candiota, detalhando as parassequências encontradas nos Tratos de Sistemas das Sequências deposicionais S2 e S3, modificado de Holz & Kalkreuth (2004) . 70
Figura 25: Figura esquemática mostrando a formação do Limite de Seqüência 3 (LS3) na área da jazida de Candiota. Na região proximal de ambiente estuarino ocorreu uma regressão temporária e as fácies proximais se sobrepõem às distais (em direção à bacia), representado por arenitos com grânulos fluviais-deltaicos sendo recobertos por parassequencias marinhas e estuarinas. Na região distal da trasngressão, ocorre uma rápida regressão que retrabalhou os sedimentos, deixando apenas um arenito com grânulos, com típica assinatura transgressiva conincidindo com o limite de seqüência. Este padrão reflete a subsidência diferencial na bacia. Modificado de Holz and Kalkreuth (2004). 71
Figura 26: Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais em amostras das camadas de carvão examinadas neste trabalho..... 76
Figura 27: Fotomicrografia de vitrinita associada com matéria mineral e inertinita, em luz branca, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m..... 77
Figura 28: Fotomicrografia de uma área enriquecida em inertinita, em luz branca, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m..... 78
Figura 29: Fotomicrografia preto e branco de liptinita (esporinita, resinita, liptodetrinita), mostrando fluorescência com o filtro luz azul de excitação, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m..... 78
Figura 30: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-364-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso. 79
Figura 31: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-365-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso. 81
Figura 32: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-366-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso. 83

Figura 33: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-365-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso. 85
Figura 34: Classificação de todas as camadas de carvão dos quatro furos estudados neste trabalho através de valores médios da reflectância da vitrinita (Rrandom(%)), do teor em peso (%) da matéria volátil (d.a.f = dry ash free = seco e livre de cinzas) e do poder calorífico (d.a.f). O círculo vermelho representa o furo F-364-MVII, o círculo verde representa o furo F-365-MVII, o círculo azul representa o furo F-366-MVII, o círculo amarelo representa o furo F-368-MVII. Fonte: Stach et. al, (1982) Modificado..... 87
Figura 35: Classificação de carvão segundo o percentual de cinzas. Fonte: International Classification of in-coal seams, (1998) Modificado 89
Figura 36: As geometrias e espessuras das camadas de carvão preditas pelo modelo de Bohacs e Suter (1997). Na parte (A) observa-se a relação das camadas com a curva do nível de base/curva eustática e na parte (B), a relação das camadas com a taxa de variação do nível de base, que interfere diretamente na criação do espaço de acomodação. Os números 1 e 2 indicam o TSNB, o 3 indica o TSNB final, o 4 indica o TST, o 5 indica o TST final, o 6 indica o TSNA inicial 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Numeração dos furos de sondagem no mapa e o seu respectivo nome. 16
Tabela 2: Classificação dos litotipos, sistema de Stopes-Heerlen e sistema da Austrália (Diessel, 1965)..... 21
Tabela 3: Classificação dos macerais. Fonte: ICCP, 1971 Modificado..... 23
Tabela 4: localização dos poços utilizados no trabalho e o tipo de dado 35
Tabela 5: Fácies que compõem as associações de fácies, os sub-sistemas e sistemas deposicionais..... 57
Tabela 6: Arcabouço Estratigráfico proposto para a região de Candiota. A linha tracejada vermelha indica o datum de correlação estratigráfico. A linha tracejada cinza separa a Formação Palermo e a Formação Rio Bonito. TST = Trato de Sistemas Transgressivo, TSNB = Trato de Sistemas de Nível Baixo, TSNA = Trato de Sistemas de Nível Alto 67
Tabela 7: Porcentagem dos litotipos nas camadas de carvão superiores, BL e inferiores da jazida de Candiota baseada nos testemunhos analisados neste trabalho..... 74
Tabela 8: Média dos resultados do teor de umidade, teor de cinzas, teor de matéria volátil, teor de carbono fixo e matéria volátil (d.a.f.) de todas as camadas dos quatro furos utilizados neste estudo..... 88
Tabela 9: Valores médios em peso (%) da análise elementar dos carvões dos quatro furos..... 89
Tabela 10: valores médios do poder calorífico d.a.f. (dry ash free) em cal/g das amostras de carvão de cada furo de sondagem..... 90

SUMÁRIO

Capítulo I 12
1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA 12
1.1. Introdução 12
1.2. Objetivos 15
1.3. Localização da área 15
1.4. Revisão Teórica 17
1.4.1. Definição de carvão 17
1.4.2. Formação do carvão 17
1.4.3. Rank do carvão 18
1.4.4.Composição do carvão 21
1.4.4.1. Litotipos 21
1.4.4.2. Macerais 21
1.4.4.3. Matéria Mineral 24
1.4.5. Principais trabalhos relacionados à caracterização do carvão de Candiota. 26
Capítulo 2 29
2. GEOLOGIA REGIONAL 29
2.1. A Bacia do Paraná e sua Evolução Estratigráfica 29
2.2. Contexto Estratigráfico da região de estudo 32
Capítulo 3 34
3. METODOLOGIA 34
3.1. Metodologia da Análise Estratigráfica 35
3.1.1. Descrição dos Testemunhos e Interpretação dos dados 35
3.2. Metodologia referente ás análises petrológicas e Geoquímicas 37
3.2.1. Análises Petrológicas 38
3.2.1.1. Litotipos 39
3.2.1.2. Preparação das Amostras para Análise Microscópica 39
3.2.1.3 Reflectância da Vitrinita 39
3.2.1.4 Análise dos Macerais 40
3.2.2. Análises Químicas 40
3.2.2.1. Análise Imediata 41
Determinação do percentual de Umidade 41
Determinação do percentual de Cinzas 41
Determinação do percentual de Matéria Volátil 42
Determinação do percentual de Carbono Fixo 43
3.2.2.2. Análise Elementar 43
3.2.2.3. Poder Calorífico 44
3.2.2.4. Difração de Raios X (DRX) 45
Capítulo 4 47
4. RESULTADOS 47
4.1. Análise Estratigráfica 47
4.1.1. Arcabouço Faciológico 47
4.1.1.1. Fácies 47
4.1.1.2. Associação de Fácies e Sistemas Deposicionais 56
4.1.1.2.1. Sistema Deposicional Aluvial 58
4.1.1.2.2. Sistema Deposicional Fluvial 60
4.1.1.2.3. Sistema Deposicional Barreira-Laguna 61
4.1.1.2.4. Sistema Deposicional Marinho Raso dominado por Ondas 64
4.1.1.3. Arcabouço Cronoestratigráfico 66
4.1.1.3.2. Superfícies-chave 70
4.1.1.3.3. Tratos de Sistemas 71
4.2. Análises Petrológicas 73
4.2.1. Identificação das camadas para a análise petrológicas e químicas 73
4.2.1. Litotipos do carvão 74

4.2.2. Análise de macerais e matéria mineral 75
4.2.3. Composição petrográfica em relação à posição estratigráfica 78
4.2.4. Reflectância da vitrinita (rank) 86
4.3. Análises Geoquímicas 88
4.3.1. Análise imediata 88
4.3.2. Análise elementar 89
4.3.3. Poder calorífico 90
4.3.4. Difração de raios X 91
Capítulo 5 92
5. DISCUSSÕES 92
5.1. Estratigrafia de Seqüências e a distribuição do carvão. 92
5.2. Petrologia do carvão e Estratigrafia de Seqüências 94
5.3. Litotipos e sua relação com os grupos de macerais e matéria mineral 96
5.4. Qualidade do carvão 97
Capítulo 6 100
6. CONCLUSÕES 100
6.1. Sistemas Deposicionais e Estratigrafia de Seqüências na sucessão portadora de carvão 100
6.2. Resultados petrológicos das camadas de carvão 101
6.3. Resultados das análises químicas 101
6.4. Petrologia, Química e Estratigrafia de Sequências 102
6.5. Qualidade do carvão 103
REFERÊNCIAS 104
Apêndices 110

Capítulo I

1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

1.1. Introdução

Os combustíveis fósseis (carvão, óleo e gás natural) são os principais recursos energéticos utilizados pela sociedade. Como estes recursos encontram-se em quantidades limitadas na natureza ocorre uma demanda por um melhor aproveitamento das fontes. Conseqüentemente, motivando a pesquisa para a caracterização destas jazidas já existentes, promovendo o entendimento dos processos sedimentares.

O carvão mineral é um dos recursos energéticos que teve grande importância no passado e que atualmente apresenta crescimento na demanda por energia, em média 2% ao ano, junto ao fato de que as reservas de carvão são muito significativas no contexto mundial.

No Brasil, do volume de reservas de carvão da Bacia do Paraná, o Rio Grande do Sul responde por 89,25%; Santa Catarina, 10,41%; Paraná, 0,32% e São Paulo, 0,02%. Nos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Piauí, Maranhão, Pará, Amazonas e Acre também há ocorrências de carvão (em outras bacias), mas a quantidade e qualidade (tipo linhito e sub-betuminoso) é economicamente pouco relevantes.

Somente a jazida de Candiota (RS) possui 38% de todo o carvão nacional. Entretanto, o minério é pobre do ponto de vista energético e na maioria das vezes não admite beneficiamento nem transporte, em função do elevado teor de impurezas. Isto faz com que em Candiota sua utilização seja feita sem beneficiamento e na boca da mina. (ANEEL, 2008).

A estratigrafia de seqüências tem se mostrado uma ferramenta bastante condizente, já que atribui um caráter preditivo e dinâmico à análise estratigráfica, correlacionando estratos geneticamente relacionados. Assim sendo, pode-se construir a história evolutiva de deposição e os fatores que a influenciaram. O uso desta ferramenta em camadas portadoras de carvão mostrou-se eficiente, sendo utilizado no Brasil em trabalhos como Alves & Ade (1996) e Holz & Kalkreuth (2004)

na mesma jazida deste trabalho, Silva *et al.*, (2008) na mina de Leão-Butiá e Kalkreuth *et al.,* (2010) em Santa Catarina.

A jazida de carvão de Candiota (RS) localiza-se na Depressão Periférica, uma faixa aflorante de rochas sedimentares da bacia do Paraná no estado do Rio Grande do Sul (Figura 2), com ocorrências de carvão na Formação Rio Bonito, sendo-lhe atribuída a idade de Permiano Inferior.

No depósito de carvão de Candiota ocorrem 17 camadas de carvão denominadas (da base para o topo) de Camadas Inferiores 1 a 5 (Figura 1), "Camada Candiota Inferior" (CCI), "Camada Candiota Superior" (CCS), Camada "Banco Louco" (BL) e Camadas Superiores 1 a 9. Atualmente são exploradas as Camadas CCI e CCS, com aproximadamente 2 m de espessura cada uma, intercalados por uma camada de argilito de aproximadamente 60 cm. Estas camadas são mineradas pela CRM (Companhia Riograndense de Mineração), empresa estatal detentora dos diretos de lavra da jazida.

Com cobertura na faixa de 23,3 m para a camada Candiota Superior, a mineração se processa a céu aberto. A relação estéril/minério está na faixa de 1,5 m^3/t de carvão ROM e o rendimento, apenas para a camada Candiota (superior e Inferior), é de 7 t/m^2. Para disponibilização de uma maior oferta de carvão para utilização termoelétrica é necessário uma melhor caracterização de todas as camadas de carvão que constituem a jazida.

Conforme Holz & Kalkreuth (2004) o intervalo entre as Camadas Inferior 1 até Inferior 5, localizadas estratigraficamente abaixo das camadas Candiota Superior e Candiota Inferior, tem uma área de aproximadamente 32 km² com espessura cumulativa de até 8m. Entretanto, depois da exploração das camadas de carvão "Candiota Inferior" e "Candiota Superior", o terreno é recuperado com a reposição de parte da cobertura retirada e da cobertura vegetal. Assim sendo, as camadas Superiores e Inferiores não estão sendo aproveitadas, diminuindo drasticamente as reservas totais do depósito.

Considerando-se da base da camada Candiota Inferior (cota lavrada hoje em dia), até a base da camada I4, a relação estéril/minério está na faixa de 2,0 m^3/t (2 m^3 de estéril para cada tonelada de carvão), relação esta bastante baixa, tornando possível a mineração destas camadas inferiores de forma econômica e rentável.

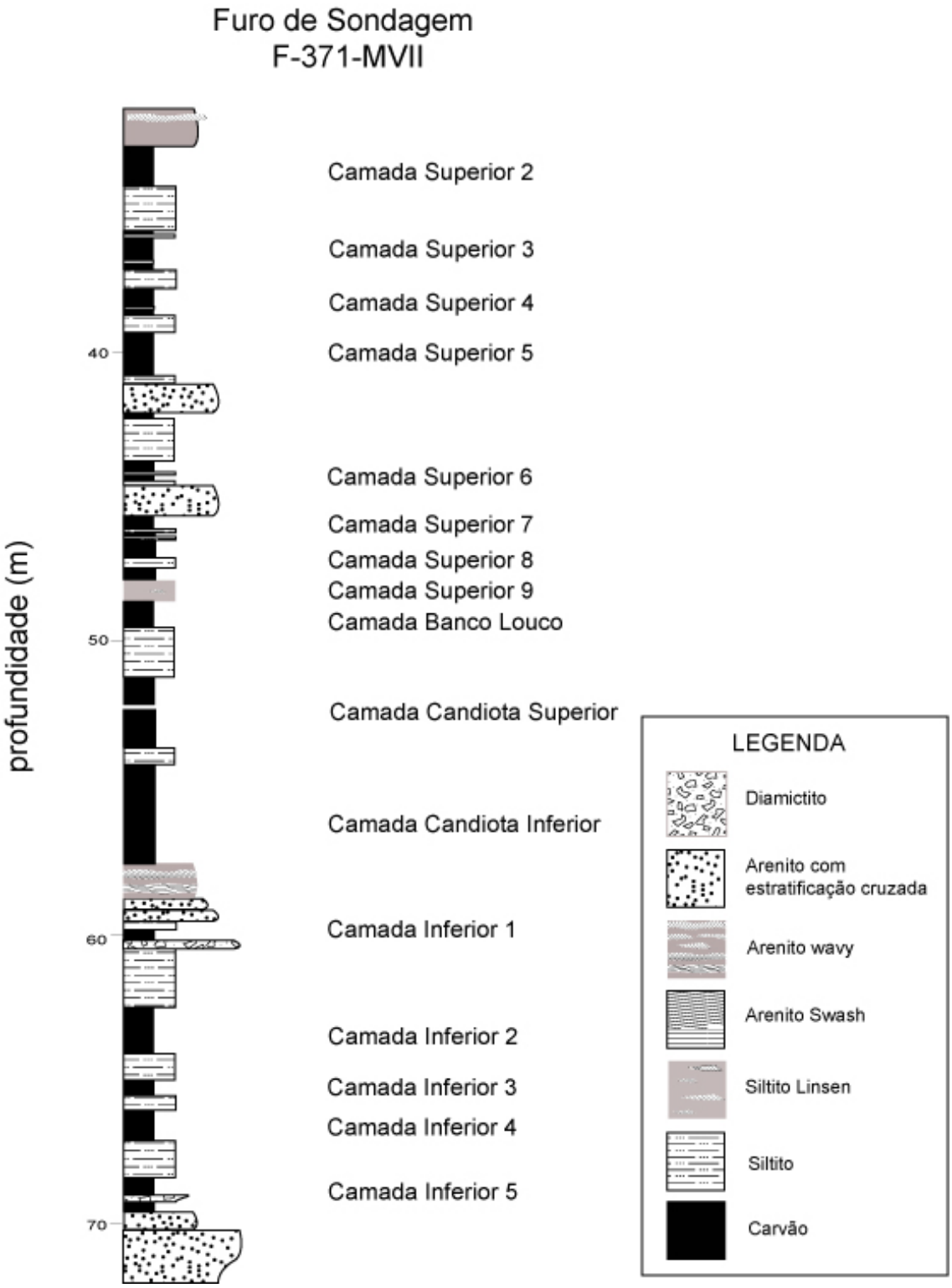


Figura 1: Perfil representativo do furo de sondagem F-371-MVII com as camadas superiores 2 a 9, Banco Louco, Candiota Superior, Candiota Inferior e Inferiores 1 a 5.

1.2. Objetivos

Este trabalho busca desenvolver um estudo geológico, integrando a Estratigrafia de Seqüências juntamente com a geoquímica e a petrologia do carvão, nas Camadas Superiores, Banco Louco e Camadas Inferiores da jazida de Candiota, gerando assim, dados capazes de auxiliar no desenvolvimento e no melhor aproveitamento da jazida.

1.3. Localização da área

A área de estudo escolhida situa-se no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, no município de Candiota (Figura 2). Abrange uma área de 3,7 km² (1,661 x 2,212 km). Localiza-se a cerca de 420 km de Porto Alegre- RS, e tem como principal via de acesso a BR-293, que corta o município. A área encontra-se entre as coordenadas UTM do fuso 22: 6499959N e 6498298N; 239409E e 241621E (Figura 2). A Tabela 1 apresenta a numeração dos furos de sondagem no mapa e o seu respectivo nome.

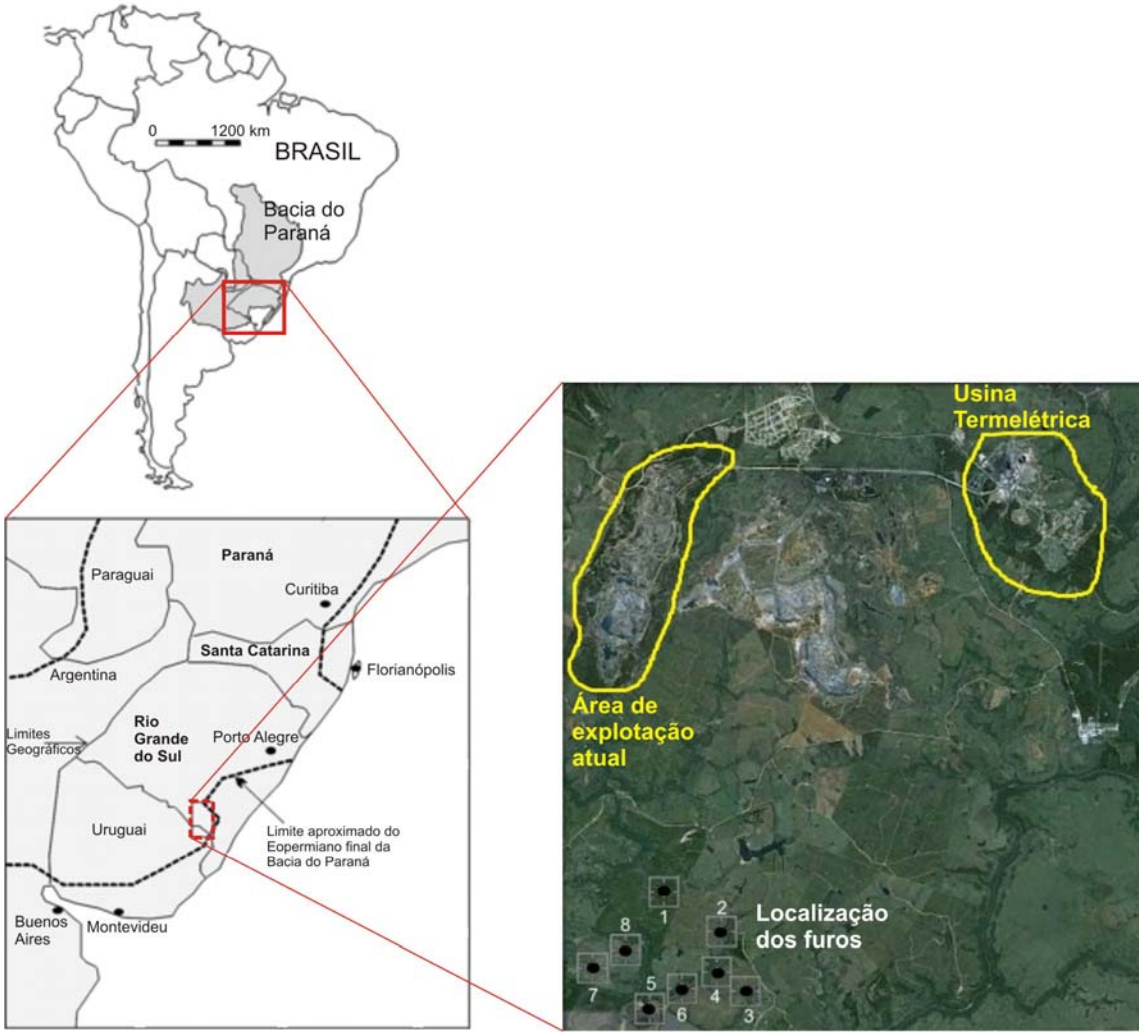


Figura 2: Mapa com a localização da Bacia do Paraná, mostrando o estado do Rio Grande do Sul, detalhando a localização da área de estudo, enfatizando os poços utilizados na região de Candiota, a área de explotação atual da mina de Candiota e a Usina Termelétrica Presidente Médici.

Tabela 1: Numeração dos furos de sondagem no mapa com o seu nome e as coordenadas UTM respectivamente.

Numeração do furo no mapa	Furo de Sondagem	UTM E	UTM N
1	F-364-MVII	240415	6499959
2	F-365-MVII	241260	6499422
3	F-366-MVII	241621	6498592
4	F-368-MVII	241203	6498853
5	F-369-MVII	240240	6498298
6	F-370-MVII	240702	6498600
7	F-371-MVII	239409	6498856
8	F-372-MVII	239882	6499123

1.4. Revisão Teórica

1.4.1. Definição de carvão

Segundo Schopf (1956) o carvão e uma rocha combustível que contém mais de 50% do seu peso e mais de 70% do volume de material carbonáceo, a qual e formada por compactação ou por endurecimento de plantas remanescentes, similar aos depósitos de turfa. Diferenças nos tipos de planta (flora), no grau de carbonificação (*rank*) e escala de impureza são características das variedades de carvão.

1.4.2. Formação do carvão

Geralmente os carvões húmicos (bandados) se originam de restos de plantas terrestres superiores depositadas em áreas alagadas (pântanos). Ficando assim coberta pela água, a matéria vegetal fica protegida da ação do oxigênio do ar, sofrendo decomposição parcial, seguida de ação bacteriana, bem como da pressão de camadas sobrepostas e, com a subsidência, o efeito da temperatura e tempo (duração de tempo em determinada temperatura). Os carvões húmicos representam cerca de 90% dos carvões mundiais e podem ser divididos em dois tipos de depósitos: os parálicos e os límnicos. Os depósitos parálicos dão a entender que havia uma conexão de hidrológica com o mar no tempo da deposição da turfa. Estes podem ser encontrados ao longo de planícies litorâneas, lagunas de barreira, estuários e deltas. Os depósitos límnicos, segundo Bustin *et al*., (1983), são os carvões depositados nas regiões entre montanhas, onde o nível de água era controlado através de condições locais em vez de regionais.

Os carvões sapropélicos são compostos por esporos, pólens ou algas, depositadas como lama no fundo de lagos e lagunas. Possuem uma textura homogênea (não bandada), amorfa, são duros e quebram de maneira conchoidal, representam cerca de 10% dos depósitos de carvão do mundo.

A transformação do material vegetal em carvão é chamada de carbonificação, e é composta por dois estágios: primeiro estágio chamado carbonificação

bioquímica. A carbonificação bioquímica consiste da ação de bactérias que vivem na água de pântanos, onde a matéria orgânica está sendo depositada. Estes organismos atacam as substâncias mais facilmente degradáveis, os carboidratos, e, posteriormente, os mais resistentes, tais como as cascas, cutículas, resinas e ceras. A matéria vegetal, na fase inicial, decompõe-se na presença de certa quantidade de oxigênio e pelas bactérias aeróbicas. À medida que a matéria orgânica é acumulada e soterrada, a degradação ocorre em condições de ausência de oxigênio, e o papel principal é exercido pelas bactérias anaeróbicas. A carbonificação bioquímica termina quando atinge o *rank* de carvão sub-betuminoso e quando substâncias húmicas polimerizam. O segundo estágio é chamado de carbonificação físico-química. O início desta fase é caracterizado pela subsidência gradual da matéria orgânica degradada, onde ocorre um aumento na temperatura e pressão. A influência destes dois parâmetros no carvão é a perda de voláteis e um aumento percentual de carbono. Em outras palavras, a massa vegetal acumulada e soterrada sofre uma transformação gradual através de processos bioquímicos no inicio e geoquímicos posteriormente, e essa maturação leva-a para os estágios de turfa, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso ate antracita e grafite.

As características e as propriedades de um carvão dependem da matéria orgânica, da maneira como transcorreram os processos bioquímicos e físico-químicos e da sua duração após o soterramento da matéria prima.

1.4.3. *Rank* do carvão

O grau de alteração que o carvão foi submetido pelo soterramento e efeitos tectônicos determinam o grau de carbonificação (*rank*). Após o soterramento, processos geoquímicos convertem turfa em linhito, e mais tarde a carvão sub-betuminoso e antracito. Os parâmetros principais para se medir os estágios do grau de carbonificação de um carvão envolvem: umidade, poder calorífico, matéria volátil, carbono fixo total, teor de hidrogênio e reflectância da vitrinita. Esses estágios são referidos como níveis de carbonificação, que indicam o nível do *rank* de carvão.

O *Rank* ou grau de carbonificação refere-se ao grau de maturação do carvão. A seqüência é representada na Figura 3.

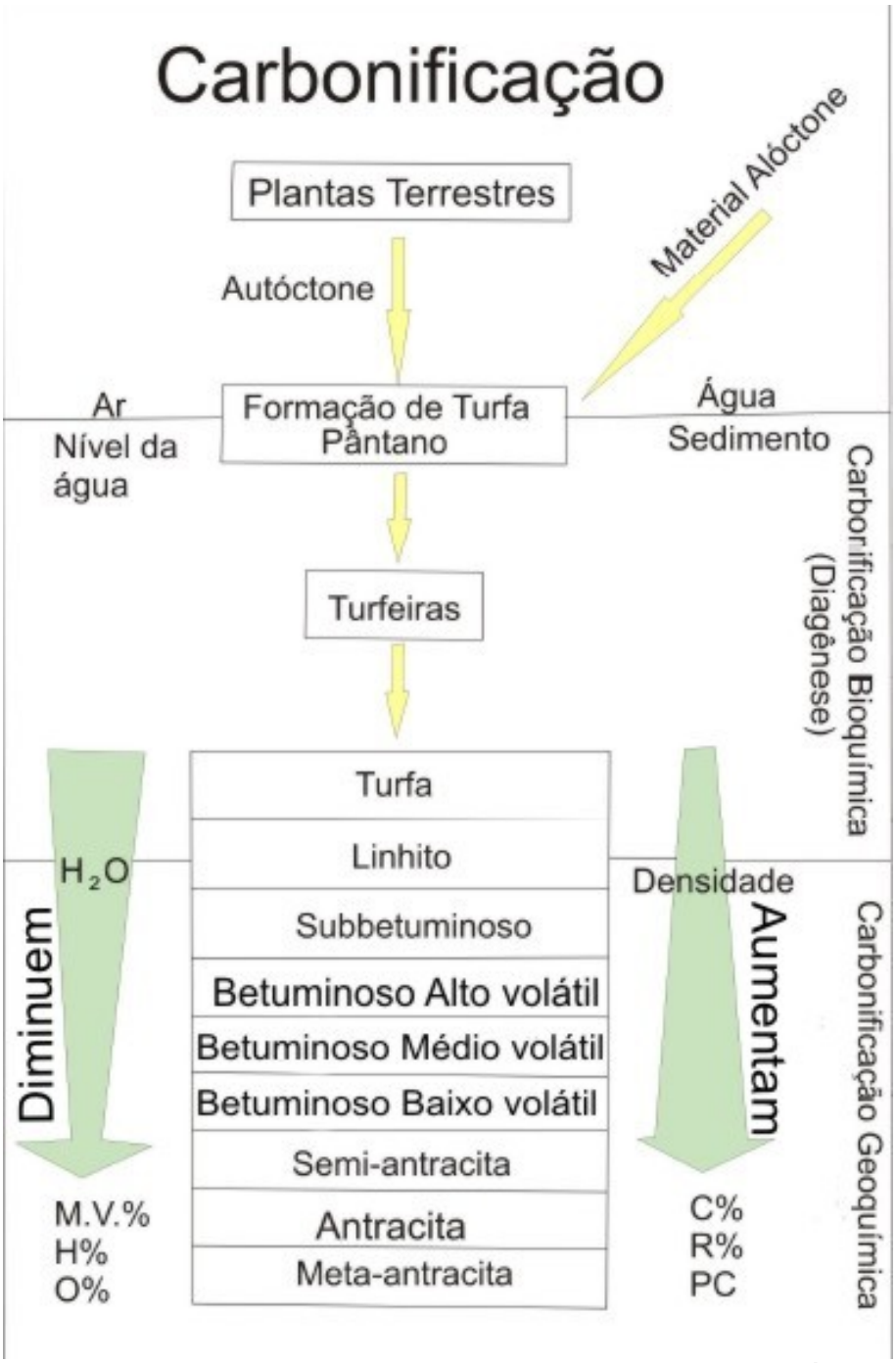


Figura 3: Esquema ilustrando a formação do carvão, com mudanças nos parâmetros principais usados na determinação do rank; M.V.- matéria volátil % em peso, H,O,C- % em peso, R%- reflectância da vitrinita e PC- poder calorífico em cal/g

Segundo Bustin *et al*. (1983), a classificação do carvão nunca foi uma tarefa simples, devido à complexidade das propriedades químicas e físicas e seus usos variados.

A determinação do nível do *rank* do carvão através de vários parâmetros químicos e óticos é mostrada na Figura 4.

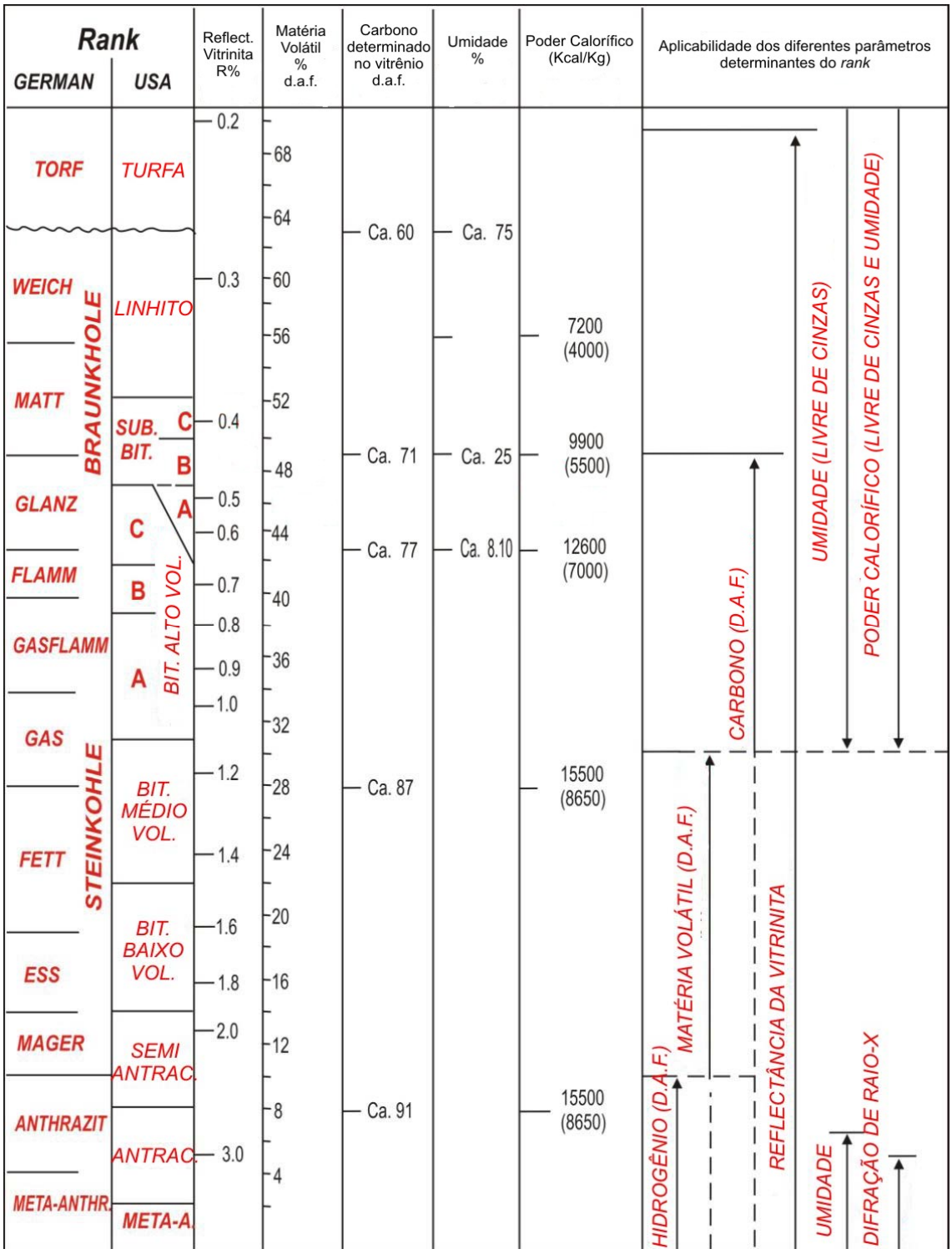


Figura 4: Determinação do nível do *rank* dos carvões de acordo com diversos parâmetros. Fonte: Modificado de Stach *et al.* (1982)

1.4.4.Composição do carvão

1.4.4.1. Litotipos

São as unidades macroscópicas do carvão. Segundo o Comitê Internacional para Petrologia Orgânica e do Carvão – ICCP (1971), litotipos são as bandas identificadas macroscopicamente no carvão, sobretudo pelo brilho (STACH, 1982), por definição com espessura mínima de 1 cm, as quais podem refletir o tipo de contribuição da matéria orgânica e inorgânica, bem como as variações químicas e físicas sofridas na época da acumulação em turfeiras (KALKREUTH & LECKIE, 1989). Nesse trabalho foi adotada a classificação de Diessel (1965), detalhada na Tabela 2, que se refere à carvões húmicos e bituminosos.

Tabela 2: Classificação dos litotipos, sistema de Stopes-Heerlen e sistema da Austrália (DIESSEL, 1965).

ICCP-Stopes-Heerlen	Sistema da Austrália (DIESSEL, 1965)	Descrição
Vitrênio	Brilhante (B)	Brilho vítreo a subvítreo, fratura conchoidal; frágil; até 10% de bandas de carvão fosco.
	Bandado brilhante (BB)	Brilhante, com bandas de carvão fosco que podem variar entre 10 e 40%
Clarênio	Carvão bandado (BC)	Bandas de carvão brilhante e fosco que variam entre 40 e 60%
Durênio	Carvão fosco bandado (BD)	Predomínio de carvão fosco com bandas de carvão brilhante em proporções entre 10 e 40%.
	Carvão fosco (D)	Fosco e não fraturado, podendo conter ate 10% de carvão brilhante.
Fusênio	Carvão fibroso (F)	Friável

1.4.4.2. Macerais

São os componentes microscópicos que constituem o carvão. Segundo ICCP (1971), macerais são remanescentes de plantas carbonificadas, as quais representam forma e/ou estrutura ainda preservada no estágio de linhito e do carvão betuminoso (grau de evolução térmica) ou ainda produtos da degradação os quais a

origem vegetal não pode mais ser reconhecida. São três os grupos de macerais: vitrinita, liptinita e inertinita, distinguidos pelos parâmetros principais: reflectância, morfologia, tamanho e fluorescência. ICCP (1971) mostra a origem dos diferentes macerais, onde o grupo da Vitrinita é o produto da carbonificação de substâncias húmicas, os quais são essencialmente originados de lignina de paredes celulares. Já o grupo da Liptinita é originado de remanescentes de componentes de plantas relativamente ricas em hidrogênio tais como esporopolenina, resinas, ceras e graxas e são os macerais de menor poder refletor comparados com os macerais dos grupos da vitrinista e da inertinita. A Inertinita (maceral relativamente inerte à queima e à processos tecnológicos como coqueficação e conversão) e derivada das mesmas substâncias originais que formam a vitrinita, mas submetidas a um processo de oxidação antes da deposição em ambiente de pântanos. Por exemplo, enquanto um tecido lenhoso e transformado em vitrinita (telinita) por processos de humificação e gelificação ele pode transformar-se em inertinita por incêndio na floresta ou oxidação. Os constituintes inorgânicos são constituídos principalmente por silicatos, argilo-minerais, carbonatos e sulfetos. A Tabela 3 mostra os principais grupos de macerais e macerais que foram utilizados para as análises deste trabalho.

Tabela 3- Classificação dos macerais. Fonte: ICCP(1971) Modificado

Grupos de Macerais	Subgrupo de Macerais	Maceral	Origem
Vitrinita	Telovitrinita	Telinita	Paredes celulares de tecidos lenhosos e parênquimáticos
		Colotelinita	Tecidos lenhosos parênquimáticos do caule, folhas e raízes.
	Detrovitrinita	Vitrodetrinita	Produto da decomposição dos tecidos lenhosos e parênquimáticos
		Colodetrinita	Produto da decomposição dos tecidos lenhosos e parênquimáticos
	Gelovitrinita	Corpogelinita	Primária de estruturas de dentro das células (tanino, secreções) ou secundária como produto da precipitação de géis húmicos
		Gelinita	Formado a partir de colóides húmicos durante a diagênese precoce seguido de precipitação com gel coloidal
Liptinita		Esporinita	Pólen e esporos
		Cutinita	Cutículas e folhas
		Resinita	Resinas e graxas
		Alginita	Algas ou bactérias
		Liptodetrinita	Fragmentos de outros macerais deste grupo
Inertinita		Fusinita	Paredes celulares ligno-celulósicas
		Semifusinita	Parênquimas e xilênquimas de troncos e folhas
		Micrinita	Forte fragmentação de outros macerais deste grupo
		Macrinita	Alteração de substâncias húmicas
		Secretinita	Oxidação de resinas e géis húmicos
		Funginita	Esporos de fungos e tecidos
		Inertodetrinita	Material fitogenético sujeito a fusinização

1.4.4.3. Matéria Mineral

A Matéria mineral representa a parte inorgânica encontrada no carvão. Este material é composto de minerais que foram depositados dentro da turfeira durante ou após a deposição. Existem três grupos principais de matéria mineral no carvão (ICCP, 1963; RAO E GLUSKOTER, 1973; MACKOWSKY, 1982) que podem ser agrupados em: (1) Matéria mineral proveniente das plantas originais (cinzas inerentes); (2) Partículas minerais primárias, formadas durante ou logo após a deposição, incluindo minerais detríticos e autigênicos; (3) Minerais secundários, formados em um estágio posterior do desenvolvimento do carvão.

A matéria mineral primária e secundária pode ser observada e reconhecida pela petrologia, mas é dificil identificar para todas as fases minerais presentes. Outro método é utilizado para identificar a composição mineral do carvão é a difração de raio X. Os minerais primários podem ser partículas de granulação fina até grossa que se encontram dispersos e intercrescidas com a matéria orgânica do carvão. Os minerais secundários podem ser partículas grosseiras associadas com fraturas e poros (BUSTIN, 1983), ou podem substituir minerais primários. A matéria mineral contida nas plantas originais dificilmente é identificada no microscópio, mas aumenta o teor de cinzas total do carvão. Os principais minerais encontrados no carvão são; argilominerais, quartzo, carbonatos, sulfetos, sulfatos e outros.

Argilominerais

Os argilominerais são o grupo mineral mais comum encontrado nos carvões (BUSTIN, 1983). As argilas estão presentes principalmente na forma de minerais primários que foram depositados na formação da turfeira ou pouco após a sua formação. Caolinita, ilita e sericita são minerais de argila primários comumente encontrados no carvão. Tonsteins, que são formados a partir da deposição de cinzas vulcânicas em um ambiente de formação de turfa, é uma fonte importante de argilominerais primários do carvão. As argilas também podem ser de natureza secundária, com a formação de ilita e clorita a partir de argilominerais primários.

Quartzo

O quartzo é comumente encontrado no carvão, podendo ser primário ou secundário. As formas primárias de quartzo incluem grãos de quartzo detrítico que

foram depositados no lamaçal da turfa, ou quartzo autigênico que precipitou na turfa durante ou após a deposição. Também pode haver a presença autigênica de calcedônia, que é uma forma microcristalina de quartzo. Minerais secundários de quartzo podem ser depositados nas fraturas e cavidades das camadas de carvão, juntamente com calcedônia.

Carbonatos

Os carbonatos são formados pela precipitação química no interior da turfeira. Se isto ocorrer durante sua formação, são denominados de primários, exemplos são a calcita, siderita, dolomita e anquerita. Se ocorrer após a formação da turfeira, são denominados de secundários, presentes dentro das fraturas e dos poros do carvão e geralmente são constituídos por dolomita, calcita e anquerita.

Sulfetos

A pirita é o sulfeto mais comum no carvão, mas outros também podem estar presentes. A principal forma de pirita é a autigênica, que ocorre como cristais finos ou nódulos, na forma de pirita framboidal. A presença de pirita é um indicador de que o carvão pode ter se formado sob a influência marinha (WARD, 2002). Marcassita e melnicovita também podem ocorrer como minerais primários no carvão. Minerais secundários de sulfetos podem ocorrer em poros e fraturas de carvão na forma de pirita, marcassita, esfalerita, galena e calcopirita. Pirita secundária pode substituir siderita primária.

Sulfatos

São minerais secundários do carvão e na sua maioria são formados a partir da oxidação da pirita. Entre os sulfatos se encontram gipsita, sulfato de ferro e anidrita.

Outros Minerais

Outros minerais que podem ser encontrados no carvão são óxidos, silicatos e fosfatos. Entre os óxidos estão a hematita (mineral primário) e a goetita (mineral secundário). Os silicatos incluem feldspatos, biotita, zircão e turmalina detríticos. Os fosfatos, dos quais a apatita é o mais comum, são de origem primária, e podem ocorrer como petrificação da matéria orgânica de dentro do carvão (WARD, 1984).

1.4.5. Principais trabalhos relacionados à caracterização do carvão de Candiota

Com base em estudos de petrografia do carvão (ADE, 1993) e da estratigrafia de sequências (ALVES, 1994), Alves & Ade (1996) consideraram que os carvões da jazida de Candiota foram depositados em um sistema laguna-barreira. O trabalho contou com dados de afloramentos, furos de sondagem e perfis de poço para as camadas BL, CCS, CCI, I1, I2, I3, I4. Identificaram assim em seu estudo, seis parassequências depositadas em um vale inciso, superimposto ao Grupo Itararé.

Silva (1994, 1999) e Silva & Kalkreuth (2005) sugerem um modelo deposicional de turfa para a formação de carvão como se fosse um pântano aberto, com elevados conteúdos de material detrítico orgânico e argilominerais. Resultados de análises geoquímicas mostraram que a matéria orgânica terrestre foi predominante, pois é indicada pelos índices de hidrogênio e oxigênio, como também pelos índices de distribuição de carbono.

Silva (1999) e Silva & Kalkreuth (2005) estudaram a petrografia dos carvões nas jazidas do Leão e Candiota, RS, Permiano Inferior, da Bacia do Paraná. Para tanto se aplicou as análises petrográficas – reflectância da vitrinita, análise de macerais e microlitotipos - além das análises químicas, tais como análise elementar e poder calorífico. Os estudos obtiveram como resultados na camada inferior do Leão carvão para-betuminoso e nas camadas Candiota carvão sub-betuminoso. Além disso, encontrou-se uma tendência de deposição em pântanos de águas abertas para todas as camadas em estudo.

Kalkreuth et al. (2001,2006) também estudaram o carvão permiano no RS, suas características químicas e petrográficas. Para alcançar o objetivo do trabalho, os autores realizaram análises petrográficas, como análise de macerais e reflectância da vitrinita e análises químicas, ICP-AES, ICP-MS (para identificação de elementos-traços), além de análise imediata, análise elementar, poder calorífico e teor de enxofre. Os autores identificaram carvão sub-betuminoso em Candiota. Predominam macerais do grupo da vitrinita e inertinita. Além disso, as análises químicas mostraram um alto conteúdo de cinzas, em torno de 48.5 wt%, e 1,66 wt% de enxofre.

Holz & Kalkreuth (2004) também estudaram as camadas de carvão na área de Candiota, utilizando a estratigrafia de sequências e as análises petrológicas e

químicas. Em seu trabalho identificaram a principal zona de carvão com 17 camadas. Os resultados mostram que mudanças locais nas tendências de acomodação e alto influxo de sedimentos impossibilitam a formação de carvão nos Tratos de Sistemas de Nível Alto (TSNA) e Baixo (TSNB), enquanto que o maior desenvolvimento de camadas de carvão ocorreu no Trato de Sistemas Transgressivo (TST). A distribuição das camadas e a espessura das mesmas é diretamente controlada pelos eventos de inundação. As principais variações na espessura e extensão ocorrem nos, ou perto dos, limites de parasequências. As mais importantes camadas de carvão, que tem aproximadamente 2,5m de espessura, ocorreram no início do trato de sistema transgressivo. As análises petrográficas indicam uma tendência geral ascendente nas camadas de carvão desenvolvidas na parte superior da sequência 2 de 3º ordem com significativas diferenças na propriedades do carvão, relativo à posição estratigráfica entre e com as parassequências. Análises petrográficas detalhadas das camadas indicam uma natureza transgressiva para as camadas de carvão espessas que ocorrem na PS4 (CCI e CCS) (HOLZ & KALKREUTH, 2004). Estes são caracterizados por diminuição na reflectância da vitrinita na base e no topo das camadas de carvão. O alto teor de inertinita do BL no topo da PS 4 sugere a acumulação da turfeira precursora na fase regressiva da parassequência.

Kalkreuth et al. (2006) caracterizaram químicamente e petrograficamente os carvões permianos da Bacia do Paraná (Jazidas de Santa Teresinha, Leão-Butiá e Candiota, RS). Para isto, realizaram análises de reflectância da vitrinita e análises de macerais além de análises químicas para identificar o conteúdo de matéria mineral, a distribuição de elementos-traço e elementos maiores no carvão. Esse estudo encontrou em Candiota camadas de carvão ricas em matéria mineral, com predominância de SiO_2 e Al_2O_3, além de concentrações de elementos maiores e traços, como Fe, B e S controlados por padrões deposicionais, com valores aumentando em camadas de carvões cobertos por estratos marinhos.

Segundo Simão (2007), análises petrológicas de amostras dos carvões usados na termoelétrica Presidente Médici em Candiota mostraram que o maceral mais abundante é a colotelinita, do grupo das vitrinitas, a reflectância das vitrinitas mostrou valores entre 0,41 e 0,49% Rrandom, que indicam o *rank* como sub-betuminoso. As análises químicas constataram que entre os elementos maiores, a

maior ocorrência é de SiO_2 e Al_2O_3. Nos elementos traços, as maiores ocorrências constadas foram de Ba e Zr.

Os carvões da jazida de Candiota foram formados por sistemas deposicionais em tratos de sistemas diferentes, conforme a análise da estratigrafia de sequências: deltaicos de trato de nível baixo e lagunar/estuarinos de trato de nível transgressivo. O carvão explorado atualmente em Candiota é formado pelo sistema lagunar/estuarino, sendo que o carvão deltaico (camadas inferiores) nunca teve grande importância até agora, por isso não era explorado. Iniciou um estudo sobre as Camadas de Carvão Inferiores de Candiota, propondo uma análise estratigráfica com implicações para seu aproveitamento econômico (RODRIGUES, 2008).

Capítulo 2

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. A Bacia do Paraná e sua Evolução Estratigráfica

A Bacia do Paraná é classificada como uma bacia intracratônica, com sua deposição de sedimentos iniciando no Ordoviciano e terminando no Cretáceo, abrangendo um intervalo de tempo geológico de aproximadamente 385 Ma. Durante o Eopaleozóico, localizava-se na porção sudoeste do Paleocontinente Gondwana. Esta bacia teve sua sedimentação sobre a crosta continental, e cobre uma área de 1.400.000 km² da América do Sul (Figura 4), abrangendo países como o Paraguai, Uruguai, Argentina e Brasil, sendo que neste último, incorpora os estados do Rio Grande do Sul (com capital em Porto Alegre), Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (capital Cuiabá) (Figura 4).

A bacia possui como limites físicos o Arco de Assunção a oeste (Figura 4), de Goiânia a norte, de Ponta Grossa a leste e de Rio Grande a sul. Possui um formato alongado segundo a direção NE-SW com 1.750km de comprimento e 900 km de largura, preenchida por rochas vulcânicas e sedimentares, com espessura acima de 7.000 m no depocentro (ZÁLAN *et al*, 1990). A Bacia do Paraná tem sua origem ligada ao final do Ciclo Brasiliano. Conforme a proposta de Milani (1997), o preenchimento da bacia pode ser dividido em seis Superseqüências (conforme Vail *et al*. 1977) ou unidades aloestratigráficas de 2º ordem (Figura 5), limitadas na base e no topo por discordâncias de caráter regional.

A primeira unidade a se depositar foi a Superseqüência Rio Ivaí, corresponde ao primeiro registro deposicional da sinéclise, durante o Ordoviciano-Siluriano, relacionada a Orogenia Oclóyca. Seguida pela Superseqüência Paraná, de idade Devoniana (Figura 5), e ligada a Orogenia Pré-cordilheirana. A Superseqüência Gondwana I de Idade Carbonífera Superior-Permiana está depositada sobre uma discordância, que representa um hiato temporal de 55 Ma devido a glaciação ocorrida sobre a Bacia do Paraná, e está ligada à Orogenia Sanrafaélica (Milani e Ramos, 1998). No Triássico, registra a Superseqüência Gondwana II, restrita ao Rio Grande do Sul e Uruguai. A Superseqüência Gondwana III tem idade Jurássica-

Cretácea, representando o maior evento efusivo do mundo, assentado sobre um imenso deserto. A Bacia do Paraná têm como última unidade a Superseqüência Bauru, que ocorre no Cretáceo.

Como mencionando anteriormente, o intervalo de estudo ocorre dentro da Superseqüência Gondwana I de Milani, 1997 (Figura 5). Sendo esta superseqüência composta pelo Grupo Itararé, que registra a deposição dos sedimentos pós-glaciação representado por diacmititos intercalados com arenitos; Formação Rio Bonito, com arenitos, pelitos e carvões relacionados a um ambiente parálico (com maior acumulação de matéria orgânica), que em contínua retrogradação, culmina em uma máxima inundação da seqüência representada pela Formação Palermo. Também pertence a seqüência o Grupo Passa Dois, que é uma espessa seção regressiva que engloba a Formação Irati, Formação Serra Alta, Formação Teresina e Formação Rio do Rastro, que registram ambientes flúvio-lacustres e flúvio eólicos cujo contexto culmina com depósitos eólicos da Formação Pirambóia.

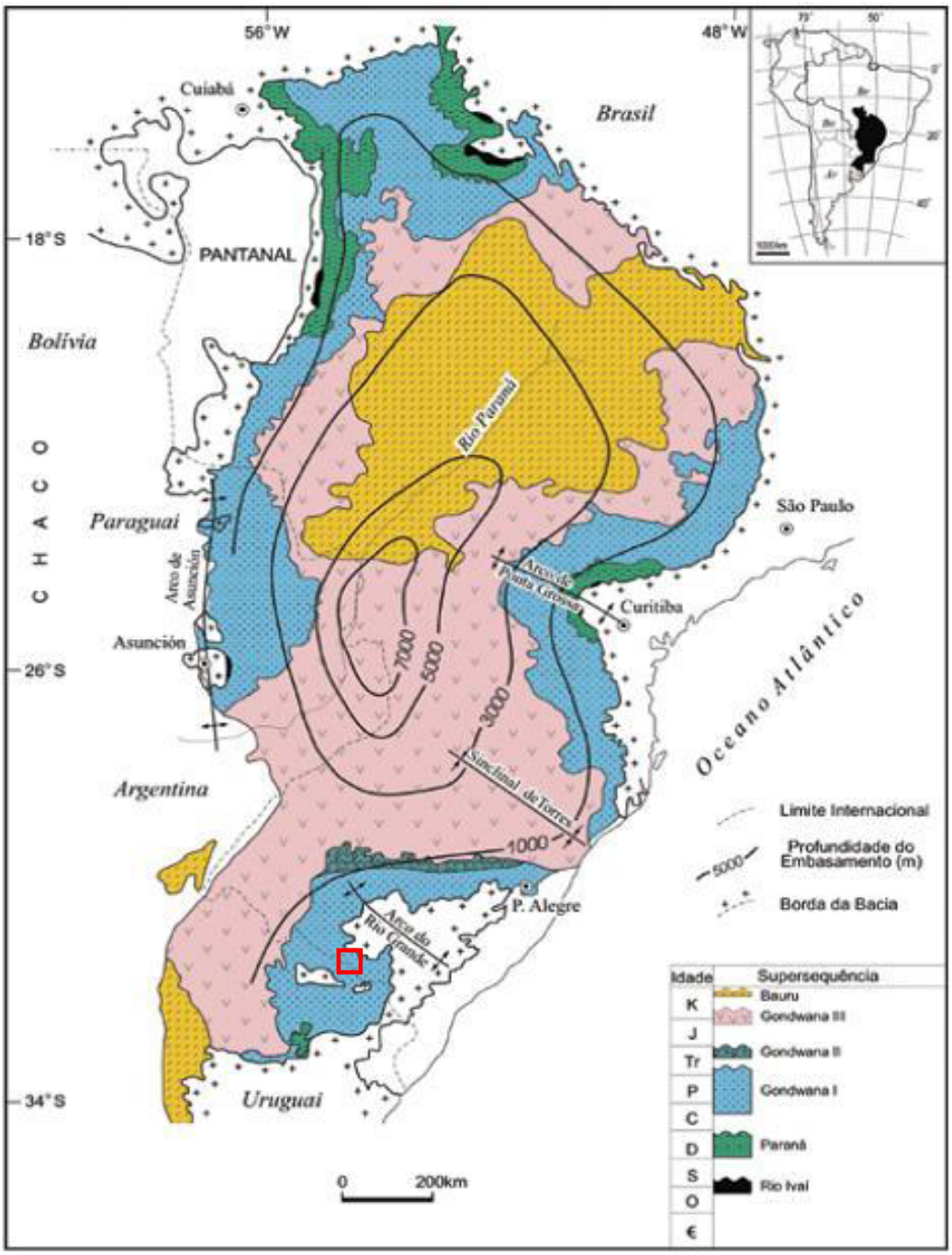


Figura 5: Mapa de isopácas da Bacia do Paraná, mostrando a subdivisão em Superseqüências. O quadrado vermelho indica a localização da área de estudo (fora de escala), inserida na Superseqüência Gondwana I (*mod*. MILANI, 2000).

2.2. Contexto Estratigráfico da região de estudo

O intervalo de estudo ocorre na idade Eopermiana, inserido da Superseqüência I de Milani (1997), compreendendo litoestratigraficamente o Grupo Guatá, nas idades Sakmariano e Artinskiana, correspondentes à unidade litoestratigráfica Formação Rio Bonito (Figura 6). Esta Formação foi dividida em três intervalos, Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis em Santa Catarina, conforme Schneider *et al*., (1974) e Kalkreuth *et al*., (2010), os quais não são possíveis individualizar no Rio Grande do Sul (HOLZ *et al*., 2000).

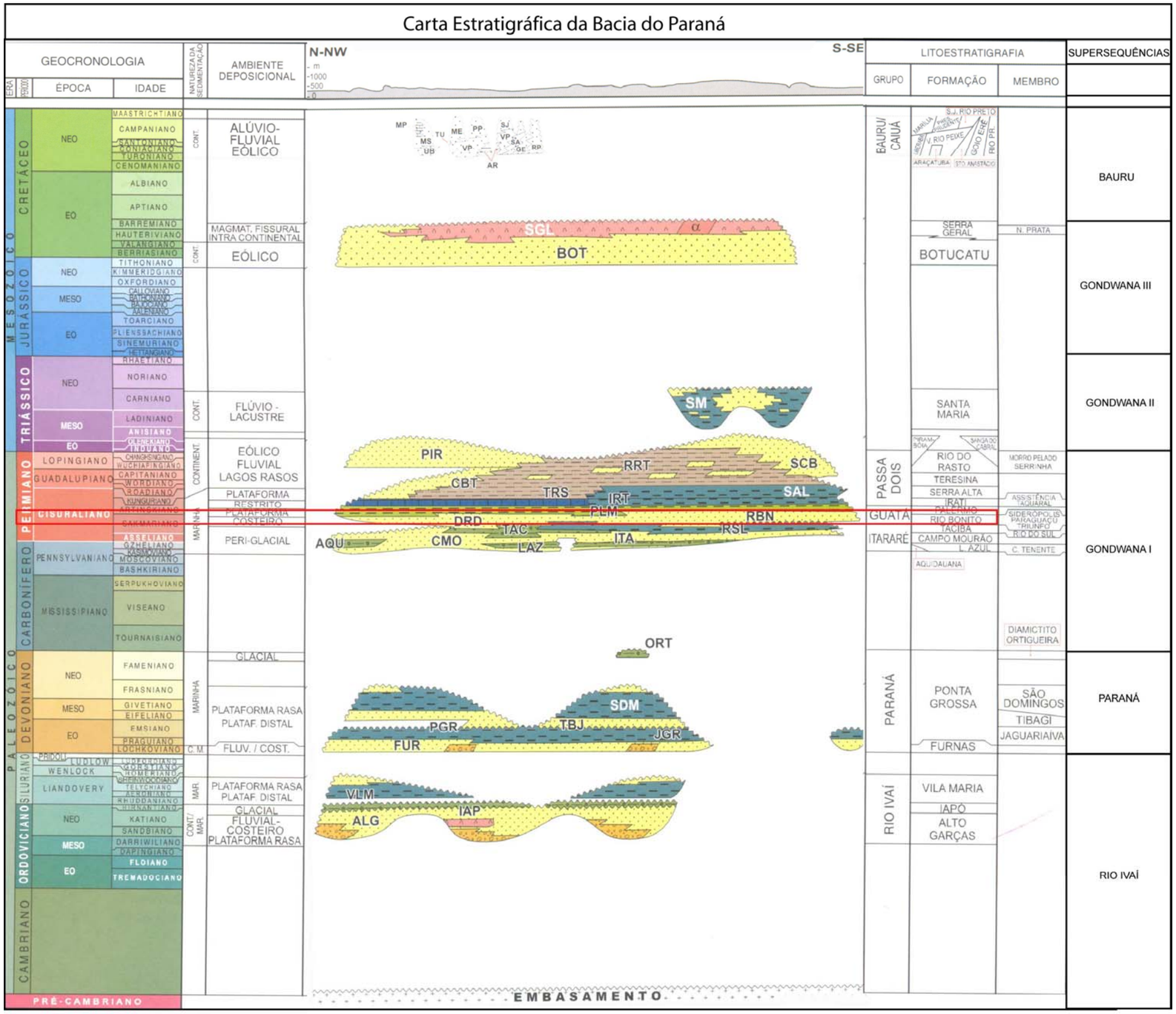


Figura 6: Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná, com destaque para o intervalo estudado (modificado de MILANI *et al.*, 2007)

Capítulo 3

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada a integração de várias técnicas para o bom entendimento dos fatores determinantes na acumulação das turfas no tempo Eopermiano na região estudada e as camadas de carvão resultantes. Foram integradas áreas como a sedimentologia, estratigrafia de seqüências, petrologia orgânica e geoquímica que se complementam dentro do objetivo proposto. Os dados utilizados neste trabalho correspondem a testemunhos de 8 furos de sondagem (Tabela 4) perfurados pela Companhia Riograndense de Mineração – CRM. A profundidade máxima atingida foi de 72m. O diâmetro dos testemunhos corresponde à 4,76cm, e estão armazenados em caixas de madeira subdivididas em quatro partes de 1 metro de comprimento cada uma, no Instituto de Geociências na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A metodologia é dividida em duas partes:

- Metodologia utilizada para a análise estratigráfica: composta pelo tratamento dos dados estratigráficos (testemunhos de 8 furos foram analisados)

- Metodologia referente ás análises petrológicas e geoquímicas realizadas neste trabalho (camadas de carvão de 4 furos que foram analisados)

Tabela 4: Identificação dos furos de sondagem utilizados neste trabalho e o tipo de dado. Para ver a localização dos furos na área, ver Figura 2.

Nome do furo no mapa	FURO	UTM E	UTM N	TIPO DE DADO
1	F-364-MVII	240415	6499959	Estratigráfico + geoquímico
2	F-365-MVII	241260	6499422	Estratigráfico + geoquímico
3	F-366-MVII	241621	6498592	Estratigráfico + geoquímico
4	F-368-MVII	241203	6498853	Estratigráfico + geoquímico
5	F-369-MVII	240240	6498298	Estratigráfico
6	F-370-MVII	240702	6498600	Estratigráfico
7	F-371-MVII	239409	6498856	Estratigráfico
8	F-372-MVII	239882	6499123	Estratigráfico

3.1. Metodologia da Análise Estratigráfica

3.1.1. Descrição dos Testemunhos e Interpretação dos dados

Os dados sedimentológicos obtidos através da descrição dos testemunhos são a base para as interpretações do arcabouço estratigráfico.

Foi preparada uma base digital na escala de 1:100 para a descrição litológica dos testemunhos. Segundo Walker & James (1992) fácies sedimentar é um corpo de rocha caracterizado por uma combinação particular de litologia, estruturas físicas e biológicas que tem um aspecto diferente dos corpos de rocha espacialmente adjacentes. Neste trabalho analisou-se características como litologia, cor, textura, estruturas, espessura, bioturbação, processos diagenéticos e contatos entre as fácies. A descrição foi realizada na forma escrita e gráfica, utilizando-se nesta última a simbologia usual. A fácies é o resultado de um processo ou de um conjunto de processos deposicionais que ocorrem em um ambiente de sedimentação. Portanto uma boa descrição e correta interpretação conduz ao entendimento dos sistemas

deposicionais e da distribuição espacial dos paleosistemas, levando à paleogeografia da área.

Após definição de uma tabela de fácies, com separação por estrutura e litologia, agruparam-se as fácies em associações de fácies. Segundo Collinson (1969) *apud* Walker & James (1992) a associação de fácies é um grupo de fácies geneticamente relacionadas umas à outras e que têm significado ambiental.

Sistemas deposicionais são assembléias tridimensionais de litofácies geneticamente ligadas por processos e ambientes ativos (sistemas modernos) ou inferidos (sistemas antigos) (POSAMENTIER *et al*., 1988) *apud* Walker & James (1992). São formados pela associação de fácies acumuladas pelos diversos processos deposicionais que se desenvolvem em um mesmo ambiente de sedimentação. Através da comparação entre as sucessões verticais de fácies reconhecidas no trabalho e os modelos de fácies já propostos, chega-se à interpretações mais detalhadas que refletem a singularidade de cada sistema deposicional.

Os conceitos da estratigrafia de seqüências (WILGUS *et al*.,1988) focam na interpretação das superfícies cronoestratigráficas que representam eventos de subida ou descida do nível de base. Estas superfícies servem como limites para os tratos de sistemas, que são associações geneticamente e espacialmente relacionadas às seqüências deposicionais. Todos os tratos de sistemas tem uma posição estratigráfica bem definida na seqüência deposicional e são resultantes de um regime sedimentar particular, ditado pela combinação de fatores como flutuações do nível do mar ou eustasia, e a tectônica de bacia ou subsidência (ou soerguimento).

A estratigrafia de seqüências é baseada no reconhecimento das parasseqüências, que são definidas como sucessões de camadas ou conjunto de camadas geneticamente relacionadas delimitadas no topo por superfícies de inundação marinha ou sua superfície correlata (VAN WAGONER *et al*.,1990). Concomitantemente, identificam-se as superfícies cronoestratigráficas que definem uma seqüência deposicional. Inicialmente foram rastreados os limites de seqüência ou suas concordâncias correlatas, através de superfícies erosivas e mudanças abruptas de fácies. Definida a seqüência deposicional, é mapeada a superfície

transgressiva, que indica o início da subida do nível de base, e, se presente, a superfície de inundação máxima, que pode ser utilizada como *datum* estratigráfico.

A observação das parasseqüências em conjunto revela informações sobre o padrão de empilhamento e assim dos tratos de sistemas. Desta forma, é possível classicá-los devido às variações do nível de base. Os tratos de sistema são as maiores unidades mapeadas dentro de uma seqüência deposicional. Desta forma, o arcabouço estratigráfico é definido para cada poço. Após, foram confeccionadas seções *dip* e *strike* da área de estudo, para um melhor entendimento e visibilidade do comportamento espacial e temporal dos ambientes deposicionais.

Como a sedimentação de fácies carbonosas é interdependente das mudanças de nível do mar, pode-se tentar usá-las para comparar a estratigrafia de seqüências e as características das camadas de carvão para investigar controles na sedimentação e detectar os controles ambientais da formação da turfeira.

3.2. Metodologia referente ás análises petrológicas e Geoquímicas

Primeiramente, realizou-se uma descrição resumida dos furos de sondagem, com a identificação das camadas de carvão para o conseqüente processamento das amostras e realização de análises petrográficas e geoquímicas das amostras oriundas dos testemunhos escolhidos para esta parte do estudo. Esta descrição dos testemunhos ocorreu com o intuito de identificar as camadas superiores e inferiores de carvão no furo e separá-las das rochas sedimentares que não fazem parte deste seguimento. A descrição resultou na identificação de 26 camadas superiores, 4 camadas banco louco, 10 camadas inferiores e 2 leitos, totalizando 42 camadas de carvão (amostras) nos 4 furos analisados. Cada camada identificada recebeu um nome de amostra seguindo um padrão do Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras (UFRGS). O apêndice A mostra a identificação completa de todas as camadas encontradas neste estudo, bem como o topo, base, espessura e a numeração que cada camada recebeu para análises laboratoriais.

O critério para a nomeação de cada camada foi a localização da camada Banco Louco (BL), pois esta já é conhecida por ter uma continuidade lateral abrangente, e a partir dela, nomear as camadas superiores e inferiores. Foi feita a

medição da espessura de cada camada e também foram separadas as camadas com espessura inferior a 20cm, pois estas geralmente não são consideradas úteis em minas que operam a céu aberto.

A Figura 7 mostra de forma resumida o todo o processo pelo qual passaram as amostras de carvão.

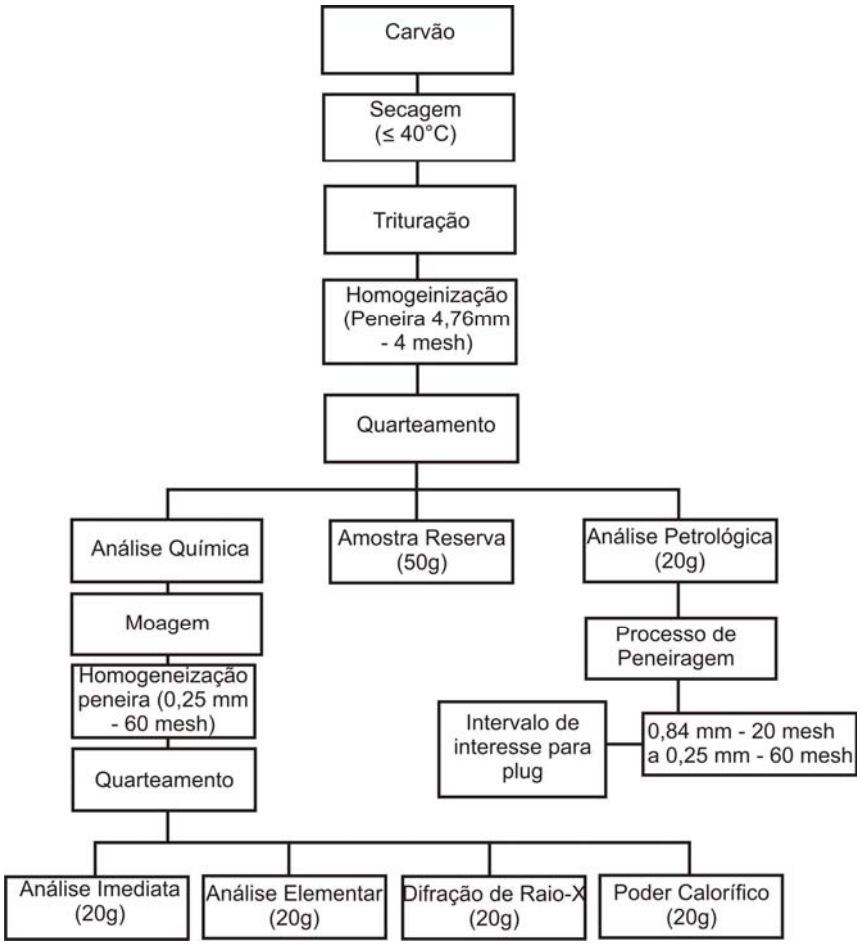


Figura 7: Fluxograma para o processamento de amostras

3.2.1. Análises Petrológicas

Foram realizadas análises petrográficas a fim de caracterizar e classificar os carvões das camadas superiores e inferiores em quatro furos dos oito descritos, através da identificação dos litotipos do carvão, análise quantitativa dos grupos de macerais (incluindo macerais individuais e matéria mineral) e determinação do Grau

de Carbonificação (*rank*) utilizando a técnica da reflectância da vitrinista. Para estas duas últimas, foram confeccionadas seções polidas das amostras.

3.2.1.1. Litotipos

Foi realizada a determinação da distribuição dos litotipos de todas as camadas identificadas nos furos F-364-MVII, F-365-MVII e F-368-MVII. No furo F-366-MVII não foi realizada a determinação dos litotipos porque as camadas de carvão foram utilizadas integralmente para as análises químicas. Para ver a classificação dos litotipos ver a Tabela 2.

3.2.1.2. Preparação das Amostras para Análise Microscópica

As amostras foram reduzidas a uma granulometria inferior a 0,84mm (20 mesh) e superior a 0,25mm (60 mesh) para a confecção de seções polidas em grão. Estas foram preparadas com uma mistura de resina do tipo Epoxi (Araldite CYD248) e endurecedor (HYD951), (20% do conteúdo de Araldite). Após, são submetidas ao desbaste com lixadeiras automáticas rotativas da marca *Buehler*, utilizando pratos de diamante de 45 μm a 9 μm. Depois do lixamento, as seções são polidas em politrizes semi-automáticas marca *Buehler*, com aluminas, de granulometria 0,3 μm usando tecidos tipos texmet e granulometria 0,05 μm numa combinação de texmet e seda, respectivamente, alternando banhos em jatos de água seguidos de intervalos de 2 minutos em ultra-som, para lavagem e eliminação de cada tipo de alumina. Após a confecção dessas seções polidas, estas foram analisadas em microscópio.

3.2.1.3 Reflectância da Vitrinita

O método para definição do poder refletor de uma amostra de carvão consiste na realização de 100 medidas (conforme ISO 7404/5, 1994) para comparação do poder refletor das vitrinitas desta amostra com padrões de reflectância conhecidos e assim determinar o grau de carbonificação (*rank*) do carvão analisado. O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo, e é um Microscópio *Leica DM6000 M* de luz refletida, objetiva de 20X, em óleo de imersão *Immersol 518 F* e oculares de 20X

com uma câmera digital acoplada a um monitor e conectado a um computador utilizando o programa *Diskus Fossil*. O Padrão utilizado foi de Yttrium – Aluminium – Garnet, com reflectância nominal de 0,895 Ro % (ISO 7404/5, 1994).

3.2.1.4 Análise dos Macerais

A análise dos macerais baseia-se na contagem de 500 pontos (ISO-7404/3, 1984) para a identificação e quantificação dos diferentes macerais e matéria mineral contidos na amostra. É realizada em luz branca refletida e em luz de fluorescência através de excitação do filtro azul, a qual ajuda na identificação dos macerais do grupo liptinita. Os resultados da análise petrográfica são expressos em Vol%. O equipamento utilizado é o mesmo para a determinação da reflectância da vitrinita, mas utiliza-se outro programa, o *Diskus Maceral*.

3.2.2. Análises Químicas

Foram realizadas as seguintes análises químicas:

1 – Análise imediata para determinação dos teores de umidade, matéria volátil, cinzas e carbono fixo (resultados em peso %)

2 – Análise elementar para determinação dos principais elementos presentes no carvão, ou seja, carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre (resultados em peso %).

3 – Poder calorífico para determinação da energia produzida pela combustão de uma amostra de carvão.

4 – Difração de raios X para a caracterização e identificação da matéria mineral do carvão.

As amostras foram reduzidas em moinho a uma granulometria inferior a 0,25mm, quarteadas e separadas em potes plásticos contendo cada um deles 20g disponíveis para cada análise realizada.

3.2.2.1. Análise Imediata

Determinação do percentual de Umidade

Essencialmente água, é determinada de acordo com a norma ASTM D 3173-87, e consiste no cálculo da perda de peso da amostra, quando esta é aquecida sob condições rígidas de controle de temperatura, tempo e atmosfera. E utilizada principalmente para recalcular os outros resultados analíticos em uma base livre de umidade (base seca). O procedimento consiste em pesar 1,0g de amostra em um cadinho de vidro e levar para um forno pré-aquecido a uma temperatura entre 104°C-110°C, durante uma hora aplicando-se um fluxo de ar seco. Ao final, pesa-se novamente a amostra e calcula-se o teor de umidade através da equação:

$$\% \text{ Umidade} = \frac{[(A-B)]}{A} \times 100$$

Onde A = massa da amostra em gramas (1,0g).

B = massa da amostra usada após o aquecimento.

Determinação do percentual de Cinzas

Os resíduos inorgânicos que permanecem após a ignição da combustão do carvão são denominados de cinzas. Para a determinação do teor de cinza em uma dada amostra é necessária a pesagem da amostra antes da queima e dos resíduos após a queima do carvão sob condições rígidas de controle de peso da amostra, de temperatura, tempo e atmosfera de acordo com a norma ASTM D 3174. Para esta determinação, pesa-se 1,0 g da amostra em um cadinho de porcelana, leva-se para um forno de mufla em temperatura ambiente. Inicia-se o aquecimento do forno gradualmente até 500°C durante a primeira hora, e até 750°C no final da segunda hora, após, mantém-se esta temperatura por mais duas horas. Durante o aquecimento, é mantido uma taxa de fluxo de ar de 2-4 mudanças do volume do ar dentro do forno, por minuto. Após as quatro horas de aquecimento, a amostra é resfriada e então pesada. O percentual de cinzas é calculado pela expressão abaixo:

$$\% \text{ Cinza} = \frac{[(A-B)/]}{C} \times 100$$

Onde A = soma da massa do cadinho com os resíduos das cinzas (peso depois do aquecimento).

B = massa do cadinho vazio.

C = massa da amostra utilizada antes da queima (1,0g).

Determinação do percentual de Matéria Volátil

Este método determina o percentual de produtos voláteis o qual é liberada sob condições de aquecimento controladas seguindo a norma ASTM D 3175. Para determinação, pesa-se 1,0g da amostra em um cadinho de platina com tampa, leva-se para um forno de mufla pré-aquecido a uma temperatura de 950°C por 7 minutos. Após este tempo, retira-se o cadinho do forno e deixa-se esfriar até a temperatura ambiente, para então pesar novamente a amostra. O percentual de matéria volátil é calculado em duas etapas pelas expressões abaixo:

$$\% \text{ de Perda de Peso} = \frac{[(A-B)]}{A} \times 100$$

Onde A = massa da amostra utilizada (1,0 g).

B= massa da amostra após o aquecimento (peso depois do aquecimento).

Então o percentual de matéria volátil é dado pela expressão:

$$\% \text{ de Matéria Volátil} = C-D$$

Onde C = % Perda de Peso.

D = % de Umidade, determinado pela norma ASTM D 3173-87 descrita anteriormente.

Determinação do percentual de Carbono Fixo

Expressa a quantidade de matéria orgânica não volátil no carvão. É um valor calculado pela soma dos percentuais de umidade, cinza e matéria volátil, subtraído de 100, como mostra a expressão abaixo:

% de Carbono Fixo = 100 - (% Umidade + % Cinza + % Matéria Volátil)

3.2.2.2. Análise Elementar

A análise elementar é um termo usado na determinação dos principais elementos presentes na matéria orgânica no carvão, isto é carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio. O procedimento analítico pode ser encontrado na norma ASTM D-5373. Ela baseia-se em que cada amostra de carvão é individualmente queimada em ambiente oxidante ao passar por dois fornos (Figura 8), um de combustão e outro de oxidação, com temperaturas 1150°C e 850°C respectivamente. Os gases produzidos na combustão então são carreados por uma corrente de gás hélio até um terceiro forno de redução, onde são formados os gases N_2, CO_2, H_2O e SO_2 passíveis de uma quantificação, juntamente com o gás hélio que carrega estes outros gases formados. Essa mistura de gases é então direcionada para três colunas, onde são detectados os valores de condutividade térmica (TCD). Os resultados são dados em porcentagem dos elementos C, H, N e S. Os teores de oxigênio não são dados diretamente, eles são calculados através da fórmula:

% O = 100 - (%cinza + %C + %H + %N + %S)

Onde %O = teor de oxigênio
%cinza = teor de cinza
%C = teor de carbono fixo
%H = teor de hidrogênio
%N = teor de nitrogênio

%S = teor de enxofre

As análises elementares dos carvões foram realizadas em equipamento da marca *Elementar* modelo *Vario MACRO* do Laboratório de Processamento Mineral – LAPROM do Centro de Tecnologia da UFRGS – CT (Figura 8).

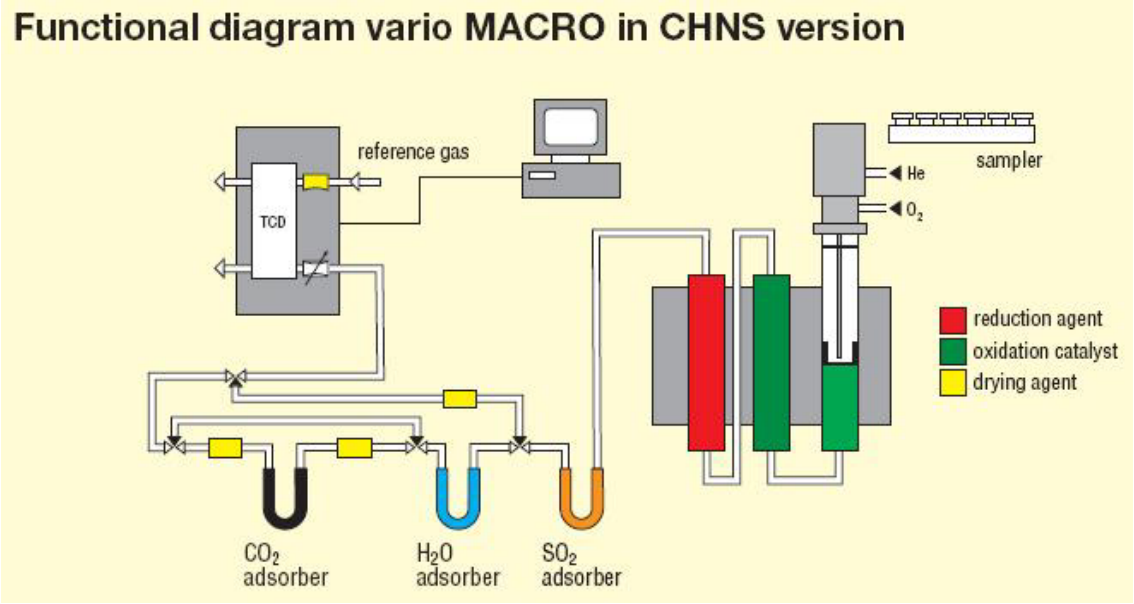


Figura 8: Diagrama funcional do equipamento de análise elementar (Modificado de vario MACRO, 2004)

3.2.2.3. Poder Calorífico

Segundo a ASTM D 5865 10ae (2010), determina-se o calor produzido pela combustão de uma quantidade unitária de uma substância sob condições específicas. O método baseia-se na combustão de uma amostra sob atmosfera de oxigênio em um aparelho chamado Bomba Calorimétrica onde um cilindro é colocado em uma quantidade de água conhecida e com uma temperatura pré-definida, posteriormente é monitorado o acréscimo da temperatura dessa água pela parede da bomba calorimétrica, tendo-se o valor de acréscimo da temperatura causada pela combustão. O valor real é então comparado com uma amostra de referência (ácido benzóico). Para otimizar o processo de combustão, o cilindro (Figura 9) é preenchido com oxigênio puro (99,95%) em uma pressão de 30 bar.

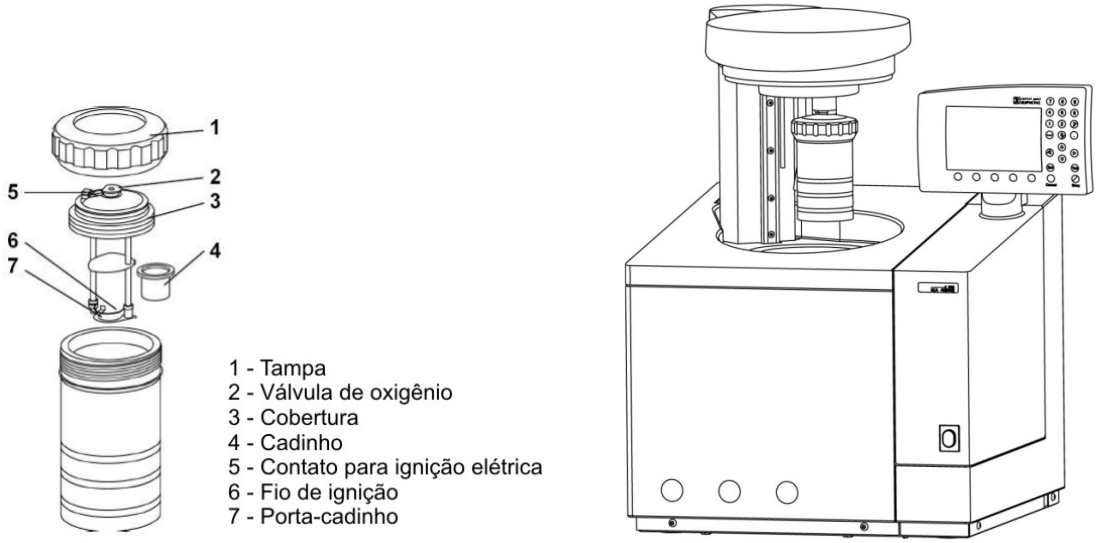


Figura 9: Partes do cilindro e bomba calorimétrica com o cilindro acoplado (modificado de IKA – WERKE, 2007)

O valor do poder calorífico de uma determinada amostra é dado então pelo cálculo do acréscimo da temperatura dá água no interior da bomba depois que a ignição da combustão da amostra ocorre dentro do cilindro. Pela seguinte equação:

$$C = \frac{H_{ob}.m}{\Delta T}$$

Onde: C = Poder Calorífico da amostra.

H_{ob} = Poder calorífico do ácido benzóico.

m = massa da amostra.

ΔT = Aumento da temperatura durante a combustão da amostra.

Para este trabalho foram realizados análises de poder calorífico em todas as camadas (amostras) que continham espessura maior que 20cm, totalizando 33 análises. O equipamento utilizado foi uma Bomba Calorimétrica da marca *IKA* modelo *C2000 Basic* do Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo. Como as amostras de carvão possuíam muita cinza, que resultava em queima incompleta da amostras, foi utilizado um saco de combustão (com valor de poder calorífico conhecido) para realizar a queima completa da amostra.

3.2.2.4. Difração de Raios X (DRX)

Este método consiste em direcionar um feixe de radiação monocromática em um material cristalino e observar a reflexão e difração dos raios X em vários ângulos

com relação ao feixe primário (Figura 10). A relação entre o comprimento de onda do sinal de raios X, l, o ângulo de difração, 2q, e a distância entre cada conjunto de planos atômicos do reticulado cristalino, d, é obtida pela equação de Bragg, *n*l = 2d senq, onde *n* representa a ordem de difração. A partir desta equação podem-se calcular as distâncias interplanares do material cristalino em estudo. Os espaçamentos interplanares dependem somente da dimensão das células unitárias dos cristais enquanto que as intensidades dos raios difratados são função da localização dos átomos na célula unitária. Desta forma, um composto pode ser identificado comparando os espaçamentos interplanares e as intensidades dos picos da amostra com os padrões de DRX (banco de dados). Embora métodos de difração sejam usados para análise quantitativa, é mais usual a sua utilização na identificação qualitativa das fases cristalinas (Sibilia, 1988). O Método de difração de Raios X utilizado nesse trabalho foi o Método do Pó, onde o material a ser analisado encontrava-se pulverizado e foi exposto dessa forma aos Raios X. O grande número de partículas com diferentes orientações assegura que todos os minerais ou estruturas cristalinas sejam analisados. Nesse trabalho foram submetidas à Difração de Raios X 44 amostras de carvão. O equipamento utilizado foi um Difratômetro SIEMENS 5000 do Instituto de Geociências da UFRGS.

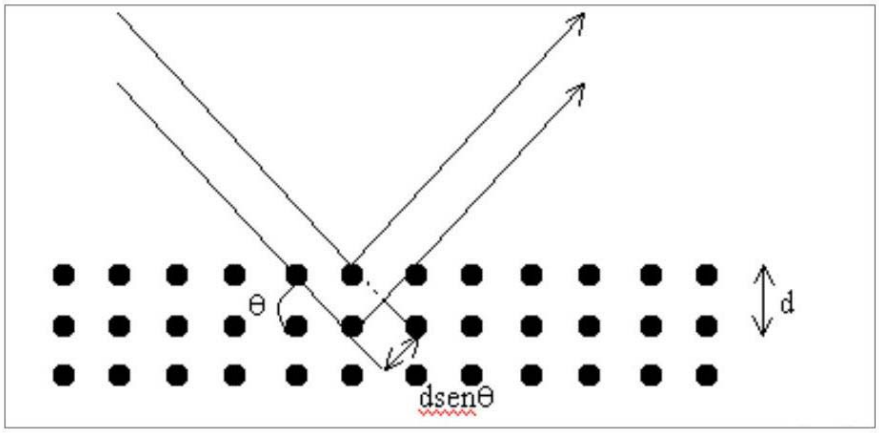


Figura 10: Incidência de um feixe de raios X sobre um mineral

Capítulo 4

4. RESULTADOS

4.1. Análise Estratigráfica

4.1.1. Arcabouço Faciológico

Neste estudo foram reconhecidas e interpretadas nove fácies sedimentares através da descrição detalhada de oito furos de sondagens. As fácies foram organizadas no apêndice B, e caracterizadas individualmente a seguir. Os furos com a descrição faciológica simplificada estão presentes nos apêndices C ao J.

4.1.1.1. Fácies

Gm: Conglomerado suportado pela matriz

Descrição: ocorre na parte basal dos testemunhos F-365-MVII, F-368-MVII, F-370-MVII com espessura variando de 1m a 2,5m. Ocorre associado com arenitos com estratificações cruzadas incipientes (fácies St) siltitos e camadas de carvão (fácies CC) (ver apêndice B) em ciclos de gradação normal. Pode ser maciço, com clastos polimíticos muito angulosos, podendo ser maiores que 10 cm (Figura 11).

Interpretação: o processo responsável é o transporte e deposição por fluxo gravitacional de detritos *(debris flow)* com fluxos de alta a média intensidade, com oscilações de intensidade.

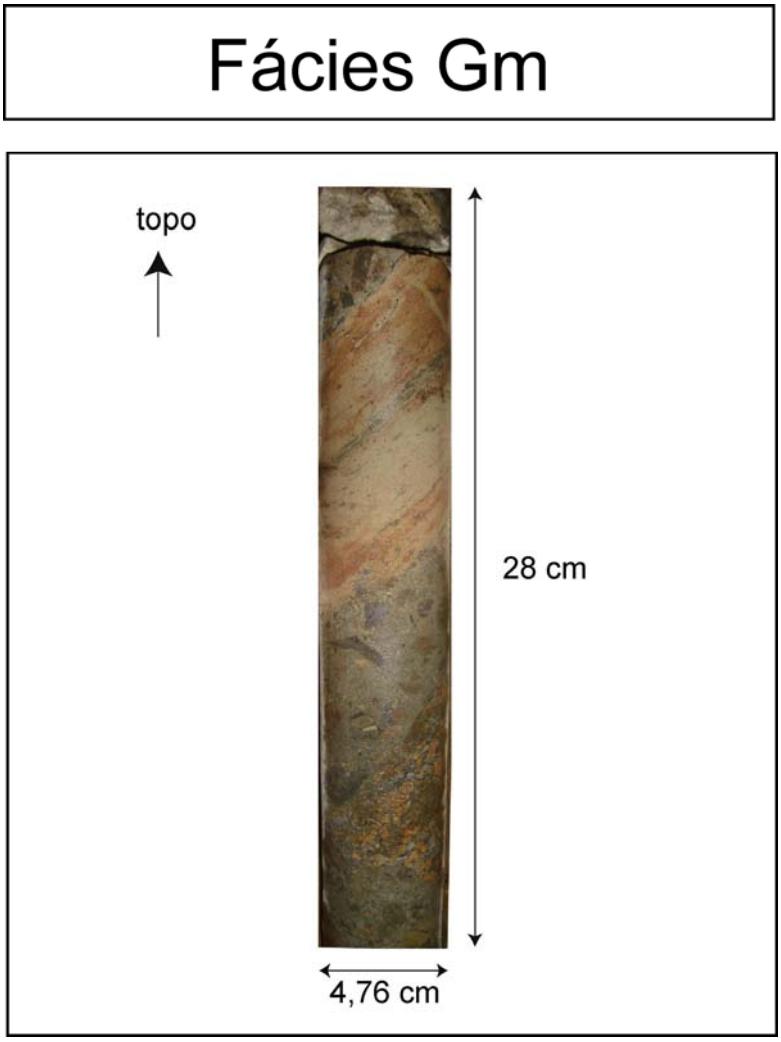


Figura 11: Fácies conglomerado suportado pela matriz com aspecto maciço e clastos polimiticos. Exemplo pertencente ao Furo F-370-MVII, aos 24 m de profundidade (topo).

D: Diamictito

Descrição: esta fácies ocorre nos testemunhos dos furos F-364-MVII, F-368-MVII, F-369-MVII, F-371-MVII com espessuras que variam de 0,1m a 1,2m. É caracterizada por apresentar areia grossa, grânulos e poucos seixos de composição quartzosa e feldspática imersos em uma matriz siltica (Figura 12) ou carbonosa. Esta fácies geralmente apresenta um aspecto maciço, por vezes é possível distinguir granodecrescência ascendente.

Diamictitos são rochas de origem sedimentar formadas por clastos e fragmentos de rochas pré-existentes com uma grande gama de tamanhos e com abundante matriz lamítica, síltico-argilosa, podendo ser carbonosa. O termo diamictito foi cunhado por Flint *et al.* (1960) para rochas tanto pobremente selecionadas quanto pobremente laminadas, sendo puramente descritivo e,

portanto, não tendo nenhuma conotação genética. É aplicado a rochas de diversas origens, como por exemplo, tilitos de origem glacial, deslizamentos em taludes marítimos, deslizamentos causados por vulcões, entre outros (FLINT *et al*., 1960)

Interpretação: pode ser relacionada com depósitos de transbordamento de canal fluvial, depositando na planície fluvial sedimento grosso.

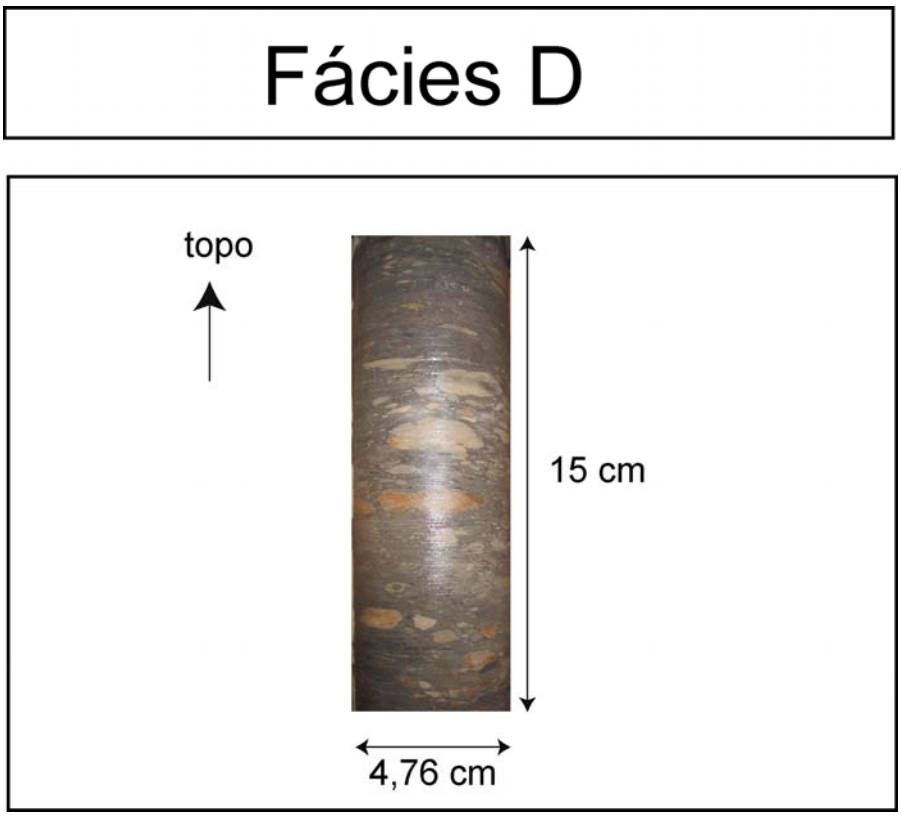


Figura 12: Fácies diamictito com matriz siltica cinza e clasto de até 3 cm, angulosos. Exemplo pertencente ao Furo F-371-MVII, aos 60,5 m de profundidade (topo).

St: Arenito com estratificação cruzada acanalada ou planar

Descrição: esta fácies ocorre em todos os testemunhos dos furos da área estudada com espessuras que variam de 0,15 a 3,3m. É caracterizada por englobar arenitos finos a grossos, quartzosos. Apresenta com estrutura principal a estratificação cruzada acanalada ou planar (Figura 13), que muitas vezes possui um aspecto maciço ou incipiente, devido aos processos diagenéticos e escala do furo de sondagem ser restrita. Ocorre associada com siltito, carvão, diamictito e conglomerado nas porções intermediárias do furo, e associada às fácies Ss, Sw e Sf (apêndice B) no topo da sondagem. Algumas vezes ocorrem finas lâminas de silte e/ou minerais pesados que evidenciam a estratificação.

Interpretação: o processo responsável pela formação desta fácies é a migração de formas de leito subaquosas, em um fluxo de baixa para alta energia.

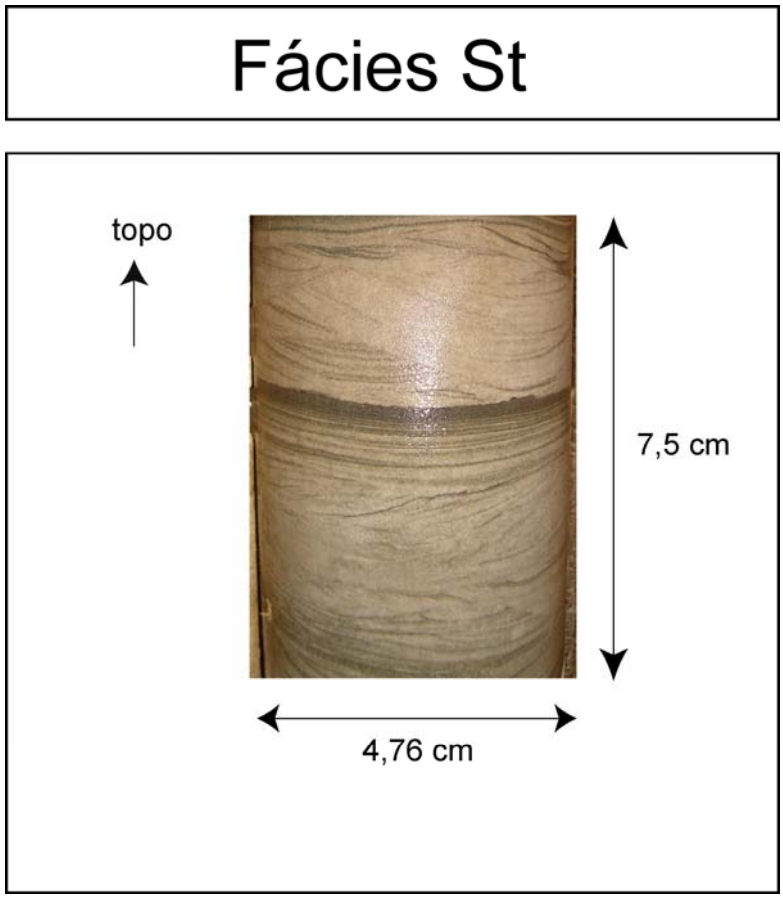


Figura 13: Fácies Arenito com estratificação acanalada bem visível na parte superior do testemunho. Exemplo pertencente ao Furo F-370-MVII, aos 16 m de profundidade (topo).

Sf: Arenito com acamadamento *flaser*

Descrição: está fácies é encontrada nos testemunhos dos furos de sondagem F-364-MVII, F-369-MVII e F-372-MVII com espessuras que variam de 0,8 a 3,2m. É descrita como um arenito fino à médio intercalado com frações pelitícas em relação *flaser* (Figura 14).

A parte arenosa é composta essencialmente por quartzo. Apresenta *drapes* de lama duplos (contínuos e/ou descontínuos), *drapes* simples e intensa bioturbação. São reconhecidas *ripples* assimétricas. Ocorre associada com as fácies Sw, Ss e St (apêndice B).

Interpretação: seu processo gerador está relacionado à migração trativa bidirecional subaquosa de *ripples* em regime de fluxo inferior, intercalada com assentamentos gravitacional de partículas finas em suspensão. Os acamadamentos *flaser*, *wavy* e *linsen* foram descritos inicialmente por Reineck and Wunderlich

(1968), e depois por Walker & James (1992) como fácies restritas geneticamente ao ambiente de maré, onde ocorriam *sand waves*, onde a variação de *flaser* para *linsen* indicava a diminuição da velocidade da corrente e o aumento na deposição e preservação de drapes de lama. Hoje, interpretam-se estes acamadamentos como uma relação areia/lama, não caracterizando uma fácies exclusiva de um só ambiente, podendo ser encontrado em sistemas fluviais até marinhos.

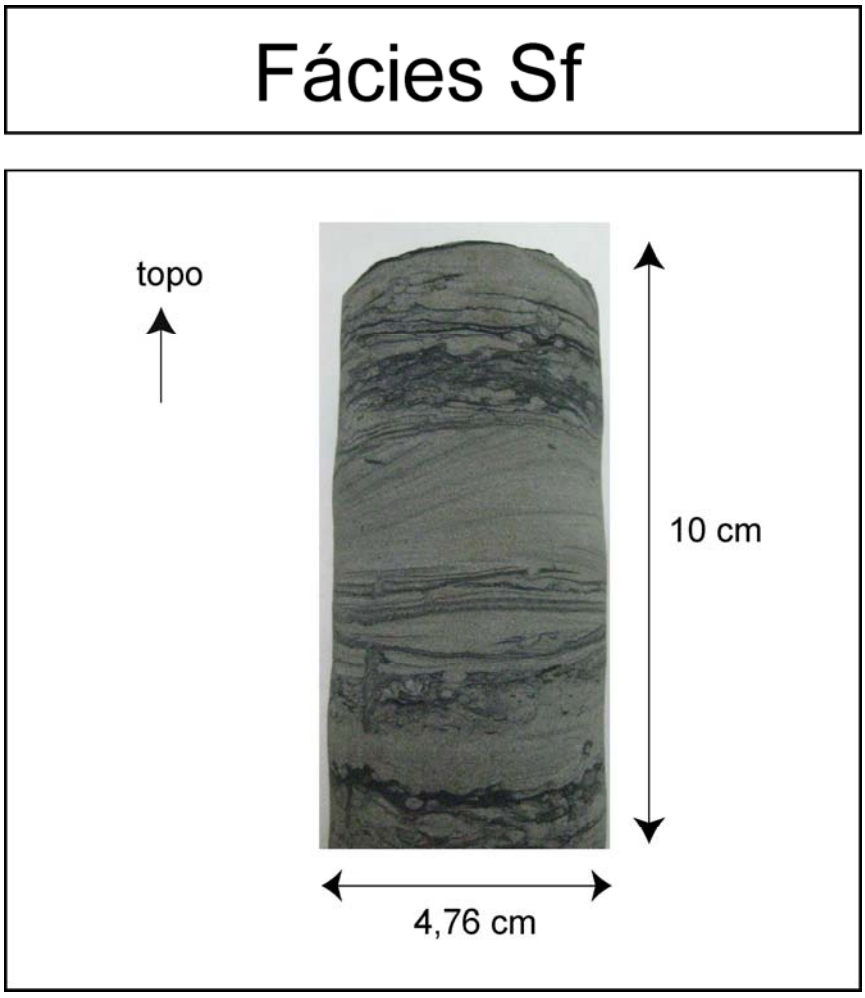


Figura 14: Arenito *flaser* com intensa bioturbação e ripples assimétricas. Exemplo pertencente ao Furo F-369-MVII, aos 14 m de profundidade (topo).

Sw: Arenito com acamadamento *wavy*

Descrição: está fácies é encontrada em todos os testemunhos dos furos de sondagem estudados, exceto no F-370-MVII, com espessuras que variam de 2,2 a 8m. É descrita como um arenito fino à médio intercalado com frações pelitícas em relação *wavy* (Figura 15).

A parte arenosa é composta essencialmente por quartzo. Apresenta *drapes* de lama duplos (contínuos e/ou descontínuos), *drapes* simples e intensa

bioturbação. São reconhecidas *ripples* assimétricas, laminações paralelas na fração siltica e eventualmente pequenos truncamentos na fração arenosa. Ocorre associada com as fácies Sf, Ss e St (apêndice B).

Interpretação: o processo gerador responsável está relacionado à alternância de fluxo de energia (baixa e alta).

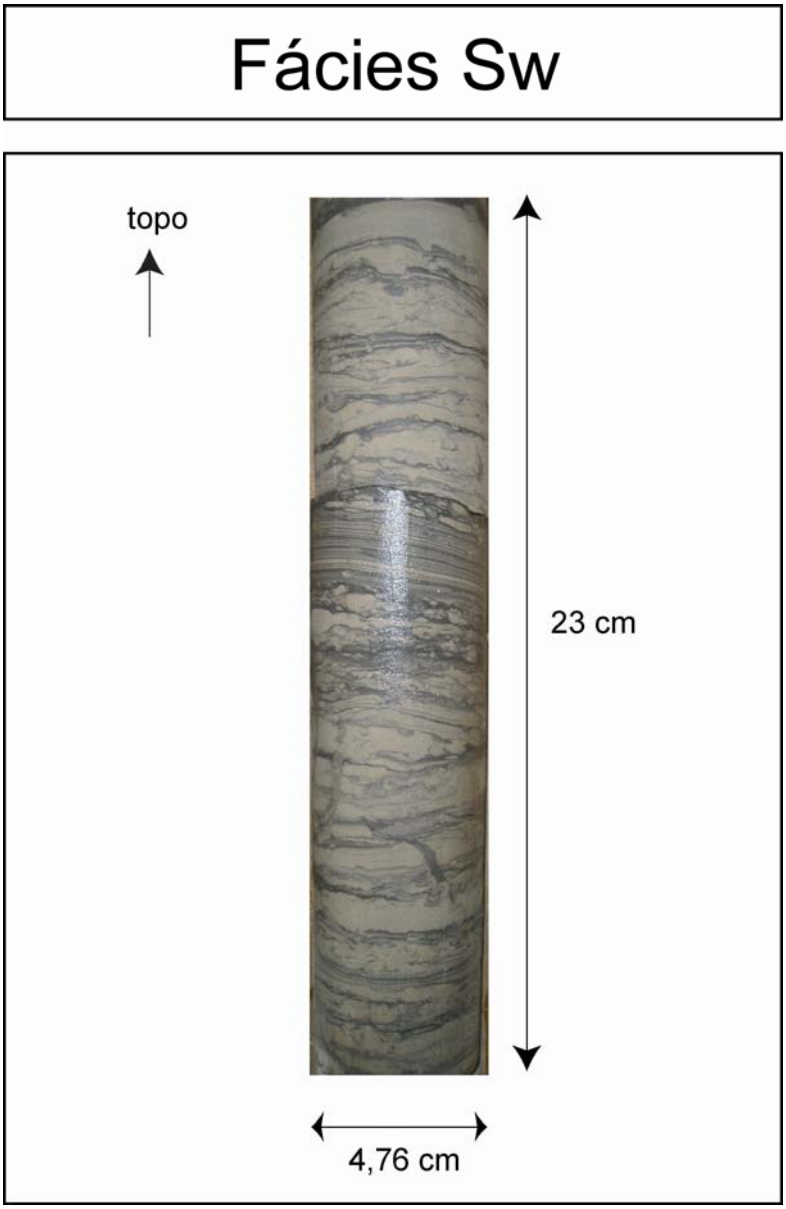


Figura 15: Arenito *wavy* com intensa bioturbação e laminação paralela na fração siltíca. Exemplo pertencente ao Furo F-372-MVII, aos 10 m de profundidade (topo).

Ss: Arenito *swash*

Descrição: esta fácies é encontrada nos testemunhos dos furos de sondagem F-365-MVII, F-366-MVII, F-368-MVII e F-369-MVII com espessuras que variam de

0,6 a 5,5m. Possui composição quartzosa, bem selecionado, friável e inclui arenitos finos à muito finos. Ocorre associada às fácies St e Sw em ciclos de gradação inversa. Apresenta pouca bioturbação. Como estrutura principal apresenta a estratificação cruzada de baixo ângulo (*swash cross stratification*) (Figura 16). Ocorre associada com as fácies Sf, Sw e St (apêndice B).

Interpretação: o processo gerador é o fluxo trativo subaquoso em regimes de fluxo superior.

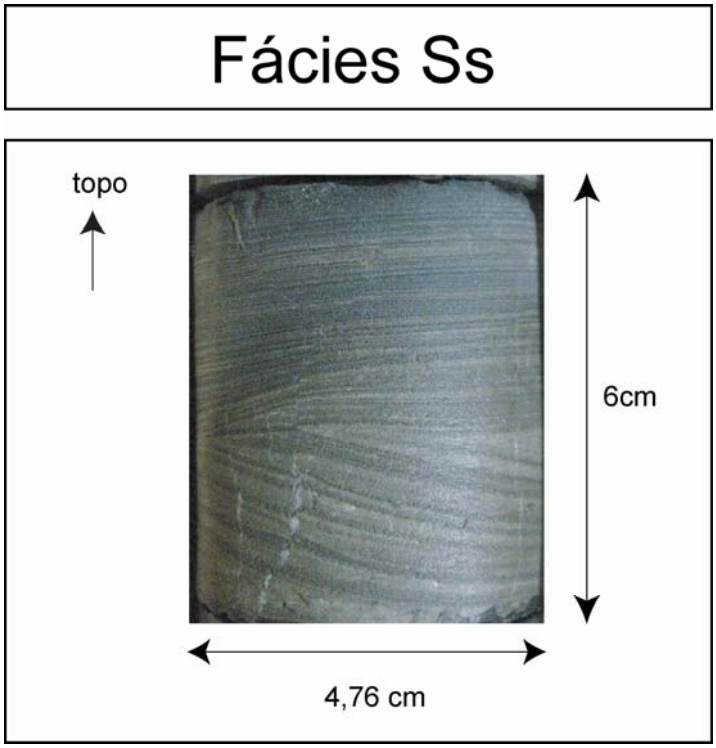


Figura 16: Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo *swash*. Exemplo pertencente ao Furo F-369-MVII, aos 17 m de profundidade (topo).

Ms: Siltito *linsen* com *climbing ripples*

Descrição: esta fácies foi encontrada somente no furo de sondagem F-371-MVII com espessura de 14,5m. Apresenta como litologias principais siltito e arenito fino, numa relação de predomínio da fração siltica. Apresenta acamadamento lenticular e *climbing ripples* (Figura 17) e algumas piritizações localizadas.

Interpretação: migração de *ripples* em condições de baixa energia combinado com deposição de sedimentos em suspensão.

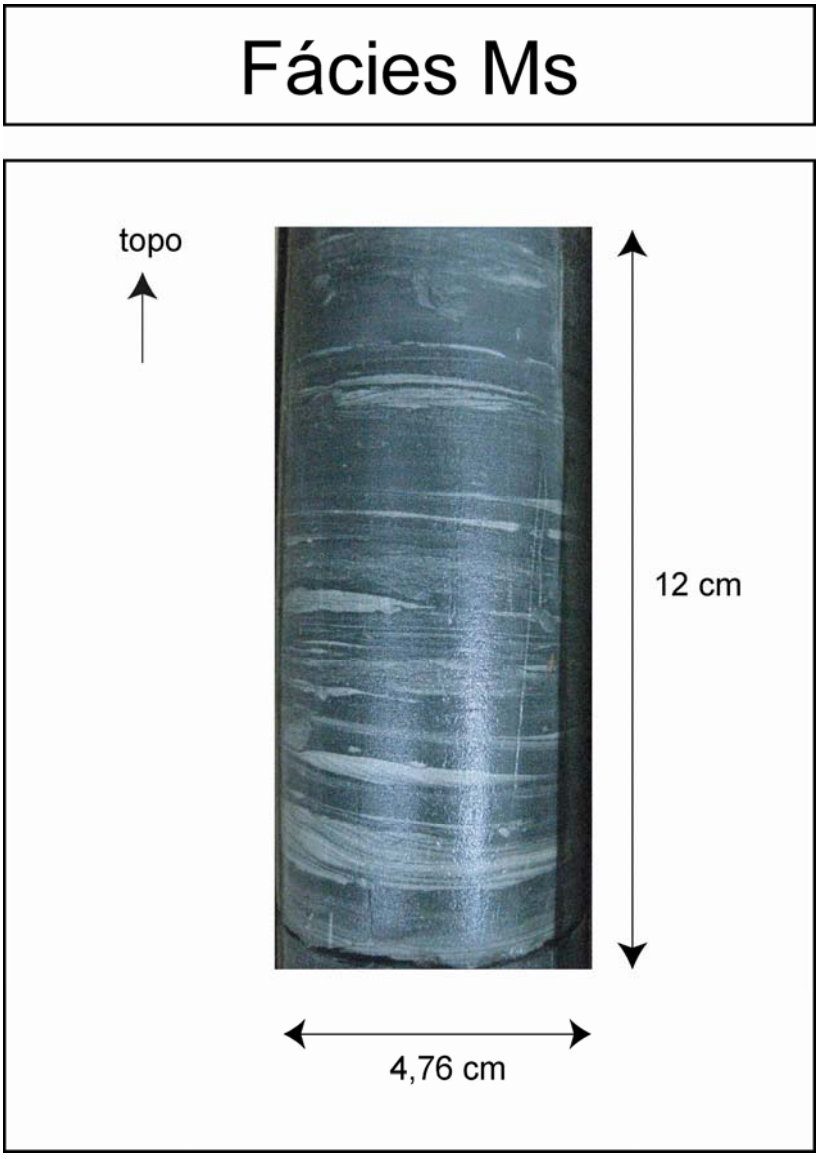


Figura 17: Siltito *linsen* com *climbing ripples*. Exemplo pertencente ao Furo F-371-MVII, aos 10 m de profundidade (topo).

MI: Siltito *Linsen*

Descrição: esta fácies está presente em todos os furos de sondagem estudados com espessuras que variam de 0,3 a 6,5m. Apresenta como litologias principais siltito e arenito intercalado numa relação *linsen* (predomínio de silte). Apresenta acamadamento lenticular, isto é, finas lentes de arenito dentro do siltito (Figura 18). Observa-se que pode conter piritizações, bioturbações e por vezes ser carbonoso.

Interpretação: deposição de sedimentos em suspensão alternada com a migração de poucas *ripples* em regime de fluxo de baixa energia.

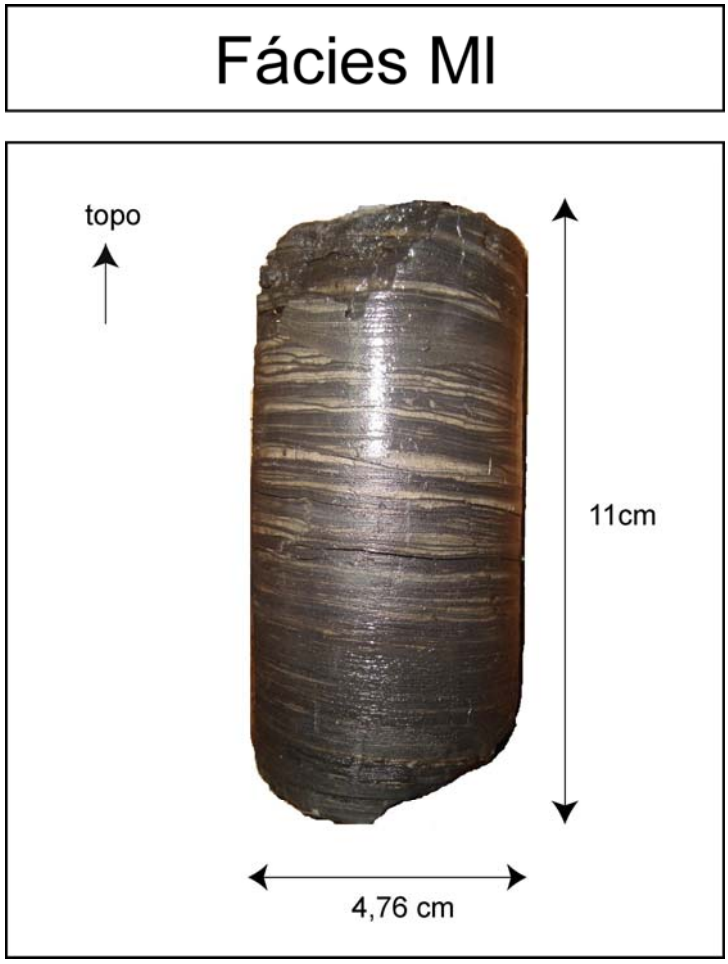


Figura 18: Siltito linsen com acamadamento lenticular. Exemplo pertencente ao Furo F-372-MVII, aos 28 m de profundidade (topo).

CC: Siltitos, siltitos carbonosos e carvões

Descrição: esta fácies está presente em todos os furos de sondagem estudados com espessuras que variam de 0,1 a 3,4m. Engloba siltitos, siltitos carbonosos e carvões. Os siltitos/siltitos carbonosos raramente apresentam laminação paralela, sendo comumente maciços. Apresentam muitas vezes restos vegetais (Figura 19) e fissilidade. As camadas de carvão incluídas nesta fácies apresentam espessuras milimétricas à métricas, aspecto maciço e algumas lâminas de vitrênio (Figura 19) .

Interpretação: esta fácies é formada pelo assentamento gravitacional de sedimentos em suspensão em ambiente subaquoso tranqüilo em regime de fluxo inferior, com disponibilidade de matéria orgânica variável.

Figura 19: Dois cortes transversais de furos de sondagem mostrando na parte superior siltito cinza com restos vegetais, exemplo retirado do furo F-370-MVII, aos 18m de profundidade (topo), e na parte inferior carvão com lâminas de vitrênio, exemplo retirado do furo F-365-MVII, aos 24m de profundidade (topo).

4.1.1.2. Associação de Fácies e Sistemas Deposicionais

Após a caracterização de cada fácies e interpretação dos seus processos geradores, foi possível a agrupá-las em associações com relações genéticas. Dessa forma foram possíveis o reconhecimento e entendimento espacial acerca dos sistemas deposicionais envolvidos e dos subsistemas.

A Tabela 5 apresenta as fácies pertencentes a cada associação, bem como as associações estabelecidas, os sistemas deposicionais e subsistemas reconhecidos. Também relaciona os ambientes e as subseqüentes camadas de carvão formadas.

Tabela 5: Fácies que compõem as associações de fácies, os subsistemas e sistemas deposicionais

Fácies	Associação de fácies	Subsistema		Sistema Deposicional	Geometria das camadas de Carvão
Gm, D	A	Leques Aluviais		Aluvial	-
St	B	Canal		Fluvial	-
D, Ml, CC	C	Planície de Inundação			Delgadas e descontínuas. Incluem as camadas inferiores
CC, Ml	D	Laguna		Barreira – Laguna	Espessas e contínuas. Incluem as camadas superiores, BL, CCS e CCI
St	E	Barreira Litorânea			-
Ss	F	*Foreshore*		Marinho Raso dominado por ondas	-
Sf	G	*Shoreface*	Superior		-
Sw	H		Médio		-
Ml, Ms	I		Inferior		-

4.1.1.2.1. Sistema Deposicional Aluvial

Associação de Fácies A: Leques Aluviais

Leques aluviais são feições geomorfológicas geradas pela deposição de sedimentos que ocorre no sopé de regiões de relevo acentuado (regiões proximais). A sua importância se deve as suas indicações sobre a influência tectônica e paleoclimática na evolução da bacia, já que as movimentações tectônicas são o mecanismo que impulsiona os deslizamentos e desenvolvimentos de leques. Compreende a fácies Gm (conglomerado matriz suportado) e pode ser reconhecido nos furos F-365-MVII, F-370-MVII e F-368-MVII. Esta associação ocorre na porção basal dos testemunhos (Figura 20) e atinge no máximo 6 metros de espessura nos testemunhos. Diamictitos também são identificados, sendo estes feições de leque, reflexo de movimentações tectônicas, inseridos em contextos deposicionais mais distais, como em planícies fluviais e deltaicas, já sofrendo retrabalhamento.

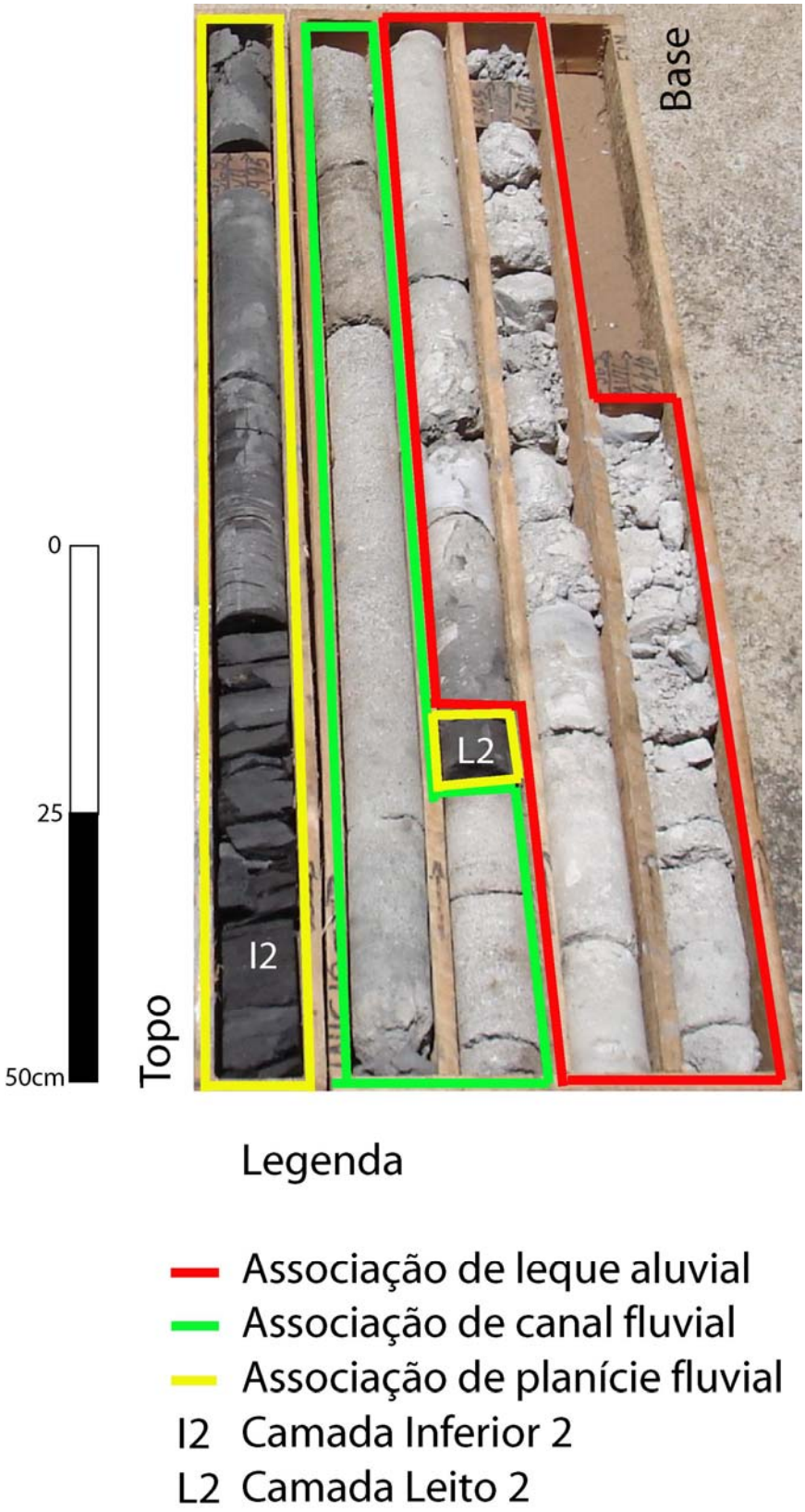


Figura 20: A fácies Gm, típica de depósitos de *debris flow* de leque aluvial ocorrendo na base do testemunho. Os depósitos de canal e planície fluvial ocorrem sobrepostos. Foto retirada do furo F-365-MVII, o topo correponde a profundidade de 39,5m e a base corresponde a profundidade de 44,1m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm.

4.1.1.2.2. Sistema Deposicional Fluvial

O Sistema Fluvial tem seu registro nas porções basais e intermediárias de todos os poços. Seu registro apresenta espessuras de até 4 metros, sobreposto à Associação de Leques Aluviais,como mostra a Figura 20. O sistema fluvial é composto por dois subambientes, canal e planície de inundação, descritos a seguir:

Associação de Fácies B: Canal Fluvial – Sistema Deposicional Fluvial

A associação de fácies de canal fluvial é constituída principalmente pela fácies St (arenitos finos a grossos com estratificação cruzada acanalada e planar). Nas sondagens descritas geralmente possui contato inferior erosivo e em ciclos granodecrescentes, geralmente menores que 10 metros, com fácies silticas no topo, caracterizando uma mudança no curso do canal passando para a planície de inundação (que muitas vezes é pantanosa). Geneticamente está ligada a associação de leques aluviais (Figura 20), que são os principais fornecedores de suprimento sedimentar para os cursos dos rios em porções proximais do paleoambiente. De modo geral ocorre a predominância de frações silticas sobre as frações arenosas, evidenciando uma típica sucessão vertical de um sistema fluvial meandrante, que devido a alta sinuosidade e por apresentar variações de energia representam barras em pontal formadas por acresção lateral em conseqüência da diferença de velocidade do fluxo no lado interno e externo do meandro.

Associação de Fácies C: Planície de Inundação – Sistema Deposicional Fluvial

A associação de fácies de planície de inundação é composta pelas fácies: CC (siltitos, siltitos carbonosos e carvão), Ml (heterolitico *linsen*) e D (diamictito). As frações finas ocorrem no topo dos ciclos de gradação normal do canal fluvial, típico de rios meandrantes, todavia sua ocorrência mais significativa é em pacotes de até 20 metros, registrando uma planície bem desenvolvida, com partes pantanosas. Os diamictitos se depositam de duas formas na planície: por transbordamentos de canal fluvial, ou refletindo porções distais de fluxos gravitacionais associados aos leques aluviais. Caracteristicamente ocorre interdigitado com depósitos arenosos de canal, reflexo da dinâmica fluvial. A ocorrência da planície é mais ampla e desenvolvida

que a dos canais, tendendo a aumentar para o topo da seção devido a estabilização dos sistemas fluviais. Neste subambiente formam-se a camadas inferiores (Figura 20), e muitas vezes estas são pouco espessas e descontínuas.

4.1.1.2.3. Sistema Deposicional Barreira-Laguna

O Sistema Deposicional Barreira-Laguna tem seu registro nas porções intermediárias dos poços (Figura 21). Seu registro ocorre em intervalos de até 40 metros de espessura nos furos mais profundos, sobreposto ao Sistema Fluvial, algumas vezes com influência deste. O sistema Barreira-laguna é composto pelos dois subambiente que dão nome à associação, descritos a seguir:

Associação de Fácies D: Laguna – Sistema Deposicional Barreira- Laguna

Esta associação é composta principalmente por fácies de granulometria fina, sendo representada pela fácies CC (siltito, siltito carbonoso e carvão). Estes depósitos variam de 15 a 25 metros, sendo que as camadas de carvão chegam a 3 metros de espessura, geralmente intercaladas com siltitos carbonosos (Figura 21). Neste ambiente formaram-se as principais camadas de carvão da região, CCI, CCS e BL, que apresentam continuidade lateral, e as camadas superiores, que são alvo deste trabalho. As principais diferenças quanto à sedimentação da planície fluvial é que geralmente não ocorre interdigitação com canais. De acordo com a classificação de Reinson (1992) esta sedimentação caracteriza um ambiente lagunar fechado ou com abertura parcial, já que houve a necessidade de um ambiente calmo para a acumulação das turfeiras percurssoras com espessura alta. Os seus depósitos siltícos apresentam-se geralmente maciços e sem estruturas de fluxo, produto de pouca influência de ondas ou correntes. Possui ocorrência ampla em todos os poços.

Associação de Fácies E: Barreira Litorânea – Sistema Deposicional Barreira-Laguna

Esta associação é restrita à porção superior de todos os poços apresentando espessuras de cerca de 3m. É representada pela fácies St (arenitos médios à grossos com estratificação cruzada) (Figura 21).

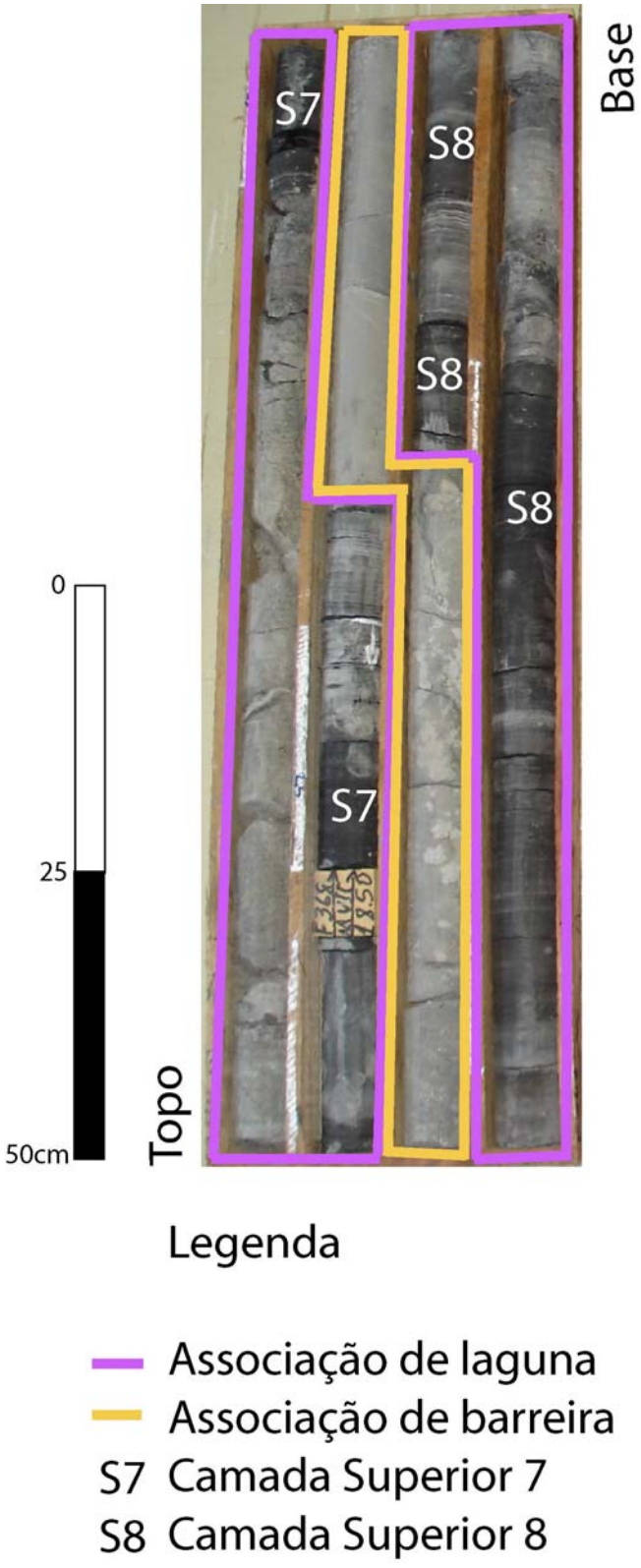


Figura 21: Associação de fácies de laguna, com siltitos carbonosos intercalados com camadas de carvão e associação de fácies de barreira (arenito). Foto retirada do furo F-368-MVII, o topo correponde a profundidade de 17,3m e a base corresponde a profundidade de 21,3m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm.

4.1.1.2.4. Sistema Deposicional Marinho Raso dominado por Ondas

O Sistema Marinho Raso Dominado por ondas predomina no topo dos testemunhos estudados, embora não seja reconhecida a completitude do registro, devido a sua suscetibilidade as menores flutuações do nível relativo do mar. Seus depósitos ocorrem com espessuras de 10 a 33 metros, geralmente sobrepostos sobre as fácies de laguna e, não raro, ocorre interdigitação com a barreira. O sistema Marinho Raso dominado por ondas é composto por dois subsistemas, *foreshore* e *shoreface* (Figura 22), descritos a seguir:

Associação de Fácies F: Foreshore – Sistema Deposicional Marinho Raso

A zona de *foreshore* é uma zona instável suscetível à ação das ondas e das variações do nível do mar, podendo erodir o registro sedimentar, devido à alta energia. Esta associação foi reconhecida nos furos F-365-MVII, F-366-MVII, F-368-MVII e F-369-MVII com espessuras de 1 a 6 metros no poço que contém o seu maior registro. É composta litologicamente por arenitos com laminação paralela e estratificação de baixo ângulo (*swash cross stratificafion*) (Figura 22) formada quando a corrente *longshore* chega até a zona da praia gerando um lençol d' água que se espraia e lava os sedimentos (MC LANE, 1995).

Associação de Fácies G: Shoreface Superior – Sistema Deposicional Marinho Raso

Esta zona ocorre na porção superior dos poços F-364-MVII, F-369-MVII e F-372-MVII, atingindo espessuras de 1 a 4 metros. Espacialmente situa-se na zona proximal de ação de ondas. Litologicamente caracterizada por arenitos finos a médios com acamadamento *flaser* (fácies Sf) e intensa bioturbação.

Associação de Fácies H: Shoreface Médio – Sistema Deposicional Marinho Raso

Esta zona ocorre na porção superior de todos os poços estudados, exceto no F-370-MVII. Atinge espessuras de 2 a 8 metros. Espacialmente situa-se na zona

intermediária de ação de ondas. Litologicamente caracterizada por arenitos finos a médios com acamadamento *wavy* (fácies Sw) (Figura 22) e intensa bioturbação.

Associação de Fácies I: Shoreface Inferior – Sistema Deposicional Marinho Raso

A associação de *shoreface* inferior ocorre restrito aos furos F-366-MVII, F-369-MVII e F-371-MVII com espessuras de 10 a 20 metros. Situa-se na porção mais distal da zona de ação de ondas, onde a atuação sobre o fundo é bem incipiente. É caracterizado por pelitos com arenitos gerando estruturas do tipo *linsen* (fácies Ml e Ms) (Figura 22) com intensa bioturbação de organismos marinhos.

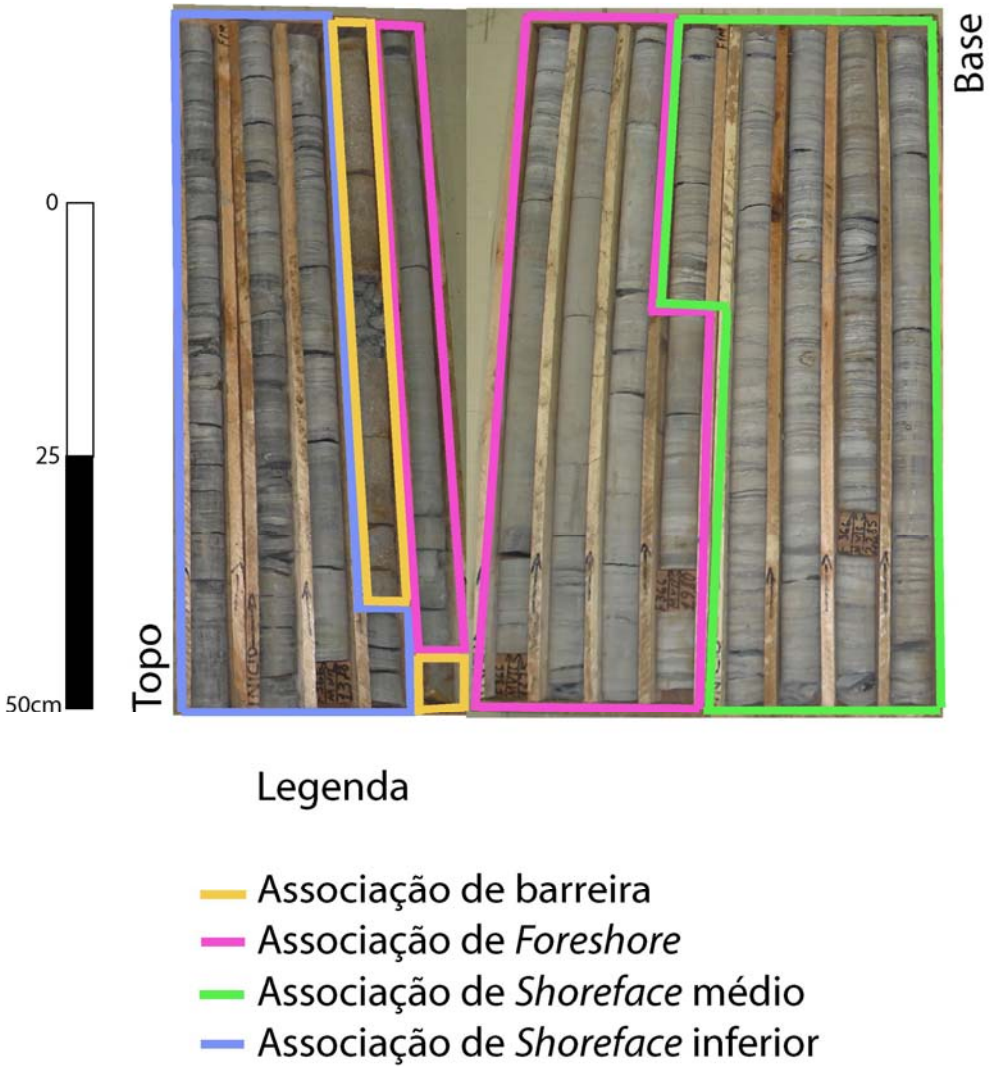


Figura 22: : Associação de fácies marinha, mostrando heterolíticos com relação *linsen* típica de *shoreface* inferior, heterolíticos com relação *wavy* de *shoreface* superior, arenito fino *swash* de *foreshore* e arenito de barreira. Foto retirada do furo F-366-MVII, o topo correponde a profundidade de 11,7m e a base corresponde a profundidade de 24,7m. O diâmetro do furo corresponde à 4,76cm.

4.1.1.3. Arcabouço Cronoestratigráfico

O arcabouço cronoestratigráfico proposto para a área de estudo foi estabelecido através da correlação entre as associações de fácies e dos sistemas deposicionais em três seções, uma no sentido *dip* e duas no sentido *strike* (Figura 23). Foi utilizada a Estratigrafia de Seqüências como ferramenta de análise estratigráfica.

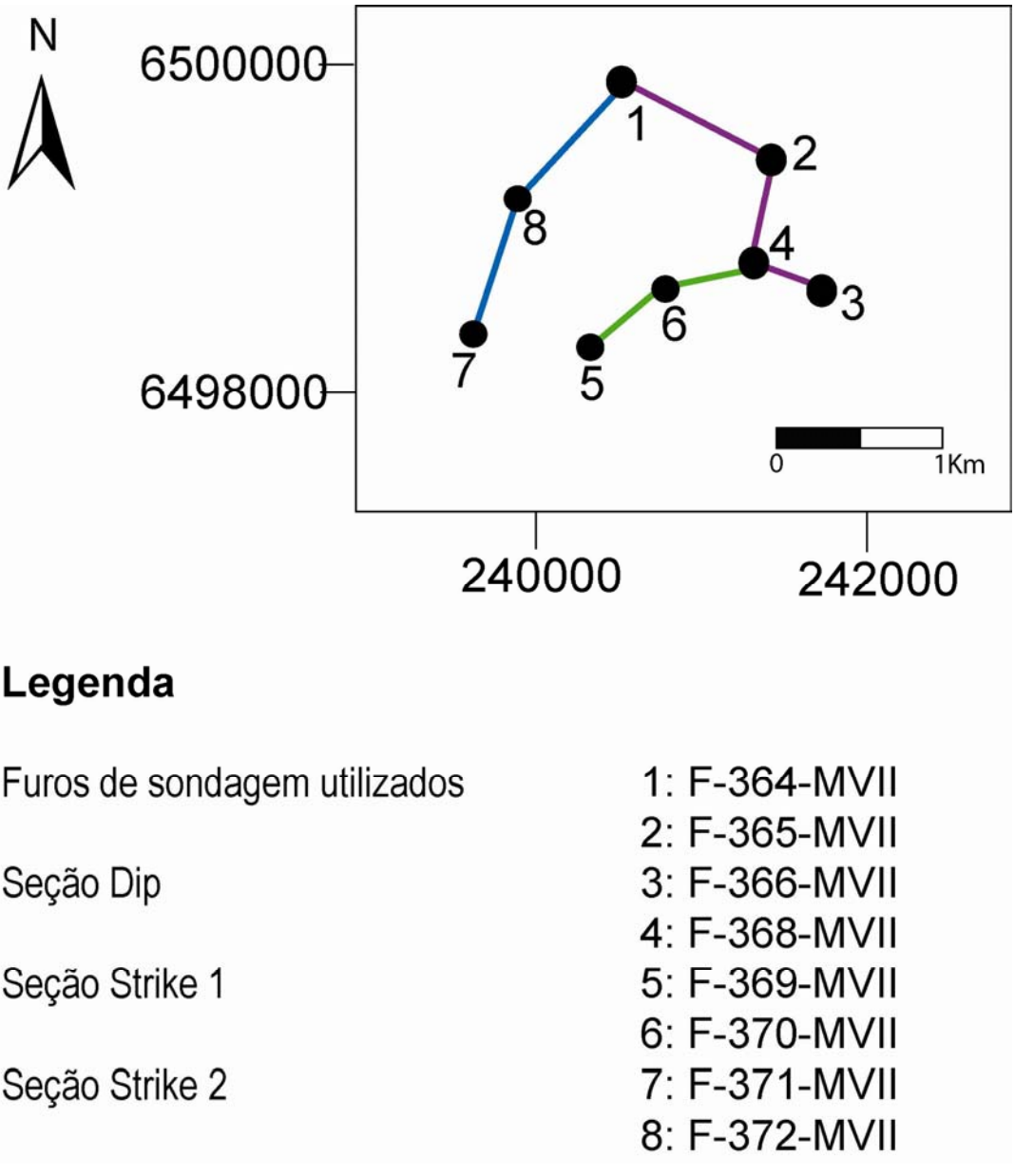


Figura 23: Mapa com as seções de correlação estratigráfica realizadas

A análise das seções de correlação possibilitou a definição das parasseqüências, permitindo assim relacionar espacial e temporalmente os ambientes de sedimentação durante a evolução dos estratos que compõe as

intervalo analisado na área de estudo. Essa técnica é muito útil, pois permite visualizar a continuidade lateral e comportamento das camadas de carvão. Também foram reconhecidas as principais superfícies estratigráficas limítrofes: Limite de Seqüência (LS), Superfície Transgressiva (ST) e a Superfície de Inundação Máxima (SIM). Os Tratos de Sistemas foram a partir daí definidos, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

Neste trabalho foram reconhecidas duas seqüências deposicionais e seis parasseqüências (Tabela 6). Como *datum* estratigráfico foi escolhida a SIM, por ser uma superfície de inundação de caráter regional. Esta superfície coincide com o limite de parassequência 3 (LP3).

As seções de correlação podem ser observadas em detalhe nos apêndices K, L e M.

Tabela 6: Arcabouço Estratigráfico proposto para a região de Candiota. A linha tracejada vermelha indica o *datum* de correlação estratigráfico. A linha tracejada cinza separa a Formação Palermo e a Formação Rio Bonito. TST = Trato de Sistemas Transgressivo, TSNB = Trato de Sistemas de Nível Baixo, TSNA = Trato de Sistemas de Nível Alto

Seqüências Deposicionais	Tratos de Sistemas	Parasseqüências	Sistemas Deposicionais	Litoestratigrafia
3	TST	6	Marinho/barreira	Formação Palermo
	TSNB	5	Laguna/ barreira	Formação Rio Bonito
2	TSNA	4	Barreira	
	TST	3	Laguna	
		2	Fluvial/ laguna	
		1	Aluvial/ fluvial	

4.1.1.3.1. Parassequências

Foram identificadas seis parasseqüências, sendo que quatro estão inseridas na Seqüência 2 (S2) e duas na sequência 3 (S3) que correspondem às sequências de mesmo nome de Holz & Kalkreuth (2004).

Parasseqüência 1 (PS1): A parasseqüência 1 (Tabela 6) corresponde litoestratigraficamente à deposição da Formação Rio Bonito, como o furo não chegou no embasamento, não pode-se admitir que seja o inicio da deposição da sequência. Representa o início da subida do nível de base com pouco aporte sedimentar, ocorrendo uma retrogradação dos sistemas. Está presente em todos os furos de sondagem da área, exceto no F-366-MVII. Apresenta cerca de 10 metros de espessura. As associações de fácies vinculadas a esta parasseqüência são os leques aluviais predominando na base, canal fluvial na parte intermediária e planície de inundação no topo da parassequência. A PS1 é questionável pela presença de associações aluviais e fluviais na sua base, isto pode refletir apenas mudanças no canal fluvial, não necessariamente variação do nível de base. Mas neste trabalho entende-se que a estabilização do subsistema de planície fluvial no topo desta parassequência reflete um afogamento, pois é marcado por camadas de carvão no topo que podem chegar até aproximadamente 1,5m de espessura.

Parasseqüência 2 (PS2): A parasseqüência 2 (Tabela 6) é reconhecida em todos os furos de sondagem da área. Ocorre sobreposta à PS1 quando esta é encontrada. No poço F-366-MVII em que não há a ocorrência da PS1, a PS2 não tem base bem definida. Sua espessura varia entre 10 a 14 metros. A PS2 inclui as associações de fácies de canal fluvial e planície fluvial na base e lagunar no topo. Neste contexto formaram-se grandes turfeiras, possibilitando a formação das principais camadas de carvão da jazida, as camadas CCI, CCS e BL.

Parasseqüência 3 (PS3): A parasseqüência 3 (Tabela 6) esta depositada sobre a PS2. Sua espessura varia entre 2 e 3 metros, mostrando uma deposição mais homogênea e com menos erosão. O limite de parasseqüência 3 (LPS3) correponde à SIM, que é o *datum* estratigráfico na área de estudo. Representado pela associação de fácies lagunar.

Parasseqüência 4 (PS4): Está sobreposta à PS3 (Tabela 6), e sua espessura varia entre 1,5 a 5 metros. O limite de parasseqüência 4 (LPS4) correponde à LS da área estudada, que separa a seqüência 2 da seqüência 3, entretanto no furo F-370-MVII ocorreu uma intensa erosão na parte superior do testemunho, não sendo definido o limite (topo) desta parassequência. A PS4 é marcada pela subida do nível de base, com fácies distais sobrepostas à fácies proximais, apresentando feições de

retrabalhamento. As associações que ocorrem nesta parasseqüência são a barreira-laguna.

Parasseqüência 5 (PS5): A parasseqüência 5 está depositada sobre a PS4. Possui espessura variando entre 7 e 10 metros. As associações de fácies reconhecidas na PS5 incluem laguna-barreira (Tabela 6). Possui um caráter progradacional na base e uma estabilização do sistema no topo, provavelmente representando um caráter mais agradacional. O limite de parassequência 5 (LP5) coincide com a ST do intervalo estudado. Esta presente em todos os furos, exceto no F-370-MVII na qual foi erodida.

Parasseqüência 6 (PS6): A parasseqüência 6 esta assentada sobre a PS5, e tem espessura média de 10 metros. Representa uma retrogradação do sistema, com fácies marinha sobrepostas a fácies lagunares. Inclui as associações de fácies de barreira, *foreshore*, *shoreface* inferior, *shoreface* médio e *shoreface* superior. A PS6 apresenta teu topo bem definido somente nos furos F-366-MVII, F-369-MVII, F-371-MVII e F-372-MVII. Nos outros furos estudados os estratos acima da associação de barreira estão muito alterados ou erodidos.

A Figura 24 mostra um quadro esquemático que ilustra a estratigrafia de seqüências definida por Holz & Kalkreuth (2004), que detalha as parasequências e os Tratos de Sistemas das seqüências S2 e S3 na área de Candiota, que coincidem em partes com o intervalo estudado neste trabalho.

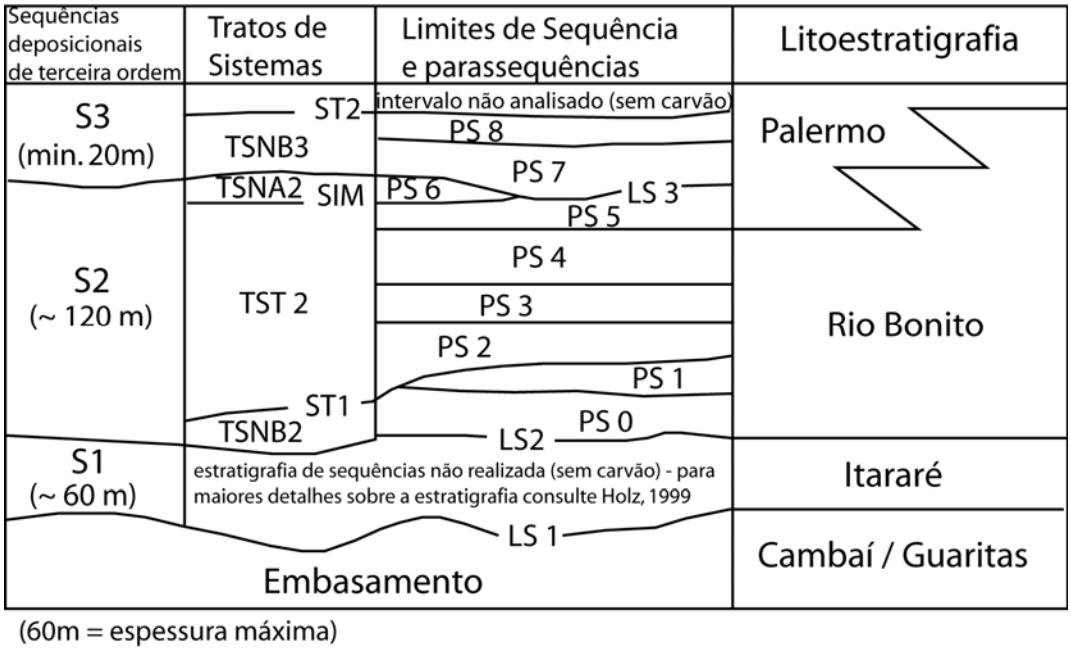


Figura 24: quadro esquemático mostrando a estratigrafia de sequências da área de Candiota, detalhando as parassequências encontradas nos Tratos de Sistemas das Sequências deposicionais S2 e S3, modificado de Holz & Kalkreuth (2004)

4.1.1.3.2. Superfícies-chave

As superfícies–chave identificadas permitem reconhecer duas seqüências sedimentares com deposição ampla espacial e temporalmente, sendo portadoras de sedimentos carbonosos que correspondem litoestratigraficamente à sedimentação da Formação Rio Bonito, objeto deste trabalho. A Superfície de Inundação Máxima (SIM), o Limite de Sequência (LS) e a Superfície Transgressiva (ST) estão inclusos nas seqüências estudadas. Os sedimentos do Grupo Itararé não foram reconhecidos na área de estudo. A caracterização de cada superfície é em ordem de aparecimento, da base para o topo dos estratos.

Superfície de Inundação Máxima (SIM): a SIM da área estudada foi escolhida como *datum* estratigráfico, por ser uma superfície de caráter regional e representar a mais significativa inundação do intervalo estudado.

Limite de Seqüência (LS): é observado em todos os poços, e corresponde ao Limite de Seqüência 3 (LS3) de Holz (1995), separando a Sequência 2 da Sequência 3. Possui caráter erosivo, observado em alguns contatos entre as fácies. Conforme Holz and Kalkreuth (2004) a LS3 possui uma assinatura diferente, refletindo a subsidência diferencial na bacia; algumas áreas claramente foram submetidas à uma regressão temporária e removeram as fácies em direção à bacia. Em outras áreas, a transgressão rapidamente retrabalhou os sedimentos regressivos

e deixou apenas uma camada de arenito com grânulos, uma típica assinatura de superfície transgressiva coincidindo com o limite se seqüência (Figura 25).

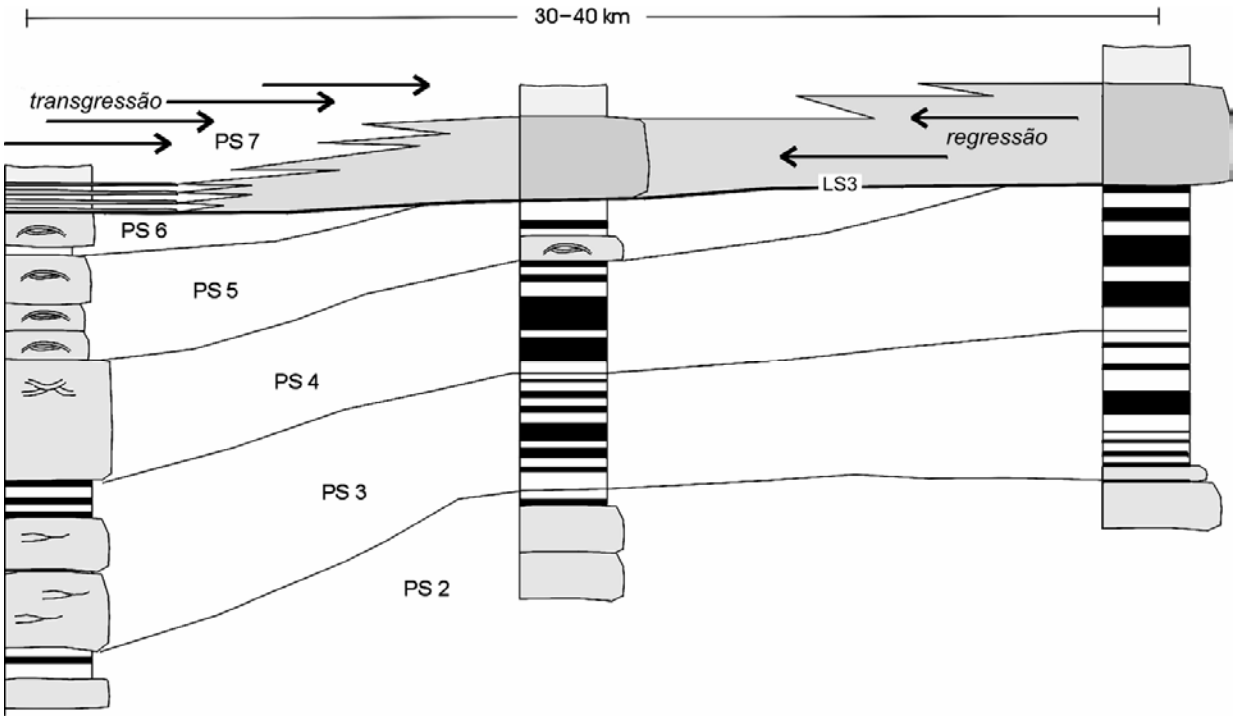


Figura 25: Figura esquemática mostrando a formação do Limite de Seqüência 3 (LS3) na área da jazida de Candiota. Na região proximal de ambiente estuarino ocorreu uma regressão temporária e as fácies proximais se sobrepõem às distais (em direção à bacia), representado por arenitos com grânulos fluviais-deltaicos sendo recobertos por parassequencias marinhas e estuarinas. Na região distal da trasngressão, ocorre uma rápida regressão que retrabalhou os sedimentos, deixando apenas um arenito com grânulos, com típica assinatura transgressiva conincidindo com o limite de seqüência. Este padrão reflete a subsidência diferencial na bacia. Modificado de Holz and Kalkreuth (2004).

Superfície Transgressiva (ST): A Superfície Transgressiva da sequência 3 ocorre em todos os furos da área estudada (Apêndices K, L e M), exceto no F-370-MVII em que sofreu erosão. Litoestratigraficamente separa os sedimentos da Formação Rio Bonito com os da Formação Palermo. É caracterizado por uma forte retrogradação do sistema, pois na sua base aparecem sedimentos de *shoreface* médio, que sobrepõem sedimentos lagunares.

4.1.1.3.3. Tratos de Sistemas

O intervalo estudado apresenta a sedimentação correspondente ao Trato de Sistemas Transgressivo e Trato de Sistemas de Nível Alto na sequência 2; e Trato de Sistemas de Nível Baixo e Trato de Sistemas Transgressivo na sequência 3, que estão descrito abaixo (Apêndices K, L e M).

Trato de Sistema Transgressivo (TST) da sequência 2: o TST ocorre na porção basal dos furos de sondagem, e sua geomorfologia era composta por sistemas continentais aluviais, fluviais. A retrogradação empilha sobre estes ambientes, uma zona costeira de laguna a partir da PS2, que permanece até a PS3. Este estágio é marcado por uma progressiva inundação que promove a acumulação de espessas camadas de carvão, as CCI e CCS.

Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA) da seqüência 2 : o TSNA ocorre em todos os furos, mas não possui topo definido no furo F-370-MVII. Possui caráter fortemente erosivo, com fácies mostrando retrabalhamento (fácies de barreira). É representando pela PS4 e tem caráter progradacional.

Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB) da sequência 3: o TSNB ocorre em todos os furos da região estudada exceto no F-370-MVII, na qual foi erodido. É representada pela PS5 e tem caráter progradacional a agradacional.

Trato de Sistema Transgressivo (TST) da sequência 3: o TST ocorre em todos os furos, exceto no F-370-MVII, em que foi erodido. É representado pela PS6, que tem seu topo erodido em muitos poços da área. Em poços como o F-366-MVII é possível notar uma forte retrogradação do sistema com a PS6 terminando em depósitos de barreira, seguidos por depósitos de *shoreface* inferior acima.

4.2. Análises Petrológicas

4.2.1. Identificação das camadas para a análise petrológicas e químicas

Neste trabalho não foram realizadas análises nas camadas Candiota Superior e Inferior. Portanto o número de camadas e as espessuras cumulativas e utéis por furo não incluem o dados referentes às camadas Candiota Superior e Inferior.

Para o furo F-364-MVII (Apêndice A) identificaram-se sete camadas superiores, a camada Banco Louco, cinco camadas inferiores e um leito, em um intervalo que iniciou na cota 16,91m com a camada S3 e terminou em 49,16m com a camada I5, contabilizando um total de 14 camadas de carvão, com espessuras variando de 9 cm nas camadas S9 e L1 até 2,17m na camada S6. Com uma espessura cumulativa de 9,9m e espessura total útil (desconsiderando as camadas com espessura inferior a 20cm) de 9,19m.

Para o furo F-365-MVII (Apêndice A) identificaram-se sete camadas superiores, a camada Banco Louco, duas camadas inferiores e um leito, em um intervalo que iniciou na cota 13,4m com a camada S3 e terminou em 41,39m com a camada L2, contabilizando um total de 11 camadas de carvão, com espessuras variando de 4cm na camada L2 até 1,13m na camada I1. Com uma espessura cumulativa de 5,52m e espessura total útil de 5,14m.

Para o furo F-366-MVII (Apêndice A) identificaram-se seis camadas superiores e a camada Banco Louco em um intervalo que iniciou na cota 26,09m com a camada S4 e terminou em 37,19m com a camada BL, contabilizando um total de 7 camadas de carvão, com espessuras variando de 8cm nas camadas S7 e S8 até 1,45m na camada S6. Com uma espessura cumulativa de 3,42m e espessura total útil de 3,23m. as camadas inferiores não foram recuperadas neste furo de sondagem.

Para o furo F-368-MVII (Apêndice A) identificaram-se seis camadas superiores, a camada Banco Louco, três camadas inferiores e um leito, em um intervalo que iniciou na cota 11,49m com a camada S4 e terminou em 41,92m com a

camada I3, contabilizando um total de 11 camadas de carvão, com espessuras variando de 15cm nas camadas I3 e L1 até 1,51m na camada S6. Com uma espessura cumulativa de 7,12m e espessura total útil de 6,61m.

Em nenhum dos quatro furos referentes à este trabalho foi encontrada a sequência completa das camadas superiores e inferiores (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, I1, I2 I3, I4, I5). Pelos principais motivos de que em alguns locais as camadas superiores já foram erodidas ou pelo motivo da não formação de uma turfeira com continuidade lateral na época da acumulação.

O intervalo de camadas de carvão mais completo foi identificado no furo F-364-MVII (Apêndice A).

4.2.1. Litotipos do carvão

O litotipo dominante nas camadas de carvão é o litotipo fosco (D- durênio), em 66% da espessura total das amostras (Tabela 7). Já o litotipo bandado brilhante (BB) aparece mais raramente (somente em 0,7% da espessura total das amostras) e em espessuras bem menores (lâminas de 0,5 a 5 cm). Os Apêndices N ao W mostram os perfis dos litotipos das camadas Superiores, Banco Louco, Inferiores e leitos nos furos F-364-MVII, F-365-MVII e F-368-MVII.

Tabela 7: Porcentagem dos litotipos nas camadas de carvão superiores, BL e inferiores da jazida de Candiota baseada nos testemunhos analisados neste trabalho

Litotipo	Valor (%)
Brilhante (B)	0,8
Bandado Brilhante (BB)	0,7
Carvão Bandado (BC)	3,5
Fosco Bandado (BD)	29
Fosco (D)	66

4.2.2. Análise de macerais e matéria mineral

Os diagramas ternários presentes na Figura 26 mostram a composição petrográfica da matéria orgânica em termos de grupos de macerais, recalculados em uma base livre de matéria mineral, das amostras dos quatro furos.

Observa-se nestes diagramas uma divisão muito clara em dois grupos de composição de grupos de macerais distintos. O primeiro grupo engloba as camadas inferiores, leitos e superiores parcialmente e caracteriza-se por conter macerais do grupo da vitrinita em percentual igual ou superior a 50% por volume, liptinita inferior a 20% por volume e inertinita inferior a 50% por volume concentrando na parte superior dos diagramas. O segundo grupo engloba a camada Banco Louco e algumas camadas superiores (S9 e algumas vezes as camadas S8 e S7) e caracteriza-se por apresentar mais de 50% por volume de inertinita, teores de 10 a 40% por volume de liptinita e 30 a 50 % por volume de vitrinita, se concentrando na parte inferior direita dos diagramas.

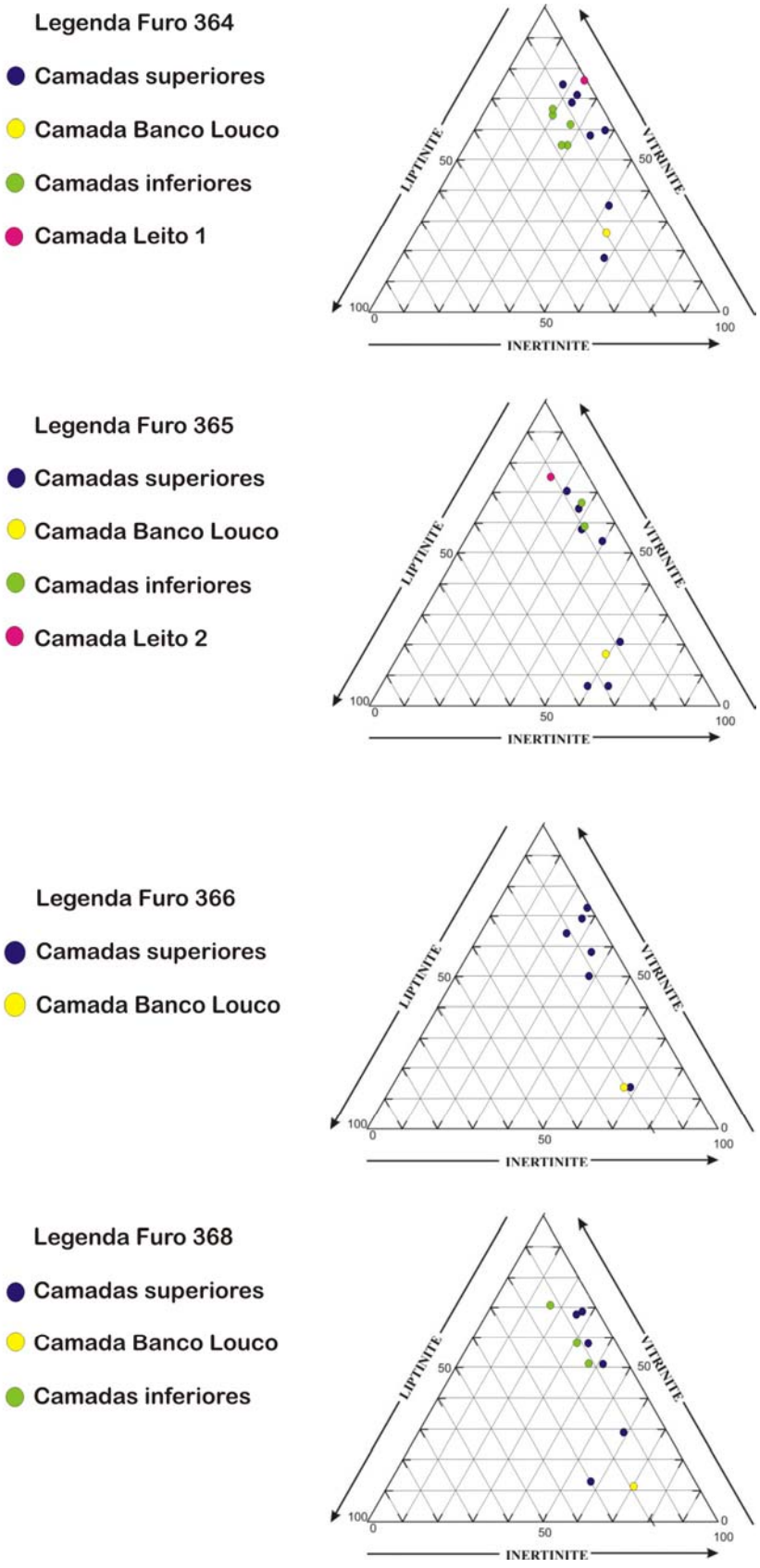


Figura 26: Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais em amostras das camadas de carvão examinadas neste trabalho.

Dentro do grupo da vitrinita, o maceral mais representativo é a colotelinita (4,2 a 60,5% volume). Em muito menor proporção ocorre a colodetrinita (0,2 a 2,4% volume) (Apêndices X, Y, Z e AA).

No grupo da inertinita, o maceral de maior representatividade é a fusinita (2,0 a 35 % volume), principalmente nas camadas BL e S9, e secundariamente nas camadas S8 e S7, que apresentam valores muito maiores quando comparada com as camadas adjacentes. O segundo maceral com maior representatividade é a inertodetrinita (1,2 a 17,2 % volume), sendo seguida pela semifusinita (0 a 19,8% volume), que de modo geral apresenta-se em valores menores que a inertodetrinita na maioria das amostras. Em menores porcentagens aparecem a macrinita (0 a 0,8% volume) e a secretinita (0 a 0,4% volume) (Apêndices X, Y, Z e AA).

O grupo da liptinita apresenta como maceral mais abundante a esporinita (1,4 a 19,6 % volume), seguida pela liptodetrinita (0 a 4,8% volume), cutinita (0 a 0,8% volume) e resinita (0 a 0,8% volume). A alginita aparece raramente, somente uma amostra com 0,8% volume (Apêndices X, Y, Z e AA).

As Figuras 27, 28 e 29 mostram os macerais tipicamente encontrados nas amostras de carvão de Candiota. Na Figura 27, a vitrinita (colotelinita) está associada com matéria mineral (argilas, quartzo e pirita) e inertinita (semifusinita). A figura 28 mostra uma área enriquecida em inertinita (fusinita e semifusinita). A Figura 29 mostra uma área enriquecida em liptinita (esporinita e resinita).

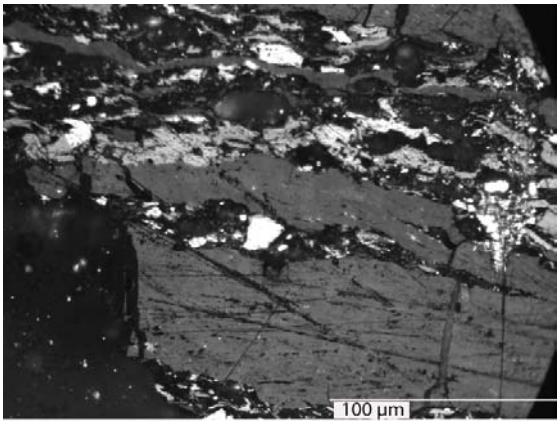


Figura 27: Fotomicrografia de vitrinita associada com matéria mineral e inertinita, em luz branca, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m.

Figura 28: Fotomicrografia de uma área enriquecida em inertinita, em luz branca, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m.

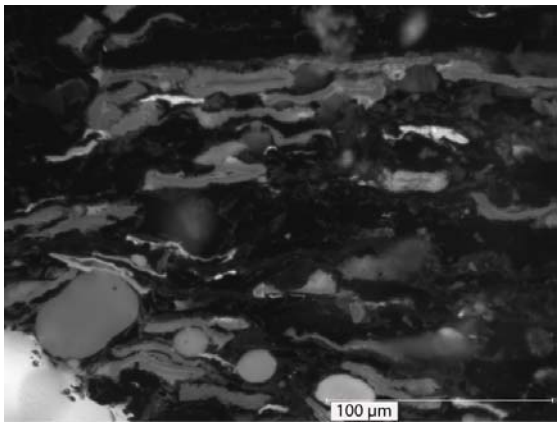


Figura 29: Fotomicrografia preto e branco de liptinita (esporinita, resinita, liptodetrinita), mostrando fluorescência com o filtro luz azul de excitação, na camada S4 do furo F-364-MVII, amostra 09-002, profundidade entre 18,05 e 18,47 m.

4.2.3. Composição petrográfica em relação à posição estratigráfica

No furo F-364-MVII os macerais do grupo das vitrinitas ocorrem em geral com uma maior abundância, com os teores variando entre 18,7 e 76%, e secundariamente inertinita, 18 a 33,6%, com valores mais baixos de liptinita, 1,2 a 23,3%, Figura 30.

A composição petrográfica das camadas inferiores, BL e superiores nas amostras no furo F-364-MVII mostra em termos de conteúdo dos grupos de macerais e matéria mineral uma tendência de diminuição do conteúdo de vitrinita da base para o topo no intervalo das camadas de carvão da Seqüência 2 (PS1 – PS2) o qual é paralelo ao aumento do conteúdo de inertinita e liptinita (Figura 30). O aumento de inertinita nas camadas de carvão da PS3 é devido à alta contribuição de fusinita, semifusinita e inertodetrinita nas camadas Banco Louco, S9 e S8 (Figura

30). A PS3, PS4 e PS5 apresentam uma tendência geral de aumento no conteúdo de vitrinita e respectiva diminuição do conteúdo de inertinita e liptinita.

O conteúdo de matéria mineral apresenta uma tendência de aumento dos valores na seqüência 2 e uma tendência a diminuição dos valores na seqüência 3, da base para o topo em ambas as seqüências.

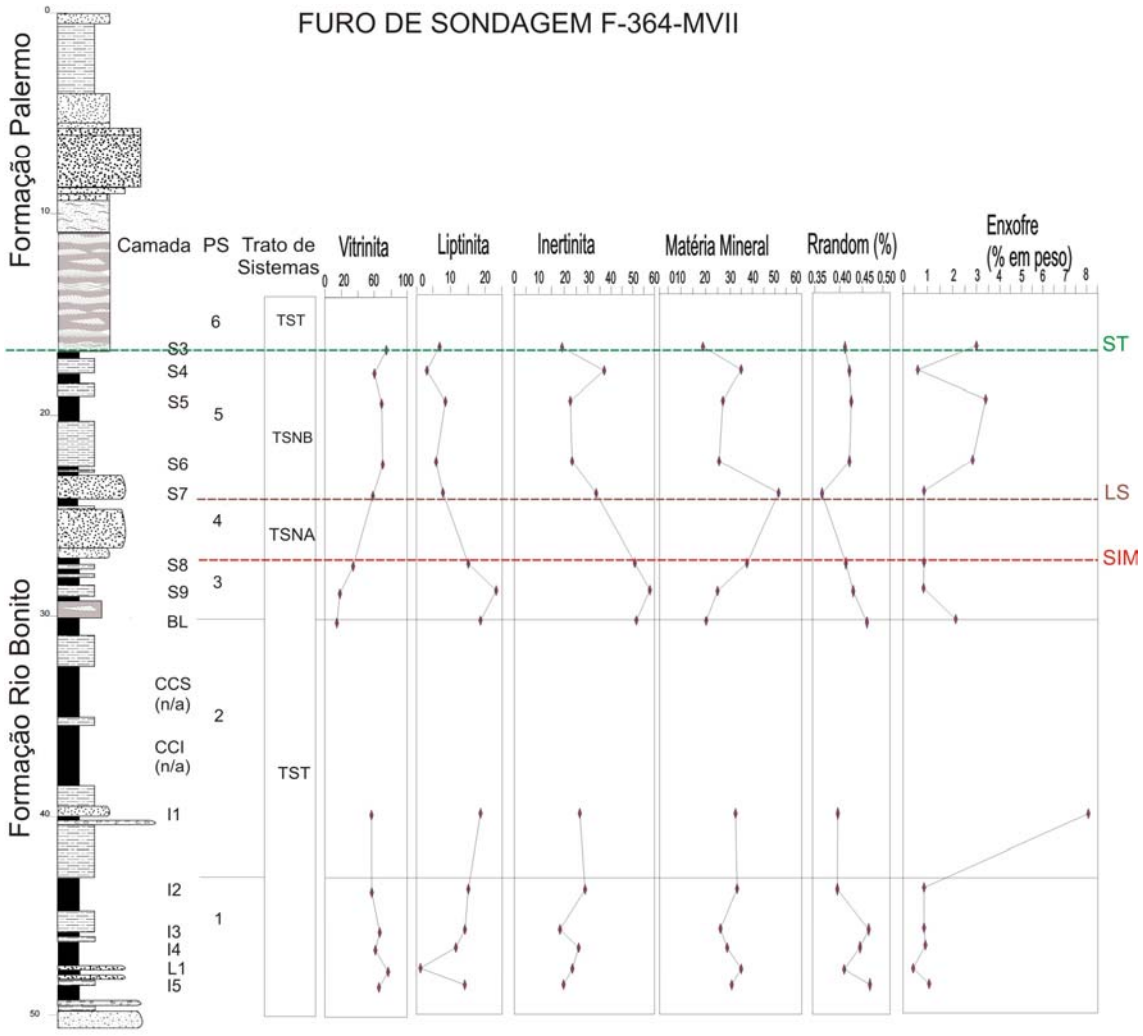


Figura 30: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-364-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso.

No furo F-365-MVII os macerais do grupo das vitrinitas ocorrem em geral com uma maior abundância, com os teores variando entre 7,7 e 71,3%, e secundariamente inertinita, 13,8 a 65%, com valores mais baixos de liptinita, 6 a 33,2%, Figura 31

A composição petrográfica das camadas inferiores, BL e superiores nas amostras no furo F-365-MVII mostra em termos de conteúdo dos grupos de macerais e matéria mineral uma tendência similar ao furo F-364-MVII, com diminuição do conteúdo de vitrinita da base para o topo no intervalo das camadas de carvão da Seqüência 2 (PS1 – PS2) o qual é paralelo ao aumento do conteúdo de inertinita e liptinita (Figura 31). O aumento de inertinita nas camadas de carvão da PS3 é devido à alta contribuição de fusinita, semifusinita e inertodetrinita nas camadas Banco Louco, S9, S8 e S7. Entretando, a PS3 apresenta dentro dela uma tendência de valores aproximadamente constantes do conteúdo de vitrinita e inertinitita e tendência de enriquecimento em liptinita. A PS4 e PS5 apresentam uma tendência geral de aumento no conteúdo de vitrinita e respectiva diminuição do conteúdo de inertinita e liptinita.

O conteúdo de matéria mineral apresenta uma tendência sutil de diminuição na PS1. Ocorre então o aumento dos valores na PS3 e uma tendência a diminuição dos valores nas PS4 e PS5, da base para o topo.

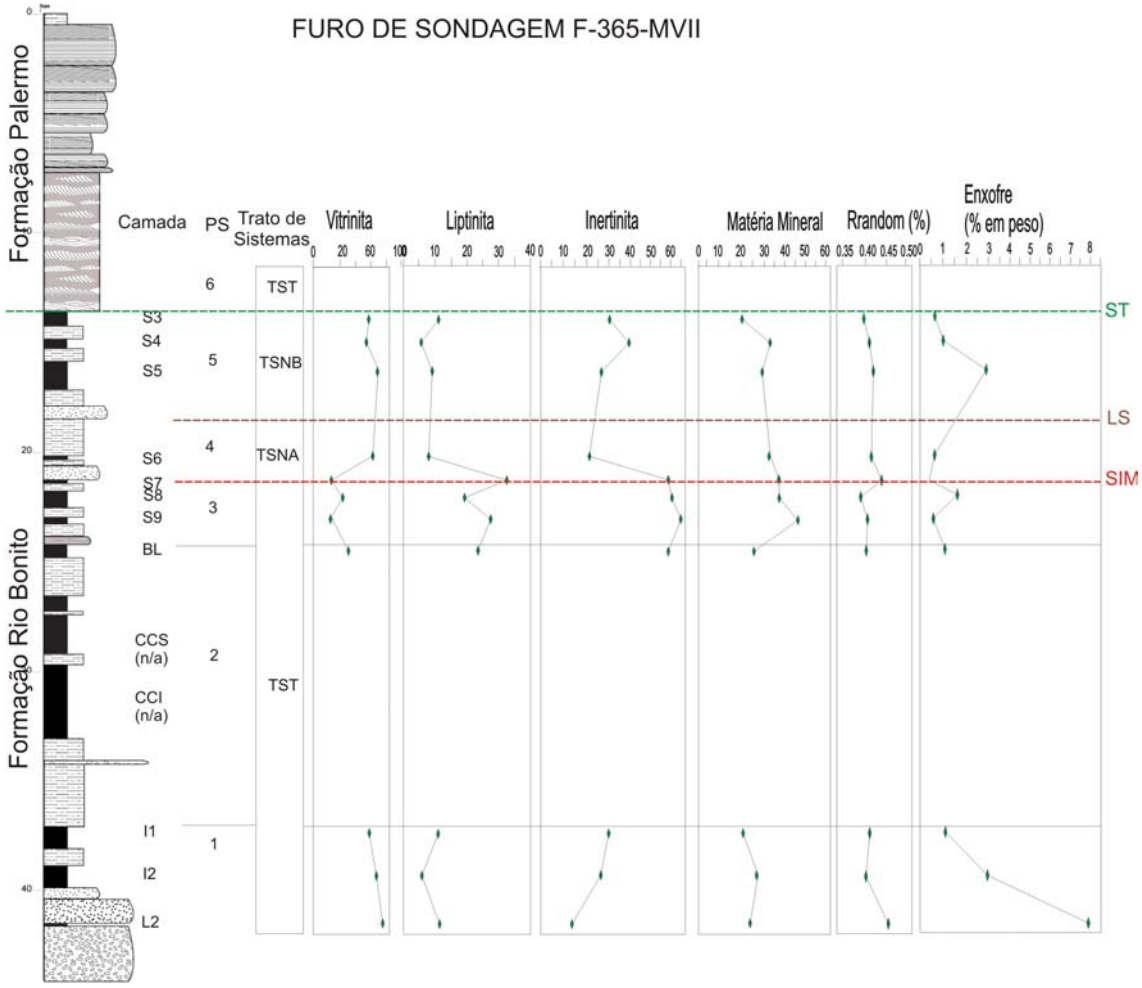


Figura 31: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-365-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso.

No furo F-366-MVII os macerais do grupo das vitrinitas ocorrem em geral com uma maior abundância, com os teores variando entre 12,4 e 72,4%, e secundariamente inertinita, 24,8 a 68,6%, com valores mais baixos de liptinita, 1,6 a 19%, Figura 32.

A composição petrográfica das camadas BL e superiores nas amostras no furo F-366-MVII mostram em termos de conteúdo dos grupos de macerais e matéria mineral uma tendência similar aos furos F-364-MVII e F-365-MVII, mostrando uma tendência geral de aumento no conteúdo de vitrinita e respectiva diminuição do conteúdo de inertinita e liptinita (Figura 32).

O conteúdo de matéria mineral apresenta uma tendência geral de decréscimo dos valores nas PS3, PS4 e PS5, da base para o topo.

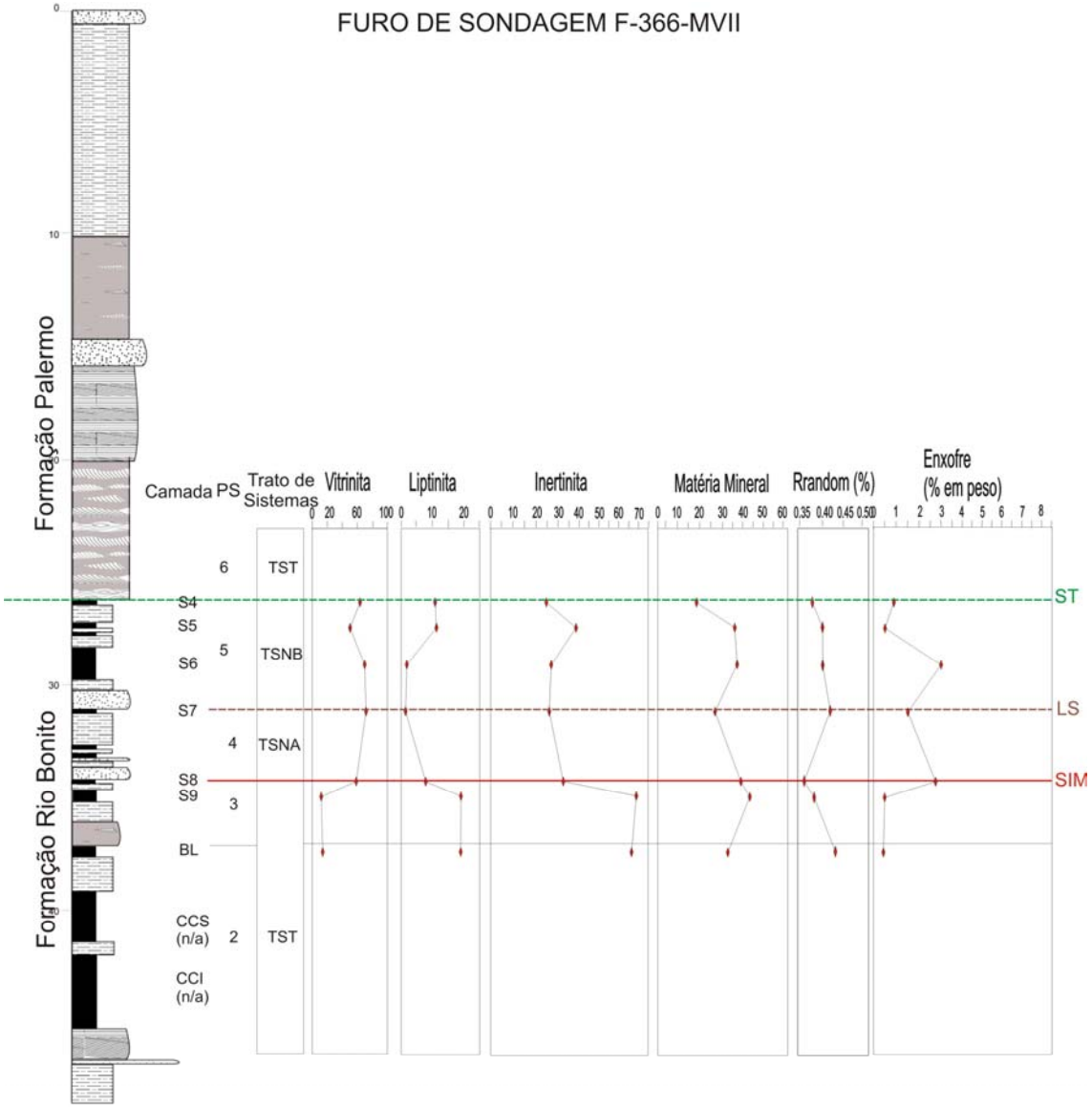


Figura 32: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-366-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso.

No furo F-368-MVII os macerais do grupo das vitrinitas ocorrem em geral com uma maior abundância, com os teores variando entre 11,2 e 71,1%, e secundariamente inertinita, 15,5 a 70%, com valores mais baixos de liptinita, 3,8 a 31,5%, Figura 33.

A composição petrográfica das camadas inferiores, BL e superiores nas amostras no furo F-368-MVII mostra em termos de conteúdo dos grupos de macerais e matéria mineral uma tendência similar aos furos F-364-MVII, F-365-MVII e F-366-MVII, com uma sutil diminuição do conteúdo de vitrinita da base para o topo no intervalo das camadas de carvão da Seqüência 2 (PS1 – PS2) o qual é paralelo ao aumento do conteúdo de inertinita (Figura 33), enquanto que o conteúdo de liptinita se mantêm constante. Embora ocorra aumento do conteúdo de inertinita nas camadas de carvão da PS3 comparativamente com as outras camadas, a PS3 apresenta dentro dela uma tendência de diminuição do conteúdo de inertinitita e liptinita (camadas BL, S9, S8) e tendência de enriquecimento em vitrinita. A PS4 e PS5 apresentam uma tendência geral de aumento no conteúdo de vitrinita e respectiva diminuição do conteúdo de inertinita e liptinita.

O conteúdo de matéria mineral apresenta uma tendência de aumento na PS1, da base para o topo. Nas PS3, PS4 E PS5 os valores são altamente variáveis, não apresentando tendência geral.

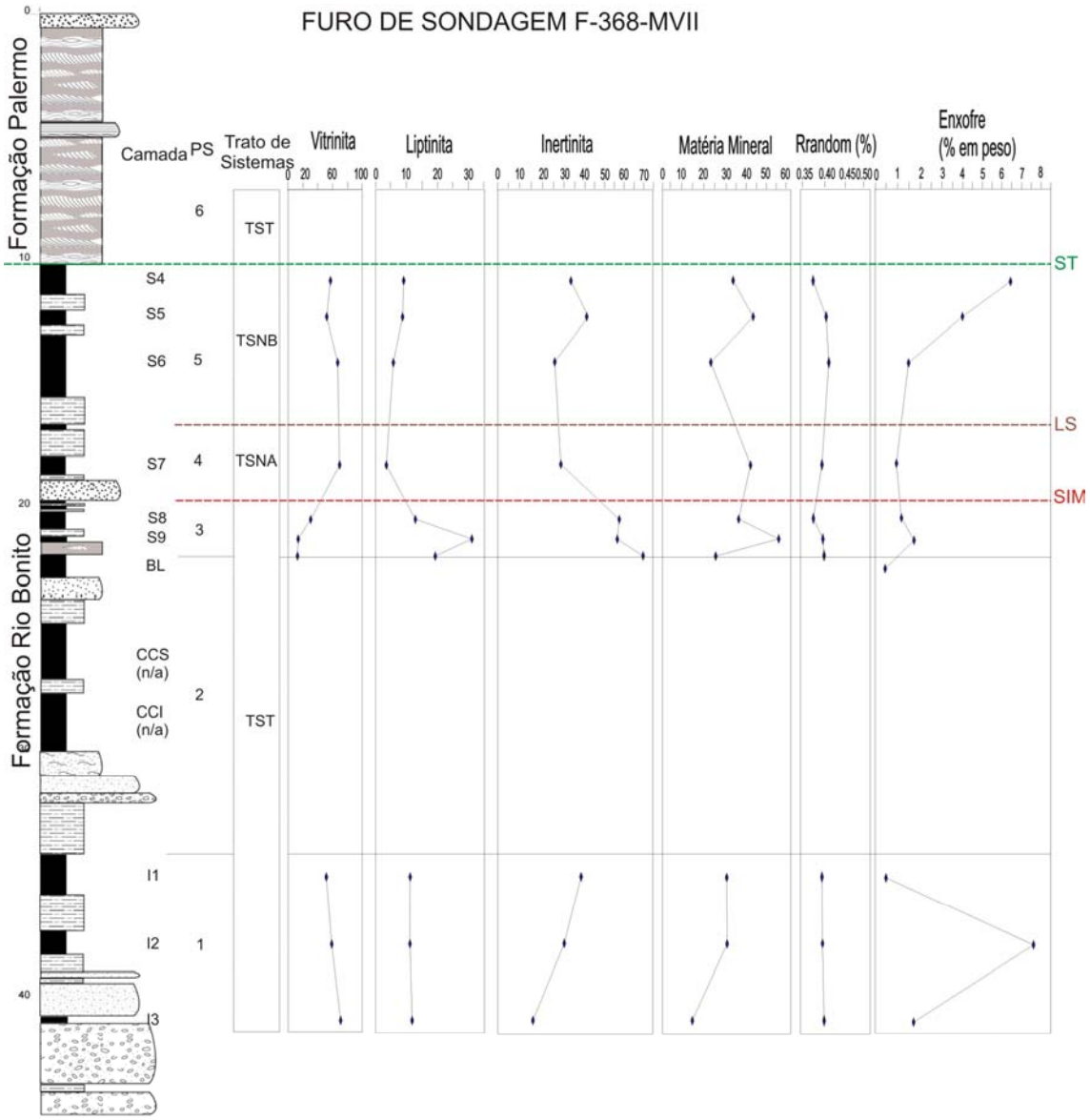


Figura 33: Interpretação da estratigrafia de sequências das camadas portadoras de carvão no furo de sondagem F-365-MVII, em Candiota, e as características petrológicas do carvão desta jazida. Grupos de macerais (calculada em base livre de matéria-mineral) e matéria mineral são reportadas em percentual por volume. Rrandom (%) reflectância aleatória da vitrinita. PS= parassequência, n/a= não amostrado. Resultados de Enxofre em percentagem em peso.

A matéria mineral predominante nos quatro furos determinado através da análise microscópica é argila, seguida de pirita e carbonato. A maioria das argilas ocorre como bandas de matéria inorgânica associadas à vitrinita (Figura 27). Os apêndices X, Y, Z e AA mostram as variações individuais dos macerais e a distribuição dos minerais (argilas, carbonatos, pirita e quartzo) nas camadas dos quatro furos analisados.

4.2.4. Reflectância da vitrinita (*rank*)

Os resultados revelam uma distribuição muito homogênea dos valores do Rrandom(%) nas amostras das camadas de carvão dos quatro furos estudados neste trabalho, mostrando valores que variaram entre 0,36% e 0,47%. Este comportamento homogêneo dos valores das amostras é esperado, uma vez que o intervalo estratigráfico entre a primeira camada do topo (S3) e a última camada da base (I5) é de aproximadamente 30 metros, e apenas sutis diferenças são esperadas devido à essa pequena diferença de soterramento. Para o furo F-364-MVII foi encontrado um valor médio de 0,42%. Para o furo F-365-MVII, o valor médio foi de 0,41%.Para o furo F-366-MVII, foi 0,40% e para o furo F-368-MVII foi encontrado valor médio de 0,39%. Os resultados detalhados dos valores da reflectância da vitrinita podem ser conferidos nos apêndices X, Y, Z e AA.

Com base no poder refletor da vitrinita as amostras dos quatro furos de sondagem são classificadas como sub-bituminoso C (Figura 34).

Durante a análise observou-se que alguns macerais do grupo da vitrinita e a matéria mineral encontravam-se oxidados, o que pode ter causado a diminuição do poder refletor em algumas amostras.

Nos furos F-364-MVII (Figura 30), F-365-MVII (Figura 31) e F-366-MVII (Figura 32) observam-se que o aumento do percentual de matéria mineral por volume causa diminuição nos valores da reflectância da vitrinita.

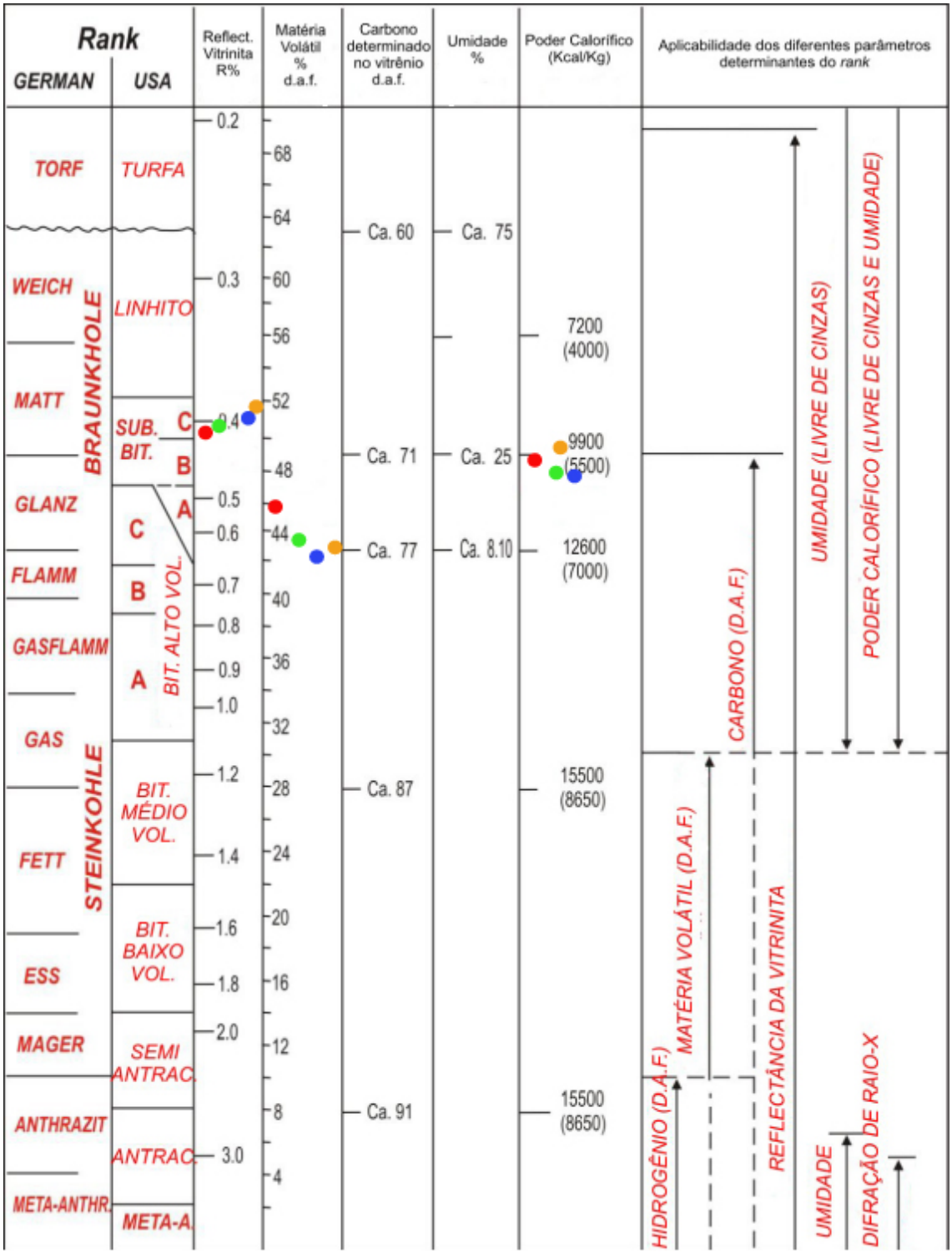


Figura 34: Classificação de todas as camadas de carvão dos quatro furos estudados neste trabalho através de valores médios da reflectância da vitrinita (Rrandom(%)), do teor em peso (%) da matéria volátil (*d.a.f* = *dry ash free* = seco e livre de cinzas) e do poder calorífico (*d.a.f*). O círculo vermelho representa o furo F-364-MVII, o círculo verde representa o furo F-365-MVII, o círculo azul representa o furo F-366-MVII, o círculo amarelo representa o furo F-368-MVII. Fonte: Stach *et. al*, (1982) Modificado

4.3. Análises Geoquímicas

4.3.1. Análise imediata

A Tabela 8 mostra a média dos valores de análise imediata (teor de umidade, cinzas, matéria volátil, carbono fixo e de matéria volátil (*d.a.f*. = *dry ash free* = seco e livre de cinzas)) de todas as camadas dos quatro furos.

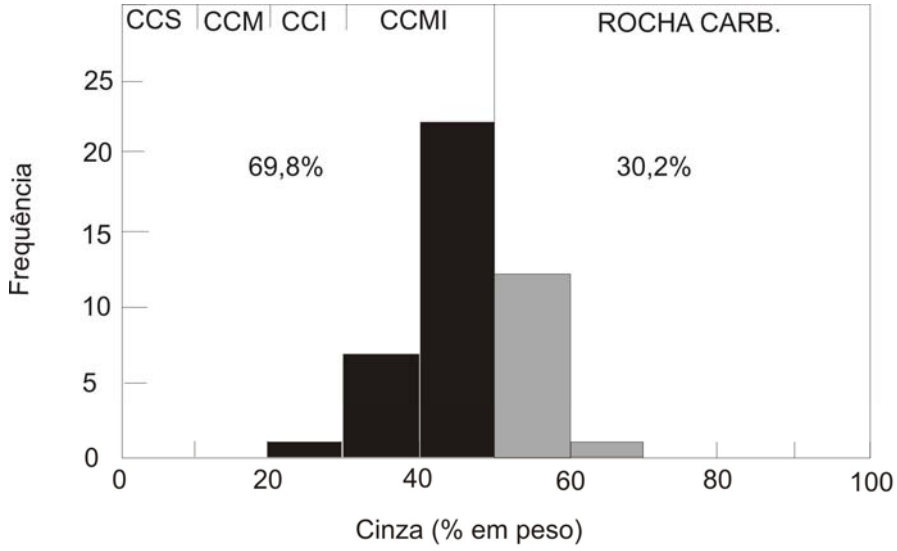
Tabela 8: Média dos resultados do teor de umidade, teor de cinzas, teor de matéria volátil, teor de carbono fixo e matéria volátil (*d.a.f.)* de todas as camadas dos quatro furos utilizados neste estudo

Furo	% Umidade	% Cinzas	%Matéria Volátil	% Carbono Fixo	% Matéria Volátil (*d.a.f*.)
F-364 MVII	5,3	49,3	20,3	25,1	45,9
F-365 MVII	8,3	43,7	20,4	27,6	43,0
F-366 MVII	8,4	44,7	19,3	27,5	41,8
F-368 MVII	7,1	46,3	20,1	26,5	43,7

O Apêndice BB apresenta os valores detalhados da análise imediata de cada amostra dos quatro furos referentes a este estudo.

Conforme a Figura 34 as camadas são classificadas como sub-bituminoso A baseada no conteúdo da matéria volátil (*d.a.f*.).

Os resultados dos teores de cinzas para as 42 amostras de carvão dos quatro furos estão expostas na Figura 35, e mostrou que 30,2% das camadas de carvão podem ser classificadas segundo a norma internacional da Comissão Econômica da Europa para as Nações Unidas como rocha carbonosa, enquanto que 69,8% das amostras pode ser classificada como carvão de categoria inferior e muito inferior.



CCS: Carvão de categoria superior- 0-10 % em peso de cinza
CCM: Carvão de categoria média- 10-20 % em peso de cinza
CCI: Carvão de categoria inferior- 20-30 % em peso de cinza
CCMI: Carvão de categoria muito inferior - 30-50 % em peso de cinza
Rocha Carbonosa >50 % em peso de cinza

Figura 35: Classificação de carvão segundo o percentual de cinzas. Fonte: International Classification of in-coal seams, (1998) Modificado

4.3.2. Análise elementar

Os teores médios de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre total e oxigênio das camadas de carvão podem ser verificados na Tabela 9, onde estão separados os valores por furo. Os teores individuais de cada camada podem ser observados no apêndice CC.

Tabela 9: Valores médios em peso (%) da análise elementar dos carvões dos quatro furos

Furo	C	H	N	S	O
F-364 MVII	27,49	2,70	0,62	1,90	17,97
F-365 MVII	29,80	2,97	0,68	1,90	20,97
F-366 MVII	28,96	2,89	0,69	1,39	21,31
F-368 MVII	27,08	2,78	0,60	2,41	20,86

No furo F-364, os teores individuas por camada mostraram resultados semelhantes ao dos teores médios do furo, com exceção da camada S7, que

apresentou teor mais baixo de carbono (15,59%) e da camada I1, que apresentou valor mais baixo de oxigênio (6,37%).

No furo F-365, os valores individuais por camada mostraram resultados semelhantes ao dos teores médios do furo, com exceção da camada L2 que apresentou valor de enxofre anômalo (7,9%) e da camada S4 que apresentou valor mais alto de oxigênio (32,61%).

No furo F-366, os valores individuais por camada mostraram resultados semelhantes ao dos teores médios do furo, com exceção da camada S6 que apresentou valor de enxofre mais alto (3,05%)

No furo F-368, a camada I3 apresenta valor mais alto que a média do furo no teor de hidrogênio (4,18%). As camadas S4, S5 e I2 apresentam valores anômalos de enxofre (6,48%, 4,03% e 7,63%, respectivamente).

4.3.3. Poder calorífico

Apenas as camadas de carvão com espessura maior que 20 cm foram analisadas nesta parte do trabalho, totalizando 33 análises. A Tabela 10 apresenta os valores médios do poder calorífico *d.a.f.* em cal/g das amostras de carvão de cada furo.

Tabela 10: valores médios do poder calorífico *d.a.f.* em cal/g das amostras de carvão de cada furo de sondagem

Furo	Poder calorifico *d.a.f.* cal/g
F-364 MVII	5456
F-365 MVII	5757
F-366 MVII	5790
F-368 MVII	5513

O apêndice DD apresenta os valores individuais por camada do poder calorífico. Este, é expresso em cal/g e em uma base seca e livre de cinzas (*d.a.f.*), obteve resultados variando de 3188 a 6859 cal/g, com um valor médio de 5588 cal/g. Conforme a Figura 34 as amostras dos quatro furos de sondagem são classificadas como sub-bituminoso B.

Em valores normais, sem desconsiderar o teor de umidade e cinzas, obteve-se resultados variando de 1546 a 3770 cal/g, com um valor médio de 2577 cal/g.

4.3.4. Difração de raios X

Quanto às amostras de carvão estudadas, a mineralogia determinada pela difração de raios X é constituída, em ordem de abundância por quartzo (SiO_2) em 100% das amostras; caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) em 97,7% das amostras; ilita ($K_{1.5}Al_4(Si_{6.5}Al_{1.5})O_{20}(OH)_4$) em 70,5% das amostras; feldspato alcalino ($KAlSi_3O_8$) em 45,5% das amostras; gipso ($CaSO_{4.2}H_2O$) em 43,2% das amostras; plagioclásio ($(Na,Ca)AlSi_3O_8$) em 36,4% das amostras; pirita (FeS_2) em 20,5% das amostras; siderita ($FeCO_3$) em 18,2% das amostras; calcita ($CaCO_3$) em 13,6% das amostras; piroxênio em 13,63% das amostras; anquerita ($Ca(Mg,Fe)(CO_3)$em 9,1% das amostras; interestratificado ilita/esmectita em 4,5% das amostras; esmectita ($Na_{0.33}(Al_{1.67}Mg_{0.33})Si_4O_{10}(OH)_2$) em 4,5% das amostras, e cristobalita (SiO_2) em 4,5% das amostras.

Os resultados individuais da difração de raios X, por amostra, podem ser conferidos no apêndice EE.

Capítulo 5

5. DISCUSSÕES

5.1. Estratigrafia de Seqüências e a distribuição do carvão.

Bohacs and Suter (1997) discutem em detalhe os controles da formação de camadas de carvão, enfatizando o que Cross (1988) modelou: o controle fundamental na formação e preservação é a taxa de acomodação em relação à produção da turfeira. Como também foi pontuado por Gastaldo et al. (1993), Aitken and Flint (1995), entre outros, Bohacs and Suter (1997) mostraram que as mais espessas, generalizando, acumulações de turfeiras ocorrem quando a taxa de acomodação cresce e o influxo clástico é moderado, como no final do Trato de Sistemas de Nível Baixo e no ínicio no Trato de Sistemas Transgressivo. Os autores predizem as espessuras, geometria e continuidade lateral relacionando com as mudanças do nível de base, como mostra a Figura 36.

O Trato de Sistemas Transgressivo da Seqüência 2 na área de estudo é um bom exemplo das relações geométricas entre as camadas de carvão e os tratos de sistemas, como foi predito pelo modelo de Bohacs e Suter (1997). As mais significativas camadas de carvão ocorrem neste trato de sistemas. O TST inicial (parassequências PS1 e PS2) possuem camadas de carvão espessas e relativamente contínuas, incluindo as mais importantes camadas de carvão da jazida de Candiota (camadas CCS e CCI). No TST final as camadas de carvão são mais finas e descontínuas lateralmente. Essa diferença entre as espessuras e continuidade das camadas de carvão observadas entre o TST inicial e final se deve ao fato da alta taxa de acomodação impedir a acumulação no espaço disponível, assim, apenas camadas finas e dispersas são formadas. No TST inicial, por comparação, a taxa de acomodação permite a formação de camadas de carvão espessas e lateralmente contínuas, porque a produção da turfeira é compatível com o aumento da acomodação.

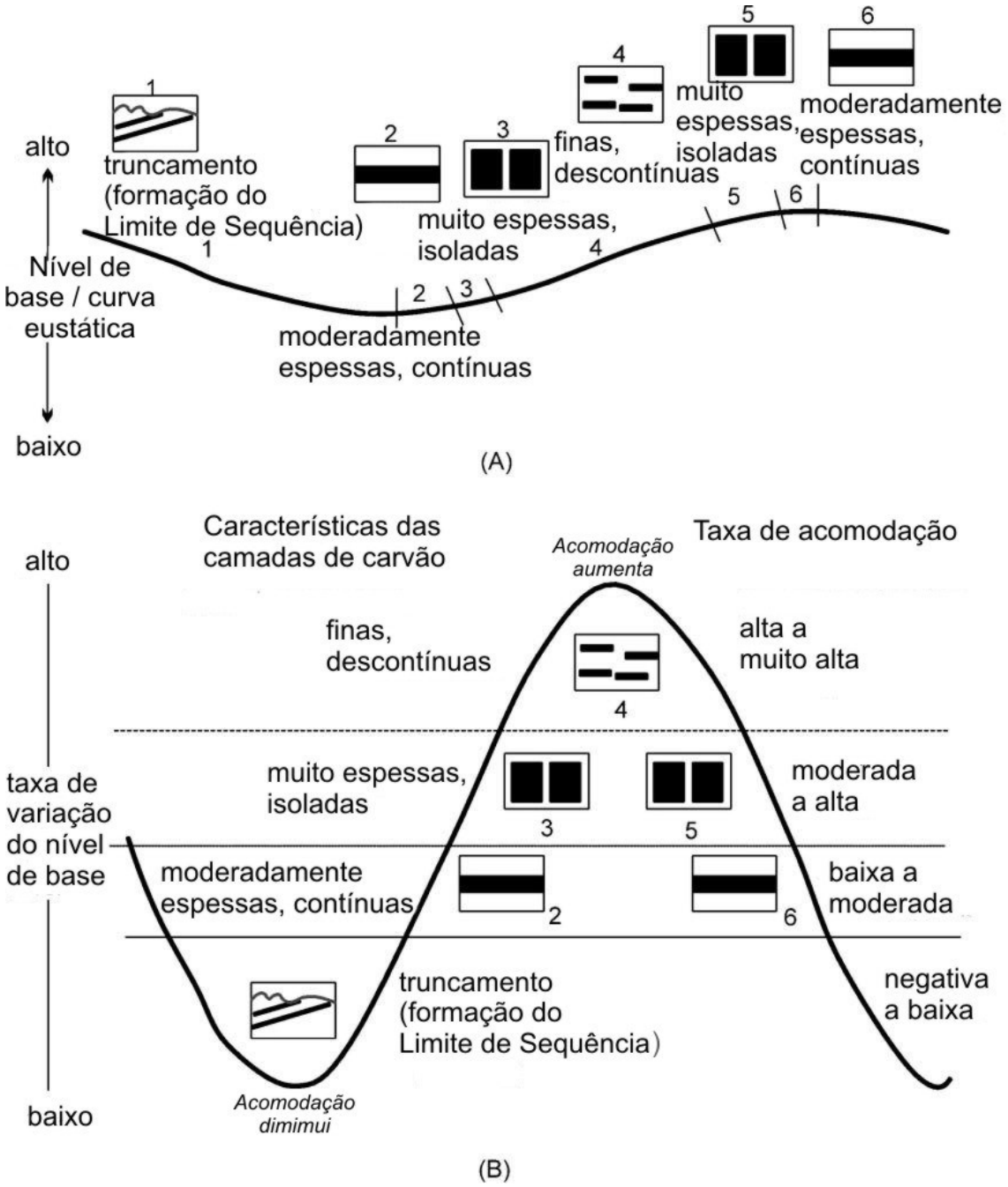


Figura 36: As geometrias e espessuras das camadas de carvão preditas pelo modelo de Bohacs e Suter (1997). Na parte (A) observa-se a relação das camadas com a curva do nível de base/curva eustática e na parte (B), a relação das camadas com a taxa de variação do nível de base, que interfere diretamente na criação do espaço de acomodação. Os números 1 e 2 indicam o TSNB, o 3 indica o TSNB final, o 4 indica o TST, o 5 indica o TST final, o 6 indica o TSNA inicial .

O Trato de Sistemas de Nível Alto da Seqüência 2, representado pela PS4, é fortemente erodido pela LS. Assim sendo, a distribuição do carvão mostra camadas muito finas e sem continuidade.

Como proposto em Holz e Kalkreuth (2004), em que fácies arenito com grânulos e com estratificação hummocky, indicam queda do nível de base. Esta,

causou a regressão forçada de fácies em direção à bacia, e foi seguida por uma rápida subida do nível de base, causando erosão e retrabalhamento das fácies regressivas em uma grande parte da área estudada.

No presente trabalho, o Trato de Sistemas de Nível Baixo da Seqüência 3, formado pela PS5, sofre uma grande influência da LS3. As fácies de barreira sobrepostas sobre as fácies de laguna indicam que há registros somente da transgressão que ocorreu nesta área. As camadas de carvão do topo deste trato de sistemas mostram espessura entre 0,5 e 2,5m formadas em ambiente lagunar, mas são descontínuas. Sendo assim, as relações preditas pelo modelo de Bohacs and Suter (1997) entre a geometria das camadas e a espessura não são observadas neste trato.

Estas relações entre a estratigrafia de seqüências e a distribuição das camadas de carvão na jazida de Candiota foram anteriormente observadas também em Holz e Kalkreuth (2004).

5.2. Petrologia do carvão e Estratigrafia de Seqüências

Assinaturas petrológicas e geoquímicas das camadas de carvão que são formadas em ambientes deposicionais transgressivos e regressivos tem sido estudados por muitos autores (DIESSEL, 1992; BANERJEE *et al*.,1996; HOLZ *et al*., 2002; BARNEJEE E KALKREUTH, 2002; HOLZ E KALKREUTH, 2004; DIESSEL, 2007). De acordo com estes estudos os parâmetros petrográficos, incluindo o conteúdo de vitrinita e a reflectância da vitrinita, mostram comumente significante variação no topo e na base das camadas de carvão, sendo relacionando ao regime deposicional (transgressivo e regressivo) o qual a turfeira foi depositada. A natureza transgressiva-regressiva das camadas de carvão também é refletida na assinatura química, como o conteúdo de hidrogênio e enxofre (DIESSEL, 1992).

A composição petrográfica das camadas de carvão analisadas na área de estudo mostra em termos de conteúdo os grupos de macerais e matéria mineral uma tendência de diminuição do conteúdo de vitrinita da base para o topo no intervalo das camadas de carvão da Seqüência 2 (PS1 – PS2), o qual é paralelo ao aumento do conteúdo de inertinita (Figuras 30, 31, 32, 33) (camadas inferiores) . O rápido aumento de inertinita no topo das camadas de carvão da PS3 é devido à alta

contribuição de fusinita nas camadas Banco Louco e S9, somada com os teores de semifusinita e inertodetrinita. Entretanto, apesar do enriquecimento dessas camadas em inertinita quando comparada com as camadas de carvão adjacentes, observa-se dentro da PS3 uma tendência de aumento no conteúdo da vitrinita e diminuição do conteúdo de inertinita. Essa tendência continua nas PS4 e PS5. A camada representativa da PS4 nos furos F-364-MVII, F-366-MVII e F-368-MVII é a camada denominada de S7 e no furo F-365-MVII é a camada S6 e apresentam um abrupto aumento no conteúdo de vitrinita e respectiva diminuição do conteúdo de inertinita. As camadas correspondentes à PS5 mantêm as características da PS4. O conteúdo de liptinita apresenta uma tendência de aumento na seqüência 2, sendo este comportamento paralelo ao teor de inertinita. Na seqüência 3, a tendência é de diminuição do conteúdo de liptinita.

A comparação entre as características petrológicas do carvão com a estratigrafia de seqüências proposta para a área mostra que as características do carvão são controladas pelo ambiente deposicional. Durante a fase inicial do TST, a acumulação da turfeira foi associada com o nível de base relativamente alto, favorecendo a preservação da matéria orgânica na forma de vitrinita (camadas I3, I4, I5, L1,L2). Uma tendência sucessiva de condições ambientais mais secas, em direção ao topo da PS1 é caracterizada pela diminuição do conteúdo de vitrinita e aumento do conteúdo de inertinita (camadas I1 e I2). Esta tendência é interpretada como reflexo do aumento das condições regressivas no topo da PS1. O estágio final do TST (PS2) mostra um similar controle estratigráfico, embora neste estudo tenha-se gerado dados somente no topo e na base da PS2 (não foram realizadas amostragem na CCS e CCI, por não serem o foco do estudo). As características petrológicas das camadas BL e S9, os quais são desenvolvidas na PS3, sugerem uma natureza regressiva das camadas, como é indicado pelo alto conteúdo de inertinita. Diessel (1992) sugere que carvões deste tipo podem ser formados em turfeiras associadas à barreira litorânea, em uma fase regressiva dentro de um período maior transgressivo. Os altos valores no conteúdo de fusinita aparentemente têm origem em incêndios que ocorreram em florestas perto das margens da turfeira, seguido pelo transporte para a turfeira pelo vento ou pela água. Estas tendências nos parâmetros petrológicos foram observados também no furo SGQ-26 (HOLZ E KALKREUTH, 2004)

O conteúdo de matéria mineral (obtida microscopicamente) apresenta uma sutil tendência de aumento dos valores na seqüência 2 e uma tendência a diminuição dos valores na seqüência 3, da base para o topo em ambas as seqüências. As variações de matéria mineral indicam que a turfeira percussora geralmente apresenta variações do nível de base, com freqüentes inundações, o que coincide com o fato que no topo da PS3 ocorre a superfície de inundação máxima, dentro da seqüência 2. A diminuição do conteúdo de matéria mineral na seqüência 3 indica que a turfeira apresenta estabilização, com poucos eventos de inundação.

Os conteúdos de enxofre e hidrogênio são comumente usados para distinguir a assinatura geoquímica das camadas de carvão, em carvões regressivos e transgressivos (de DIESSEL, 1992; BANERJEE *et al*., 1996), mas neste trabalho não se observa essa relação nitidamente (Figuras 30, 31, 32, 33), devido ao fato de que os trabalhos anteriores fazem essas relações dentro da camada e neste trabalho os valores obtidos são de camada total. Influência marinha na turfeira é caracterizada por conteúdo de enxofre relativamente alto. Esta relação não foi observada nas camadas de carvão estudadas.

5.3. Litotipos e sua relação com os grupos de macerais e matéria mineral

Variações na petrografia dos litotipos é uma função da sua origem (vegetação e ambiente deposicional). Muitos estudos em carvões betuminosos (DIESSEL, 1965; HOWER *et al*., 1988; MASTALERZ E SMYTH, 1988; MARCHIONI E KALKREUTH, 1991) tem mostrado em geral que o conteúdo de vitrinita tendem à diminuir e os conteúdos de inertinita, liptinita e matéria mineral tendem à aumentar com a diminuição dos componentes brilhosos. Assim sendo, os perfis de litotipos podem servir como base para a interpretação da sucessão de condições da turfeira formadora das camadas de carvão.

Marchioni (1980) reportou que os carvões foscos estudados por ele na Austrália tinham o conteúdo de matéria mineral e inertodetrinita relativamente alto. Com isso concluiu que este litotipo fosco era formado durante períodos de elevado nível da água e circulação dentro da turfeira. Litotipos brilhoso, bandado brilhoso, bandado e uma porção de foscos bandados são interpretados como sendo formados

numa floresta telmática (pântano -condições úmidas). Carvões foscos bandados são formados em uma ampla gama de ambientes.

A maior causa das variações petrográficas é a o nível da água na turfeira, porque influência no tipo de comunidade de plantas e na degradação dos macerais precursores.

Nas camadas superiores, inferiores e BL dos furos F-364 MVII, F-365 MVII e F-368 MVII da jazida de Candiota há a predominância do litotipo fosco (66%), isto se reflete no alto teor de matéria mineral. Entretando nas camadas S8, S9 e BL o litotipo fosco reflete ambos, o alto conteúdo de inertinita e matéria mineral. Através dessa relação conclui-se que estas camadas foram formadas durante períodos de elevado nível da água e circulação dentro da turfeira.

5.4. Qualidade do carvão

Os resultados petrológicos e geoquímicos forneceram informações acerca da qualidade das camadas de carvão. Alguns fatores foram organizados na tabela 11 baseado nos resultados deste trabalho, como: espessura, quantidade de cinzas, matéria volátil e de matéria inerte (inertinita), poder calorífico e reflectância da vitrinita. Com a observação dos resultados dispostos na tabela 11, nota-se que algumas camadas possuem pouca variação na espessura, como a S3, S4, S7, S9, BL, I2 e I3, ao contrário das camadas S5, S6, S8 e I1 que tem variações muito altas entre os quatro furos. As camadas I4 e I5 foram encontradas somente no furo F-364-MVII, por isso temos valores iguais de mínimo, máximo e médio na tabela 11.

As camadas de carvão da jazida de Candiota são ricas em cinzas, possuindo em média 47,1 wt.%. Usando os critérios do International Classification of in-Seam Coals (1998), a maioria das camadas de carvão é classificada como carvões de categoria muito inferior (30–50 wt.% cinzas), entretanto, as camadas S4, I1, I4 e I5 são classificadas como rochas carbonosas (>50 wt.% cinzas) (Tabela 11).

As camadas da jazida de Candiota tem uma quantidade de matéria volátil em torno de 20,2%. O poder calorifico, em média, é de 2538,8 cal/g e o conteúdo médio de inertinita varia bastante entre as camadas, de 13,2 a 48,1%vol, devido ao enriquecimento de algumas camadas neste grupo de macerais.

As camadas de carvão superiores, inferiores e BL da jazida Candiota, apresentam em média um valor de 0,41 (R%) para a reflectância da vitrinita, correspondendo ao *rank* sub-bituminoso C.

O teor de enxofre total médio das camadas analisadas varia de 0,87 a 4,29 % em peso.

Conforme os dados técnicos da CRM, a usina termelétrica Presidente Médici pode operar com até 53% de cinzas e 2,0 de enxofre total. Assim, tendo em vista as médias do percentual de cinzas de cada camada de carvão (Tabela 11), as camadas S3, S6, S7, S8, S9, BL, I3 e I4 atenderiam as exigências de teor de cinzas e enxofre total máximo e exigido pela termelétrica.

.

Tabela 11: Principais parâmetros para avaliar a qualidade do carvão nas camadas superiores, inferiores e BL da jazida de Candiota, com base nas amostras utilizadas neste estudo.

Cama-da	Espessura (m)			% Cinzas			% Matéria Volátil			Poder Calorífico (cal/g)			Conteúdo de Inertinita (%vol)			Reflectância da vitrinita (Rrandom%)			Teor de Enxofre (S) % em peso		
	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd
S3	0,36	0,42	0,39	32,0	43,0	37,5	20,2	22,7	21,5	3018	3103	3061	15,4	24,2	19,8	0,40	0,41	0,40	0,69	3,00	1,85
S4	0,30	0,75	0,53	39,3	62,3	50,8	16,6	19,2	17,9	1685	3173	2429	20,0	26,2	23,1	0,37	0,42	0,40	0,65	6,48	3,57
S5	0,35	1,29	0,82	40,1	51,2	45,7	19,3	20,5	19,9	1918	2789	2354	16,4	24,6	20,5	0,40	0,42	0,41	0,55	4,03	2,29
S6	0,08	1,51	0,80	36,7	52,7	44,7	18,0	20,3	19,2	2507	2802	2655	14,0	19,6	16,8	0,41	0,42	0,41	0,68	3,05	1,87
S7	0,08	0,38	0,23	43,1	52,8	48,0	16,3	21,5	18,9	1546	1926	1736	15,4	37,0	26,2	0,36	0,43	0,40	0,41	1,48	0,95
S8	0,08	0,73	0,41	33,7	44,1	38,9	16,3	19,4	17,9	2303	2445	2374	19,6	37,8	28,7	0,36	0,41	0,39	0,88	2,76	1,82
S9	0,09	0,56	0,33	41,6	55,4	48,5	17,4	20,6	19,0	2265	2291	2278	35,2	45,0	40,1	0,38	0,43	0,40	0,50	1,75	1,13
BL	0,60	0,78	0,69	41,7	49,3	45,5	19,0	21,9	20,5	2381	3425	2903	44,0	52,2	48,1	0,40	0,45	0,43	0,47	2,1	1,29
I1	0,15	1,13	0,64	50,0	57,6	53,8	20,0	22,4	21,2	2359	2659	2509	17,8	26,4	22,1	0,39	0,41	0,40	0,50	8,08	4,29
I2	0,90	1,53	1,22	36,5	55,2	45,9	20,4	21,6	21,0	2411	2742	2577	19,0	21,0	20,0	0,39	0,40	0,40	0,82	7,63	4,23
I3	0,15	0,22	0,19	33,9	49,9	41,9	25,1	27,0	26,1	3177	3770	3474	13,2	13,2	13,2	0,40	0,47	0,43	0,85	1,68	1,27
I4	1,17	1,17	1,17	52,8	52,8	52,8	21,0	21,0	21,0	2599	2599	2599	18,0	18,0	18,0	0,44	0,44	0,44	0,87	0,87	0,87
I5	0,43	0,43	0,43	58,1	58,1	58,1	18,1	18,1	18,1	2058	2058	2058	13,8	13,8	13,8	0,47	0,47	0,47	1,07	1,07	1,07

Capítulo 6

6. CONCLUSÕES

As camadas superiores, inferiores e Banco Louco da jazida de Candiota foram estudadas através da coleta da coleta de dados de oito furos de sondagem perfurados pela CRM em 2009.

Os resultados incluíram:

- interpretação sedimentológica e estratigráfica
- análise petrológica (litotipos, reflectância da vitrinita e análise de macerais).
- análise química (imediata, elementar, poder calorífico, difração de raios X).

As características das camadas superiores, inferiores e BL, baseado nos resultados são resumidas nas próximas seções:

6.1. Sistemas Deposicionais e Estratigrafia de Seqüências na sucessão portadora de carvão

Os dados utilizados para a interpretação sedimentológica e estratigráfica foram obtidos através da descrição de oito furos de sondagem. Na base do intervalo estudado, a sucessão faciológica da Formação Rio Bonito compreeende conglomerados matriz-suportados e arenitos com grânulos, típicos de sistemas de leques aluviais e sistemas fluviais, respectivamente. As camadas de carvão inferiores que ocorrem neste intervalo estão associadas à deposição no ambiente fluvial no TST inicial, e são tipicamente finas e descontínuas. As principais camadas de carvão (espessas e contínuas) ocorrem no subambiente lagunar, do ambiente laguna- barreira, no final do TST da seqüência 2. As camadas superiores desenvolvem-se no TSNA e TSNB, e são tipicamente finas e descontinuas. Em seguida ocorrem sedimentos marinhos (pertencentes à Formação Palermo) no topo da seção analisada, sobrepostos à sucessão portadora de carvão (Formação Rio Bonito).

Observa-se então, um grande controle estratigráfico na geometria e disposição das camadas de carvão.

6.2. Resultados petrológicos das camadas de carvão

Os dados utilizados para a petrologia foram obtidos através da coleta de amostras das camadas de carvão de quatro furos de sondagem. A reflectância da vitrinita para as camadas analisadas indica um rank sub-bituminoso C (Rrandom= 0,36% - 0,47%). A composição dos macerais é altamente variável, com algumas camadas (BL, S9, e algumas vezes S8 e S7) extremamente ricas em macerais do grupo da inertinita (até 65% vol). A composição petrográfica e as variações da reflectância da vitrinita sugerem que a preservação da matéria mineral foi controlada pelas taxas de acomodação e acumulação da turfeira.

O litotipo dominante nas camadas de carvão é o litotipo fosco (durênio), em 66% da espessura total das amostras. Já o litotipo bandado brilhante (BB) aparece mais raramente (somente em 0,7% da espessura total das amostras) e em espessuras bem menores (lâminas de 0,5 a 5 cm de espessura).

6.3. Resultados das análises químicas

Os dados utilizados para as análises químicas foram obtidos através da coleta de amostras das camadas de carvão de quatro furos de sondagem. Na análise elementar os teores médios em peso das amostras foram de 28,3% para o carbono, 2,8% para o hidrogênio, 0,6% para o nitrogênio, 1,9% para o enxofre total e 20,3% para o oxigênio (os teores de oxigênio foram calculados por diferença).

Na análise imediata os teores médios em peso foram de 7,3% de umidade, 46% cinzas, 20% matéria volátil, 26,7% carbono fixo, 43,6% matéria volátil (*d.a.f.*). Baseado no conteúdo da matéria volátil (*d.a.f.*) as camadas de carvão são classificadas como sub-bituminoso A. Com base no teor de cinzas, 30,2% das camadas de carvão podem ser classificadas segundo a norma internacional da Comissão Econômica da Europa para as Nações Unidas como rocha carbonosa, enquanto que 69,8% das amostras podem ser classificada como carvão de categoria inferior e muito inferior.

O poder calorífico é expresso em cal/g e calculado em uma base seca e livre de cinzas (*d.a.f.*) e obteve-se resultados variando de 3188 a 6859 cal/g, com um valor médio de 5588 cal/g. Com base nestes resultados as amostras são classificadas como sub-bituminoso B.

Na difração de raios X a mineralogia determinada é constituída principalmente por quartzo (SiO_2) em 100% das amostras; caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) em 97,7% das amostras e ilita ($K_{1.5}Al_4(Si_{6.5}Al_{1.5})O_{20}(OH)_4$) em 70,5% das amostras.

6.4. Petrologia, Química e Estratigrafia de Sequências

A composição petrográfica das camadas de carvão em termos de conteúdo dos grupos de macerais e matéria mineral mostra uma tendência de diminuição do conteúdo de vitrinita da base para o topo no intervalo das camadas de carvão (camadas inferiores) da Seqüência 2 (PS1 – PS2), o qual é paralelo ao aumento do conteúdo de inertinita. A PS3 apesar de apresentar enriquecimento em inertinita, quando suas camadas são comparadas com as camadas de carvão adjacentes, observa-se dentro da PS3 uma tendência de aumento no conteúdo da vitrinita e diminuição do conteúdo de inertinita. Essa tendência continua nas PS4 e PS5. O conteúdo de liptinita apresenta uma tendência de aumento na seqüência 2, sendo este comportamento paralelo ao teor de inertinita. Na seqüência 3, a tendência é de diminuição do conteúdo de liptinita.

A comparação entre as características petrológicas do carvão com a estratigrafia de seqüências proposta para a área mostra que as características do carvão são controladas pelo ambiente deposicional. Durante a fase inicial do TST, a acumulação da turfeira foi associada com o nível de base relativamente alto, favorecendo a preservação da matéria orgânica na forma de vitrinita. O estágio final do TST (PS2) mostra um controle estratigráfico similar (acumulação de turfeiras espessas resultando nas CCS e CCI). As características petrológicas da PS3 ,sugere uma natureza regressiva das camadas, como é indicado pelo alto conteúdo de inertinita. Carvões deste tipo podem ser formados em turfeiras associadas à barreira litorânea, em uma fase regressiva dentro de um período maior transgressivo.

Os altos valores no conteúdo de fusinita podem ter origem em incêndios que ocorreram perto das margens da turfeira, seguido pelo transporte para a turfeira pelo vento ou pela água.

O conteúdo de matéria mineral apresenta uma sutil tendência de aumento dos valores na seqüência 2 e uma tendência a diminuição dos valores na seqüência

3. As variações de matéria mineral indicam que a turfeira percussora geralmente apresenta variações do nível de base.

6.5. Qualidade do carvão

As camadas de carvão da jazida de Candiota são ricas em cinzas, com um média de 47,1% em peso. Usando os critérios do International Classification of in-Seam Coals (1998), a maioria das camadas de carvão é classificada como carvões de categoria muito inferior (30–50 % em peso de cinzas), entretanto, as camadas S4, I1, I4 e I5 são classificadas como rochas carbonosas (>50 % em peso de cinzas). O teor de enxofre total médio das camadas analisadas varia de 0,87 a 4,29 % em peso. Conforme os dados técnicos da CRM, a usina termelétrica Presidente Médici pode operar com até 53% de cinzas e 2,0 de enxofre total. Assim, tendo em vista as médias do percentual de cinzas de cada camada de carvão, as camadas S3, S6, S7, S8, S9, BL, I3 e I4 atenderiam as exigências de teor de cinzas e enxofre total máximo e exigido pela termelétrica para utilização.

REFERÊNCIAS

ADE, M.V.B. 1993. **Caracterização dos sistemas deposicionais e das camadas de carvão no pacote sedimentar da Malha IV, Jazida de Candiota, RS.** Porto Alegre. 98p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AITKEN, J. F., and FLINT, S. S., 1995, The application of high resolution sequence stratigraphy to fluvial systems: A case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group, eastern Kentucky, U.S.A. **Sedimentology**, v. 42, p. 3–30.

ALVES. R.G. 1994. **Correlação estratigráfica de alta resolução aplicada ao Permiano Inferior da Bacia do Paraná , na região de Candiota, Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. 120p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ALVES, R.; ADE, M., 1996. Sequence stratigraphy and coal petrography applied to the Candiota Coalfield, Rio Grande do Sul, Brazil: a depositional model. **International Journal of Coal Geology** 30, 231–248.

ANEEL, 2008. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 236 p.

ASTM, 1991. **Annual Book of ASTM Standards**. Sec 05.05. Standard Test Methods for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, p.324-325.

ASTM, 1991. **Annual Book of ASTM Standards**. Sec 05.05. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke From Coal. ASTM, D 3174-89, Philadelphia, PA, p.326-328.

ASTM, 1991. **Annual Book of ASTM Standards**. Sec 05.05. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3175-89a, Philadelphia, PA, p.329-331.

ASTM. 1997. **Annual Book of ASTM Standards**, Sec 05.05. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal and Coke ASTM D 5373-93. Philadelphia, Pa. p.459-462.

ASTM, 2010. **Annual Book of ASTM Standards**. Standard Test Methods for Gross Calorific Value of Coal and Coke. ASTM, D 5865-10ae, West Conshohocken, PA, 14 pg.

BANERJEE, I., and W. KALKREUTH, 2002, Sedimentology, sequence stratigraphy, palynology, organic petrology and geochemistry of Mannville coals in south-central Alberta: **Geological Survey of Canada Bulletin**, v. 571, 57 p.

BANERJEE, J., W. KALKREUTH, and E. DAVIES, 1996, Coal seam splits and transgressive-regressive coal couplets: A key to stratigraphy of high-frequency sequences. **Geology**, v. 24, p. 1001–1004.

BOHACS, K., and SUTER, J., 1997, Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: Fundamental controls and paralic examples. **AAPG Bulletin**, v. 81, p. 1612–1639.

BUSTIN, R.M.; CAMERON, A.R.; GIREVE, D.A.; KALKREUTH, W.D. 1983. Coal petrology: its principles, methods, and applications. Victoria, British Columbia. **Geological Association of Canada**, 3, 248p.

COLLINSON, D.J. 1969, The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern england. **Journal of Sedimentology**, 39: 194-221

CROSS, T.A., 1988. Controls on coal distribution in transgressive– regressive cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, USA. In: WILGUS, C.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, C.G.St.C., POSAMENTIER, H.W., Ross, C.A., VANWAGONER, J.C. (Eds.), **Sea-Level Changes: An Integrated Approach**, vol. 42. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, OK, pp. 371– 380, Special Publication.

DIESSEL, C. F. K. 1965. Correlation of macro and micro-petrography of some New South Wales Coals. In: WOODCOCK, J. T., MADIGAN, R. T. and THOMAS, R.G. (Editors), **Proceedings-General**, Vol. 6, 8th Commonw. Min. Metall. Congr., Melbourne: 669-677.

DIESSEL, C.F.K., 1992. **Coal-Bearing Depositional Systems**. Springer, Berlin, 721 pp.

DIESSEL, C. F. K., 2007. Utility of coal petrology for sequence-stratigraphic analysis. **International Journal of Coal Geology**, v. 70, p. 3–34.

FLINT, R.F., SANDERS, J.E., RODGERS, J. 1960.**Diamictite, a substitute term for symmictite**. Geol. Soc. Am. Bull. 71, 1809–1810,

GASTALDO, R. A, DEMKO, T. M., and LIU, Y.1993, Application of sequence and genetic stratigraphic concepts to carboniferous coal-bearing strata: An example from the Black Warrior basin, U.S.A.: **Geologische Rundschau**, v. 82, p. 212–226.

HOLZ, M. 1995. **O intervalo gonduânico basal (Eo-Permiano) da Bacia do Paraná na região nordeste do Rio Grande do Sul - um exercício de estratigrafia.** 255p.,2 vol. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HOLZ, M., KALKREUTH, W., 2004. Sequence stratigraphy and coal petrology applied to the Early Permian coal-bearing Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. In: PASHIN, J.C., GASTALDO, R.A. (Eds.), **Sequence Stratigraphy, Paleoclimate and Tectonics of Coal- Bearing Strata**: AAPG Studies in Geology, 51, pp. 147–167.

HOLZ, M., KALKREUTH, W., and BANERJEE, I., 2002, Sequence stratigraphy of paralic coal-bearing strata: An overview. **International Journal of Coal Geology**, v. 48, p. 147–179.

HOLZ, M. & CARLUCCI, R. 2000. Litoestratigrafia, Estratigrafia de Seqüências e Evolução Paleofisiográfica da zona de borda da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o Eo-Permiano. In: HOLZ, M. & DE ROS. L. F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS. Porto Alegre, p. 303-320.

HOWER, J., POLLOCk, J., and WILD, G., 1988. **Maceral composition of single-lithotype coal samples from Kentucky**. Soc. Org. petrol. Newsl., 15(2) p.4-5.

IKA – WERKE, 2004. **C2000 Basic IKA Calorimeter System Operating Instructions**. 92p.

ICCP, 1963. International Committee for Coal and Organic Petrology. **International handbook of coal petrography**. 2 ed. Paris: Centre National de La Recherche Scientifique. Supplement.

ICCP. International Committee for Coal and Organic Petrology. 1971.**International handbook of coal petrography.** 2 ed. Paris, Centre National de La Recherche Scientifique. Supplement

ISO 7404-3. 1984. Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite – Part 3: Methods of determining maceral group composition. **International Organization for Standardization – ISO.** Genova. 4p.

ISO 7404-5. 1994. Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite – Part 5: Methods of determining microscopically the reflectance of vitrinite. **International Organization for Standardization – ISO.** Genova. 12p.

KALKREUTH, W. & LECKIE, D.A. 1989. Sedimentological and petrographical characteristics of Cretaceous strandplain coals: a model for coal accumulation from the North American Western Interior Seaway. **International Journal of Coal Geology**, 12, p.381-424.

KALKREUTH, W.D. HOLZ, M.; KERN, M.; SILVA, M.B.; FINKELMANN, R.; & WILLEN, J. 2001. Permian Coal measures in Rio Grande do Sul, Brazil - Geological setting coal petrography and chemical characteristics. In: CONGRESSO LATINO DE GEOLOGIA, III., 2001, Montevideo. **Anais...** Montevideo.

KALKREUTH, W.; HOLZ, M.; MACHADO, G.; MEXIAS, A.; SILVA, M.B.; WILLETT, J.; FINKELMAN, R.; BURGER, H. 2006. Petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields, Rio Grande do Sul, Brazil. **International Journal of Coal Geology**, 68: 79-116.

KALKREUTH, W.; HOLZ, M.; MEXIAS, A.; BALBINOT, M.; LEVANDOWSKI, J.; WILLETT, J.; FINKELMAN, R.; BURGER, H. 2010. Depositional setting, petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 2. South Santa Catarina Coalfield, Brazil. **International Journal of Coal Geology**, 84: 213-236.

MACKOWSKY, M. – Th., 1982a. Minerals and Trace Elements Occurring in Coal; in STACH, E., MACKOWSKY, M. – TH., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G. H., CHANDRA, D., AND TEICHMÜLLER, R., **Coal Petrology,** 3rd Edition; Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 153-171

MARCHIONI, D.L., 1980. Petrography and depositional environment of the Liddell Seam, Upper Hunter Valley, New South Wales. **International Journal of Coal Geology**, 1:35-61.

MARCHIONI, D. AND KALKREUTH, W., 1991. Coal facies interpretations based on lithotypes and maceral variations in Lower Cretaceous (Gates Formation) coals of Western Canada. **International Journal of Coal Geology**,18:125-162.

MASTALERZ, M. AND SMYTH, M., 1988. Petrography and depositional conditions of the 64/65 coal seam in the Intrasudetic Basin, S W Poland. **International Journal of Coal Geology**,10: 309-336.

MILANI, E.J. 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. Porto Alegre. 225p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILANI, E.J. & RAMOS, V.A.1998. Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-Ocidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, 28 (4):473-484

MILANI, E. J. 2000. Geodinâmica Fanerozóica dao Gondwana sul-ocidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros. L. F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS. Porto Alegre, p 275-302.

MILANI E.J.; MELO J.H.G.; SOUZA P.A.; FERNANDES A.F.; FRANÇA A.B. 2007; **Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, 15(2):265-287, maio/nov.

POSAMENTIER, H. W., JERVEY, M.T. AND VAIL, P. R., 1988, Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual framework, in WILGUS, C. K., (ed.). **Sea-level changes: an integrated appproach**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 42:109-124

RAO, C. P. AND GLUSKOTER, H.J., 1973; **Occurrence and Distrubution of Minerals in Illinois Coals**, Illinois State Geological Survey Circular 476, 56,

REINECK, H. E. & WUNDERLICH, F. 1968 Classification and origin of flaser and lenticular bedding. **Sedimentology** ,11:99-104

REISON, G. E. 1992. Transgressive Barrier Islands na Estuarine Systems. In: Walker, R.G. & James, N.P. (Ed). **Fácies Models: response to sea level change.** 1 ed. Ontário, Geological Association of Canadá. p. 179-194

RODRIGUES, A. D. 2008. As "Camadas de carvão inferiores" de Candiota, FM. Rio Bonito, Bacia do Paraná : análise estratigráfica e implicações para seu aproveitamento econômico. In: Salão de Iniciação Científica (20. : 2008 out. 20-24 : Porto Alegre, RS). **Livro de resumos.** Porto Alegre : UFRGS, 2008. Resumo 309, p.110.

SCHOPF, J. M. 1956; **A definition of coal**. Economic Geology, [S.l.], v. 51, p. 521-527,

SCHENEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A..; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A. A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28,1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, SBG,v1, p.41-65.

SIBILIA, John P., 1988; **A guide to materials characterization and chemical analysis.** Morristown: VCH Publishers,.

SILVA, M.B., 1994. **Caracterização petrográfica das camadas de carvão da Malha IV, Jazida de Candiota, RS**. 1994. 106 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

SILVA, M.B., 1999. **Petrologia de carvões nas jazidas do Leão e Candiota, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, RS, Brasil**. 1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

SILVA, M.B. & KALKREUTH, W.D. 2005; Petrological and geochemical characterization of Candiota coal seams, Brazil – Implication for coal fácies interpretations and coal rank. In: **International Journal of Coal Geology**, 64 p. 217-238.

SIMÃO, G. 2007; Análises petrográficas e químicas dos carvões e partículas não queimadas nas cinzas da Termoelétrica Presidente Médici, Candiota-RS. In: Congresso Brasileiro De Geoquímica , 11., 21 a 26 out., Atibaia. **Anais**. Atibaia, SP: SBGq.

STACH, E. 1982. The lithotypes of humic and sapropelic coals. In: STACH, E.: MACKOWSKY, M.Th.: TEICHMÜLLER, M.; TAYLOR, G.H.; CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. 1982 (eds.). **Stach's Textbook of Coal Petrology**, 3rd ed, Berlin: Gerbrüder-Borntraeger, p. 171-177.

WARD, C. R., 1984. **Coal Geology and Coal Technology**, Blackwell Scientific Publications, Inc., Palo Alto, CA.

WARD, C. R., 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams, **International Journal of Coal Geology**, vol. 50, 135– 168,

VAIL, P.R. MITCHUM, R.M. & THOMPSON, S. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C.E. 1977. **Seismic stratigraphy – application to hydrocarbon exploration.** American Association of Petroleum Geologists Memoir 26. P. 63-81.

VAN WAGONER, J. C., R. M. MITCHUM, K. M. CAMPION, AND V. D. RAHMANIAN, 1990, Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: **Concepts for high-resolution correlation of time and facies**: AAPG Methods in Exploration, v. 7, 55 p.

VARIO MACRO – **Elemental Analyzers, The universal way of macro analysis**, 2004.

WALKER, R.G., JAMES, N.P., 1992. **Facies Models: Response to Sea Level Change**, 1 ed. Geological Association of Canada, Ontario. 409 pp.

WILGUS, C. K., B. S. HASTINGS, C. G. ST. C. KENDALL, H. W. POSAMENTIER, C. A. ROSS, AND J. C. VAN WAGONER, eds., 1988, **Sea-level changes— An integrated approach**: SEPM Special Publication 42, 407 p.

ZALÁN, P. V.;WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.;MARQUES, A.; ASTOFOLI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPÍ, V.T. & ANATTO. O.A. 1990. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G.P.R. & MILANI, E. J. (coord.). **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. p. 135-168.

Apêndices

INDICE DOS APÊNDICES

Apêndice A: Identificação detalhada da ocorrência de camadas de carvão nos furos estudados 113
Apêndice B: Tabela das fácies reconhecidas com sigla, litologia, estruturas e processo gerador 114
Apêndice C: Perfil Faciológico do Furo F-364-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um "X" dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado. 116
Apêndice D: Perfil Faciológico do Furo F-365-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. 117
Apêndice E: Perfil Faciológico do Furo F-366-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 10m o furo era composto por solo. 118
Apêndice F: Perfil Faciológico do Furo F-368-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. 119
Apêndice G: Perfil Faciológico do Furo F-369-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um "x" dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado. 120
Apêndice H: Perfil Faciológico do Furo F-370-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 4m o furo era composto por solo. 121
Apêndice I: Perfil Faciológico do Furo F-371-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 5m o furo era composto por solo. 122
Apêndice J: Perfil Faciológico do Furo F-372-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um "X" dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado. 123
Apêndice K: Seção de correlação estratigráfica *Dip* NW-SE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3. 124
Apêndice L: Seção de correlação estratigráfica *Strike* SSW-NNE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3. 125
Apêndice M: Seção de correlação estratigráfica *Strike* 2 SW-NE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3. 126
Apêndice N: Perfil dos litotipos das camadas S3, S4 e S5 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 127
Apêndice O: Perfil dos litotipos das camadas S6, S7, S8, S9 e BL do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 128
Apêndice P: Perfil dos litotipos das camadas I1, I2, I3 e I4 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 129

Apêndice Q: Perfil dos litotipos das camadas I5 e L2 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 130
Apêndice R: Perfil dos litotipos das camadas S3, S4, S5 e S6 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 131
Apêndice S: Perfil dos litotipos das camadas S7, S8, S9, BL e I1 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 132
Apêndice T: Perfil dos litotipos das camadas I2 e L2 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 133
Apêndice U: Perfil dos litotipos das camadas S4, S5, S6 e S7 do furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 134
Apêndice V: Perfil dos litotipos das camadas S8, S9, BL e I1 furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 135
Apêndice W: Perfil dos litotipos das camadas I2 e I3 do furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril. 136
Apêndice X: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-364 MVII, valores em percentagem (volume) 137
Apêndice Y: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-365 MVII, valores em percentagem (volume) 138
Apêndice Z: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-366 MVII, valores em percentagem (volume) 139
Apêndice AA: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-368 MVII, valores em percentagem (volume) 140
Apêndice BB: Resultados das análises imediata das amostras de carvão (valores em peso). D.a.f. = *Dry ash free* (seco e livre de cinzas) 141
Apêndice CC: Resultados da análise elementar das amostras de carvão. Resultados em percentagem em peso 142
Apêndice DD: Resultados do poder calorífico das amostras de carvão. D.a.f. = *Dry ash free* (seco e livre de cinzas) 143
Apêndice EE: Resultados da difração de raios X das amostras de carvão. A marcação "x" nos quadrados significa a presença do respectivo mineral na camada. 144

Apêndice A: Identificação detalhada da ocorrência de camadas de carvão nos furos estudados

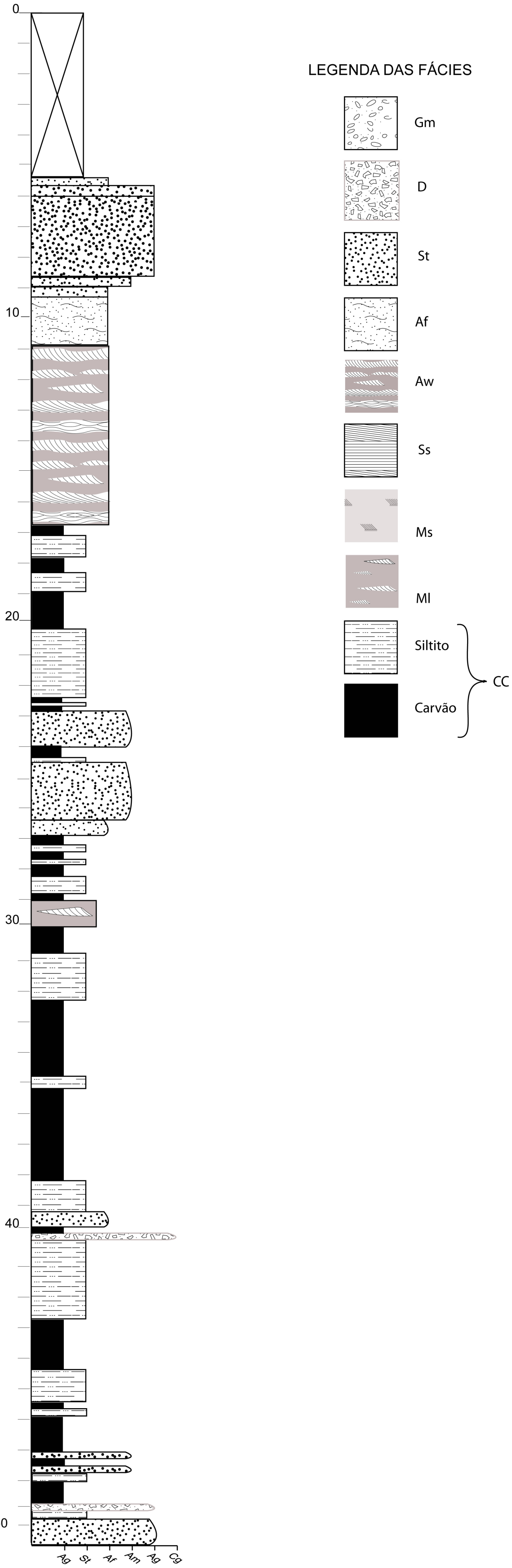
Furo	# Lab	Camada	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)
F-364 MVII	09-001	S3	16,91	17,27	0,36
	09-002	S4	18,05	18,47	0,42
	09-003	S5	18,99	20,28	1,29
	09-004	S6	22,50 23,07	22,70 23,18	0,20 0,11
	09-005	S7	24,35	24,67	0,32
	09-006	S8	27,25 27,60 27,90	27,36 27,76 28,37	0,11 0,16 0,47
	09-007	S9	28,97	29,06	0,09
	09-008	BL	29,91	30,69	0,78
	09-011	I1	40,25	40,4	0,15
	09-012	I2	43,14	44,67	1,53
	09-013	I3	45,78	46	0,22
	09-014	I4	46,36	47,53	1,17
	09-015	I5	48,7	49,16	0,43
	09-016	L1	47,73	47,82	0,09
F-365 MVII	09-022	S3	13,4	13,82	0,42
	09-023	S4	14,49	14,83	0,34
	09-024	S5	15,61	16,74	1,13
	09-025	S6	20	20,08	0,08
	09-026	S7	21	21,1	0,1
	09-027	S8	21,57	22,09	0,52
	09-028	S9	22,55	22,71	0,16
	09-029	BL	23,71	24,41	0,7
	09-032	I1	36,61	37,74	1,13
	09-033	I2	38,57	39,47	0,9
	09-045	L2	41,35	41,39	0,04
F-366 MVII	09-034	S4	26,09	26,39	0,3
	09-035	S5	27,21	27,56	0,35
	09-036	S6	28,15	29,6	1,45
	09-037	S7	30,89	30,97	0,08
	09-040	S8	33,9	33,98	0,08
	09-041	S9	34,25	34,81	0,56
	09-042	BL	36,59	37,19	0,6
F-368 MVII	09-065	S4	11,49	12,24	0,75
	09-066	S5	13,03	13,48	0,45
	09-067	S6	13,96	15,47	1,51
	09-068	S7	18,07 18,36	18,23 18,58	0,16 0,22
	09-069	S8	19,51 19,68	19,56 20,28	0,05 0,6
	09-070	S9	20,67	20,90	0,23
	09-071	BL	22,26	22,99	0,73
	09-072	I1	35,72	36,82	1,1
	09-073	I2	38,43	39,45	1,02
	09-074	I3	41,77	41,92	0,15

Apêndice B: Tabela das fácies reconhecidas com sigla, litologia, estruturas e processo gerador

Sigla	Litologia/textura	Estrutura	Processo Gerador
Gm	Conglomerado suportado pela matriz	nenhuma	*Debris-flow*
D	diamictito	maciço	Depósitos de transbordamento de canal fluvial, depositando na planície fluvial sedimento grosso
St	Arenito fino a grosso	Estratificação cruzada acanalada ou planar	Migração de formas de leito subaquosas, em um fluxo de baixa para alta energia.
Sf	Arenito com acamadamento *flaser*	Acamadamento *flaser, drapes* de lama duplos, *drapes* simples, bioturbação e *ripples* assimétricas	Migração trativa bidirecional subaquosa de *ripples* em regime de fluxo inferior, intercalada com assentamentos gravitacional de partículas finas em suspensão
Sw	Arenito com acamadamento *wavy*	*Acamadamento wavy, drapes* de lama duplos, *drapes* simples, bioturbação. *ripples* assimétricas, laminações	O processo gerador responsável está relacionado à alternância de fluxo de energia (baixa e alta)

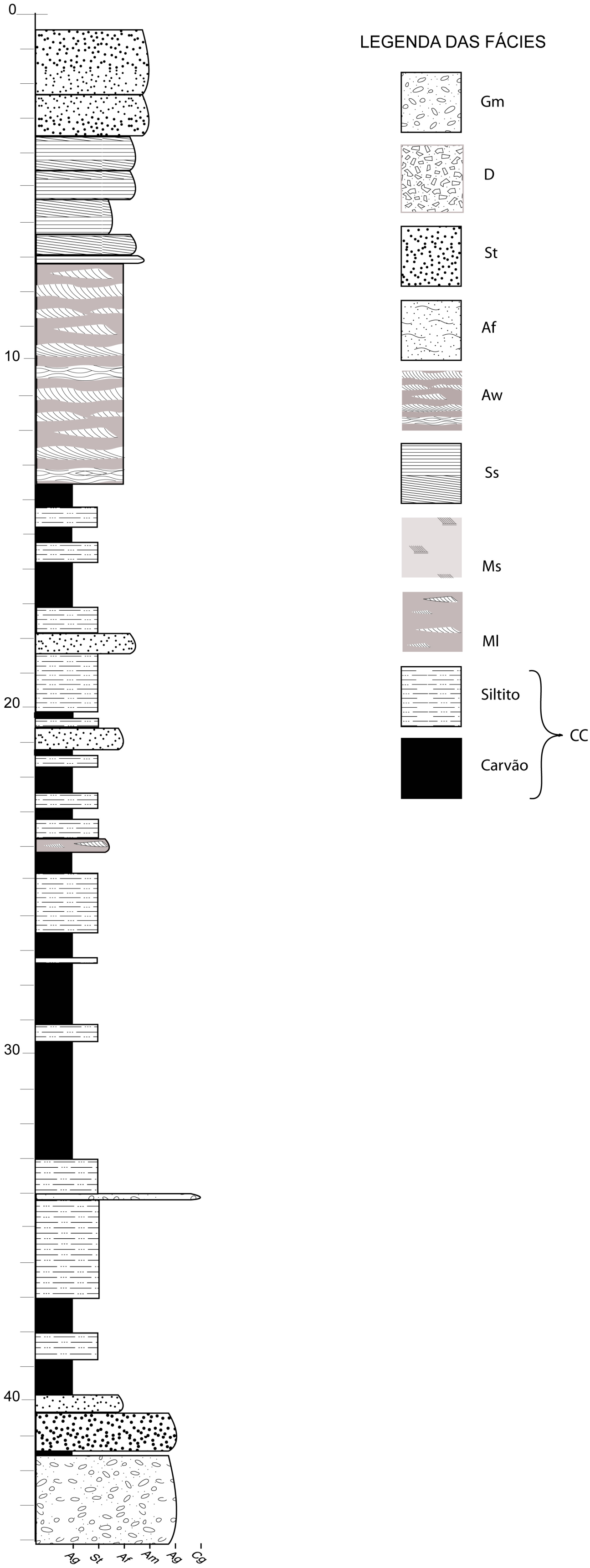
		paralelas, e pequenos truncamentos.	
Ss	Arenito swash	Estratificação cruzada de baixo ângulo (*swash cross stratification*)	O processo gerador é o fluxo trativo subaquoso em regimes de fluxo superior
Ms	Siltito *linsen* com *climbing ripples*	Acamadamento lenticular e *climbing ripples*	Migração de ripples em condições de baixa energia combinado com deposição de sedimentos em suspensão
Ml	Siltito *Linsen*	Acamadamento lenticular	Deposição de sedimentos em suspensão alternada com a migração de poucas *ripples* em regime de fluxo de baixa energia
CC	Siltitos, siltitos carbonosos e carvões	Maciços, restos vegetais	Assentamento gravitacional de sedimentos em suspensão em ambiente subaquoso tranqüilo em regime de fluxo inferior, com disponibilidade de matéria orgânica variável

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-364-MVII



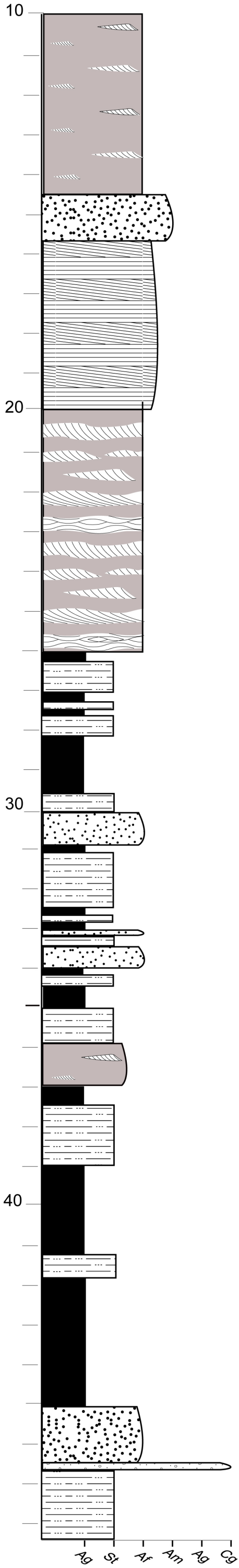
Apêndice C: Perfil Faciológico do Furo F-364-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies.Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um “X” dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado.

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-365-MVII

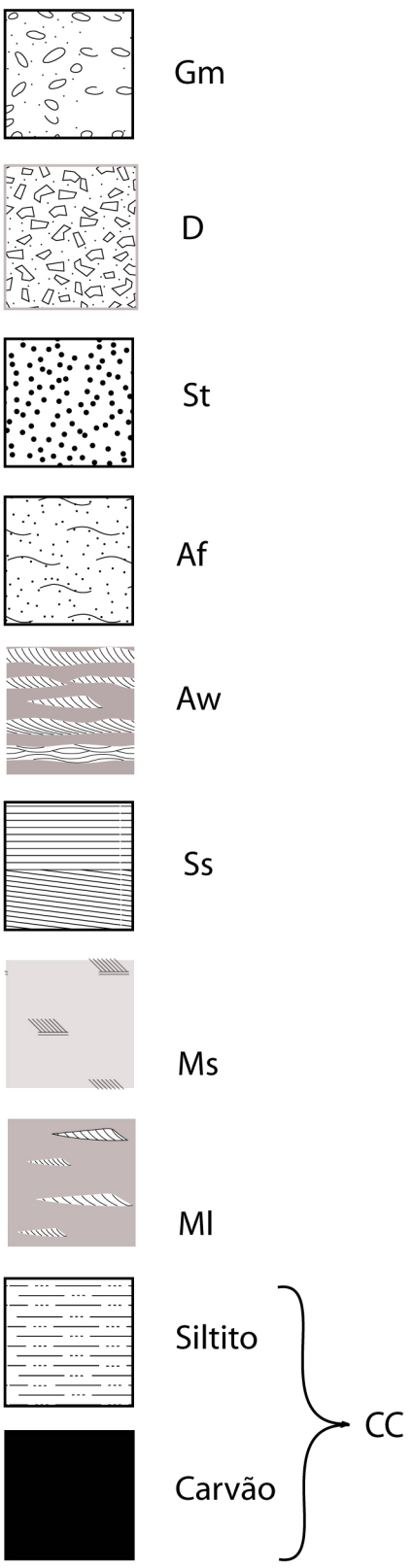


Apêndice D: Perfil Faciológico do Furo F-365-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-366-MVII

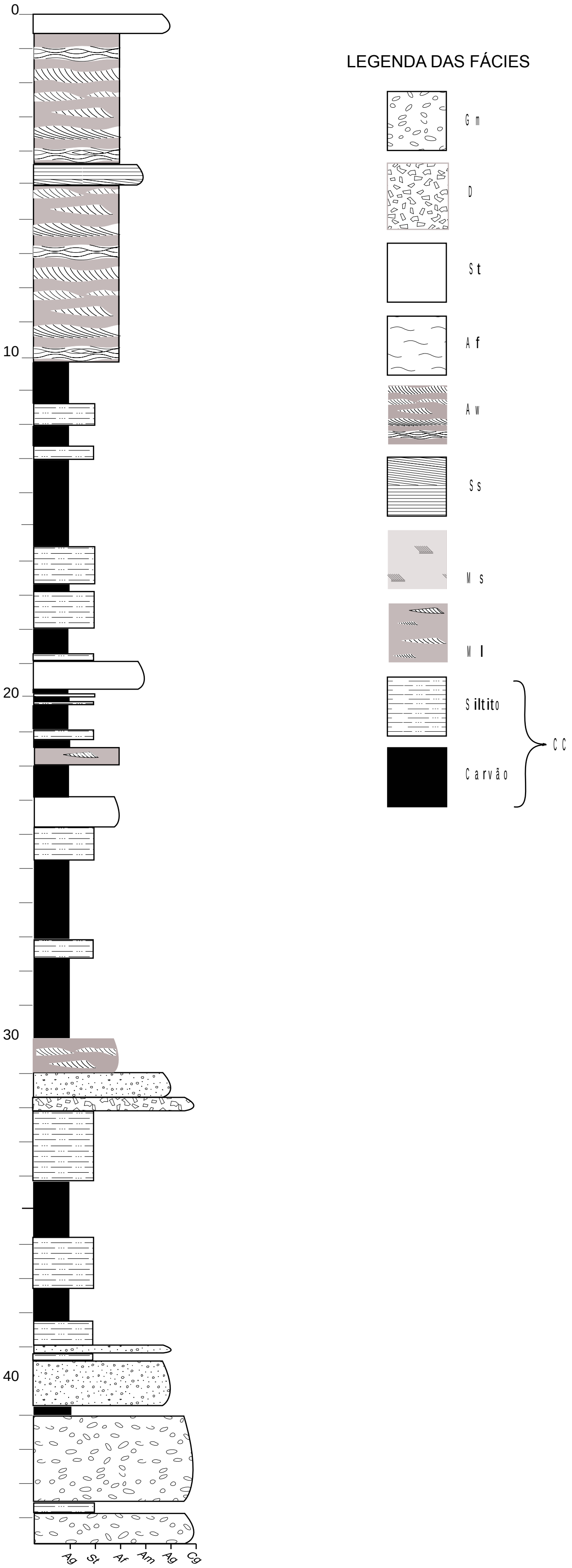


LEGENDA DAS FÁCIES



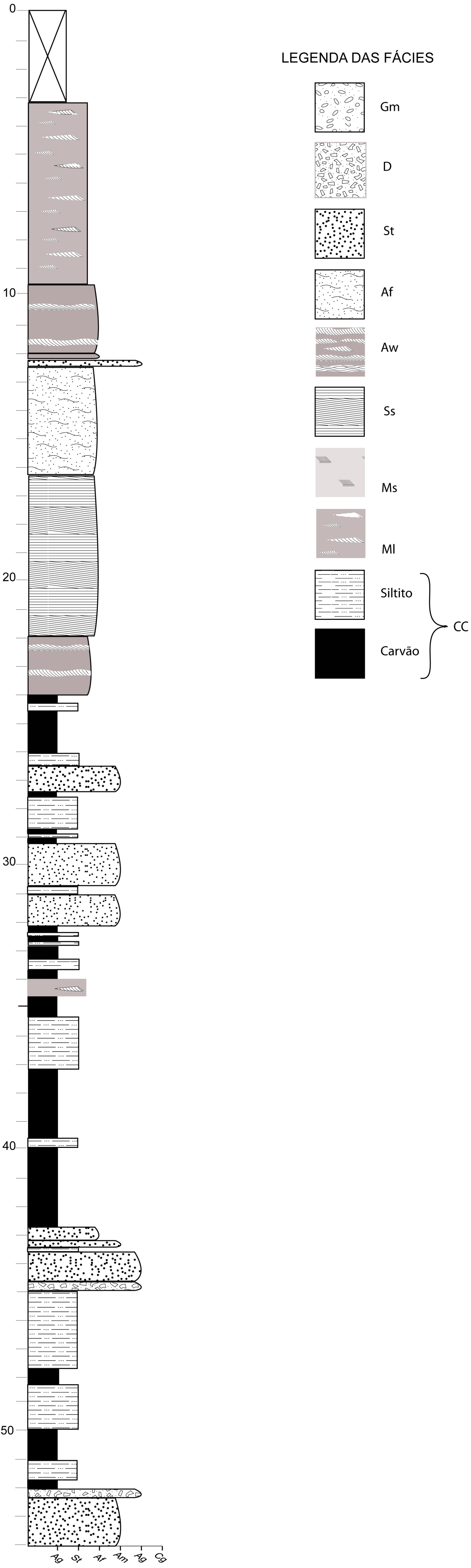
Apêndice E: Perfil Faciológico do Furo F-366-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies.Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 10m o furo era composto por solo.

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-368-MVII



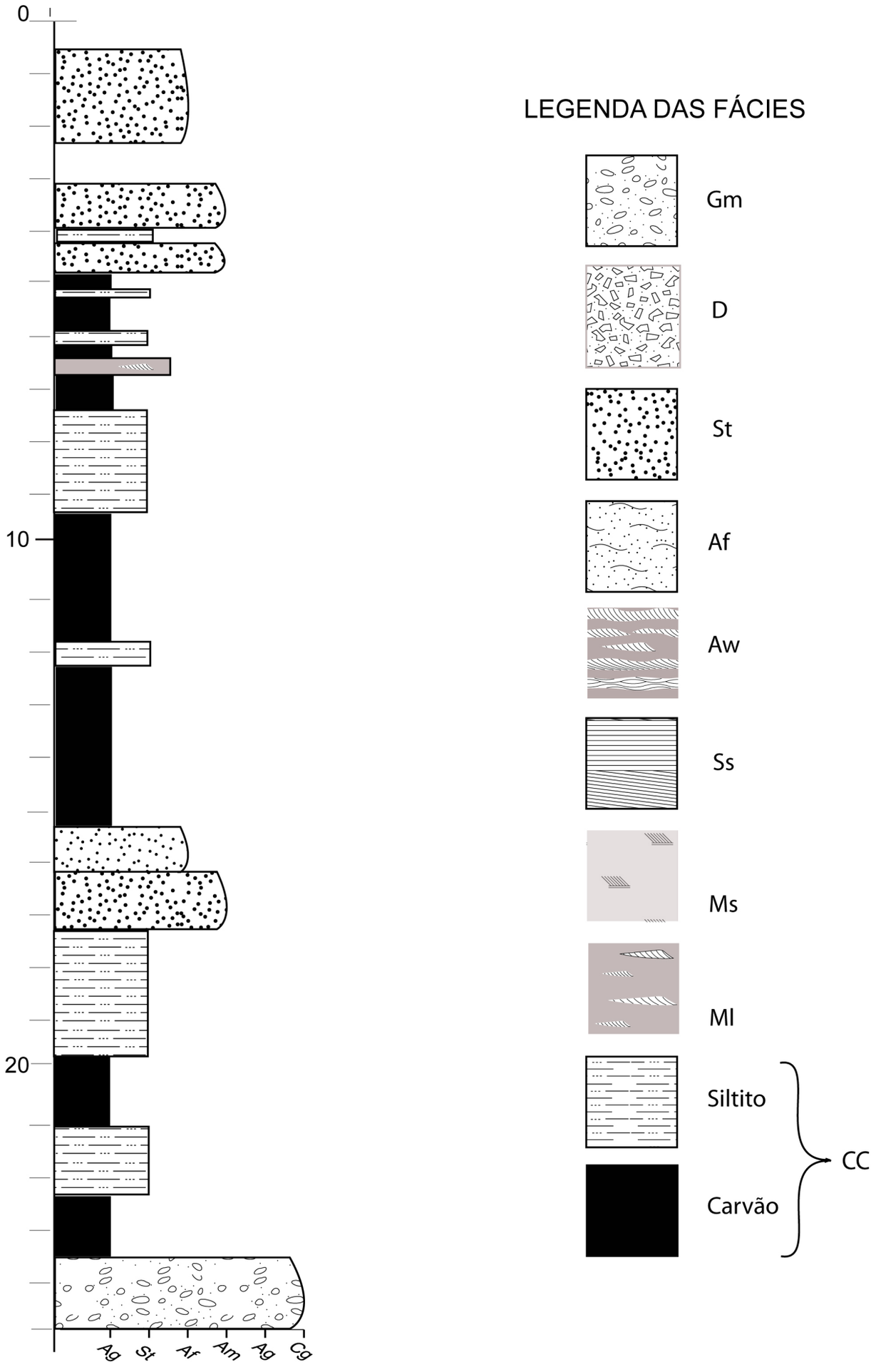
Apêndice F: Perfil Faciológico do Furo F-368-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies.

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-369-MVII



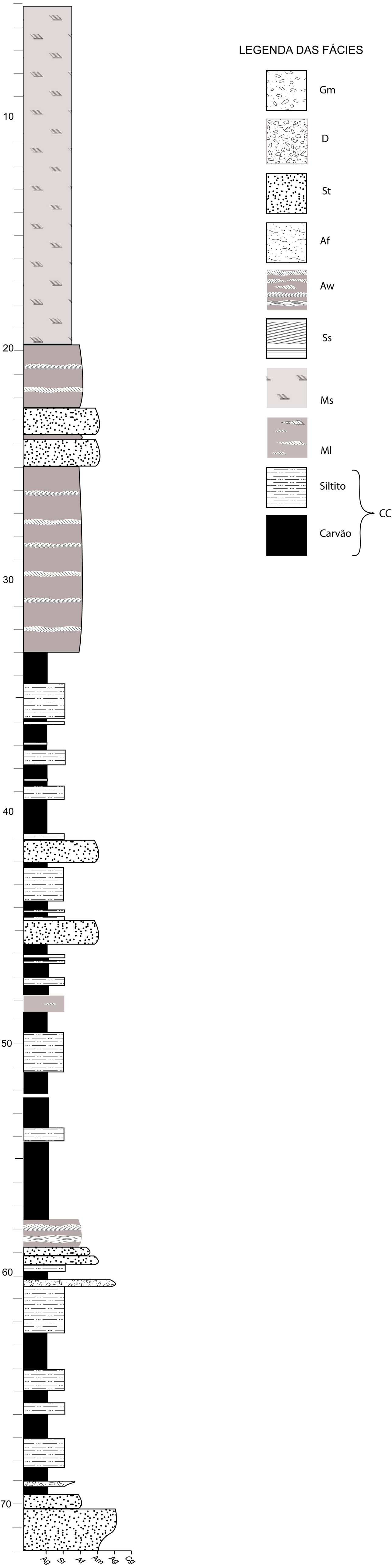
Apêndice G: Perfil Faciológico do Furo F-369-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies.Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um “X” dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado.

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-370-MVII



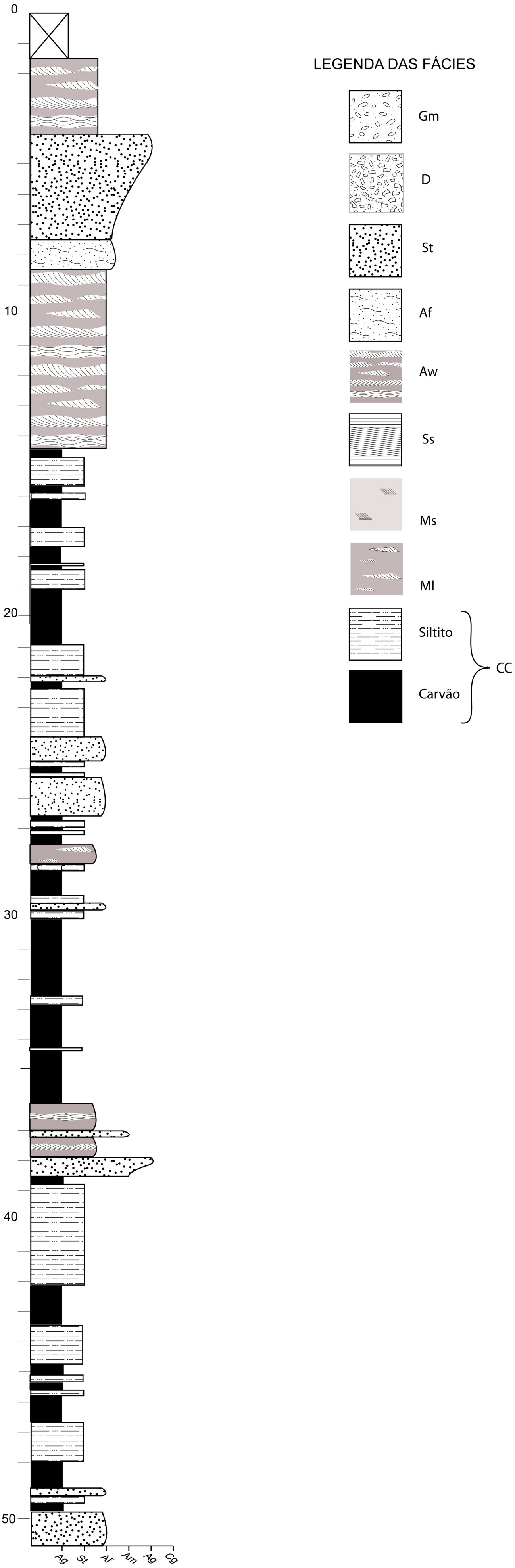
Apêndice H: Perfil Faciológico do Furo F-370-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 4m o furo era composto por solo

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-371-MVII



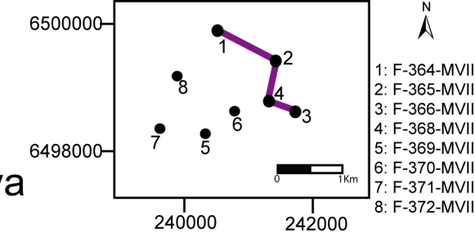
Apêndice I: Perfil Faciológico do Furo F-371-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies. Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. Na profundidade de 0 a 5m o furo era composto por solo

PERFIL FACIOLÓGICO DO FURO F-372-MVII



Apêndice J: Perfil Faciológico do Furo F-372-MVII, em escala 1:100. A legenda apresenta a sigla das fácies.Para um melhor entendimento consultar o apêndice B, que possui sigla, litologia e estrutura da fácies. A caixa com um “X” dentro indica que não houve recuperação ou o testemunho encontrava-se intemperizado

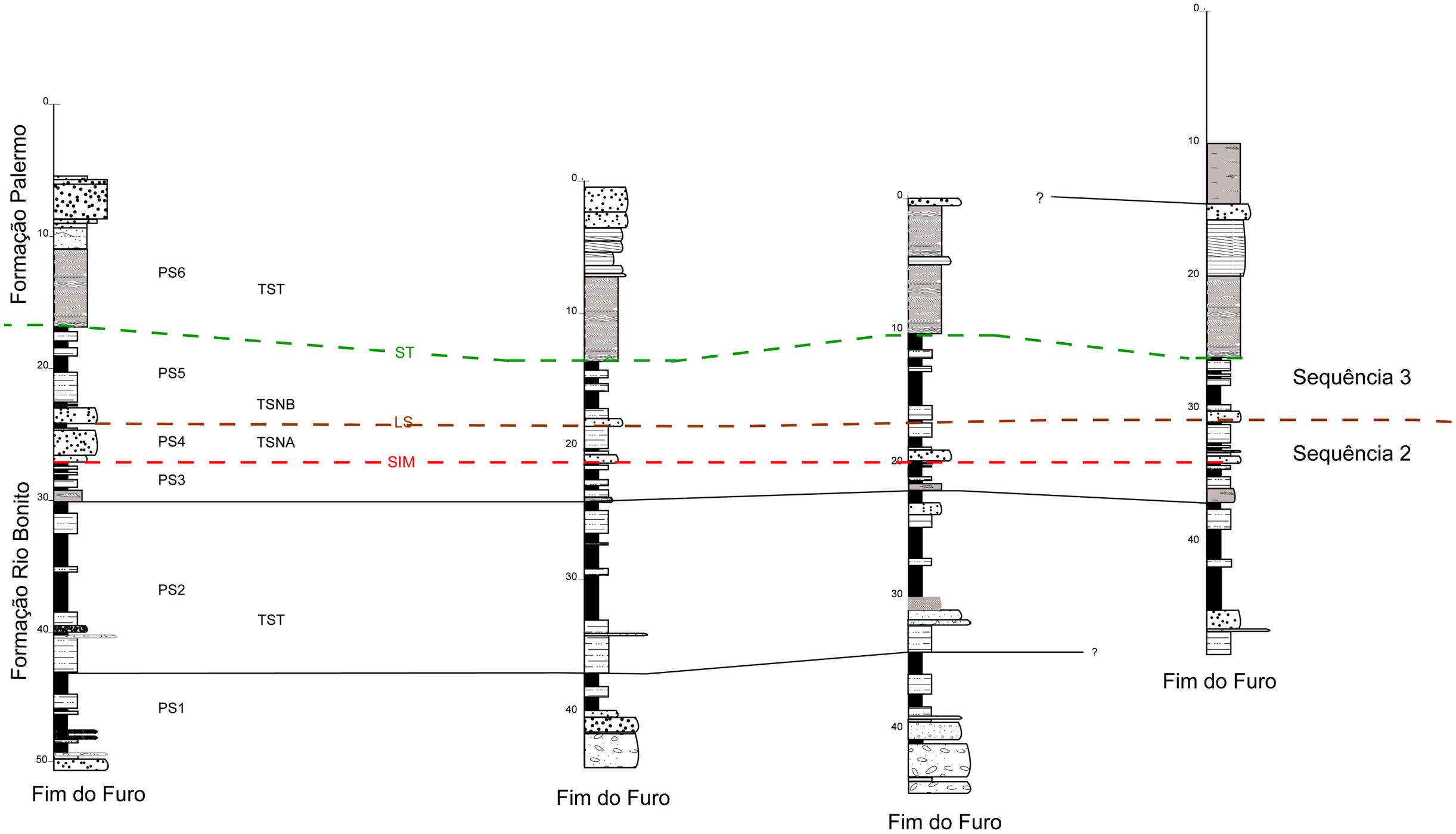
SEÇÃO DE CORRELAÇÃO *DIP* NW-SE



LEGENDA

PS1 Parassequência 1
PS2 Parassequência 2
PS3 Parassequência 3
PS4 Parassequência 4
PS5 Parassequência 5
PS6 Parassequência 6
TST Trato de Sistemas Transgressivo
TSNB Trato de Sistemas de Nível Baixo
TSNA Trato de Sistemas de Nível Alto
ST Superfície Transgressiva
LS Limite de Sequência
SIM Superfície de Inundação Máxima

NW F-364-MVII ← 1001,2 m → F-365-MVII ← 518m → F-368-MVII ← 492,8m → F-366-MVII SE

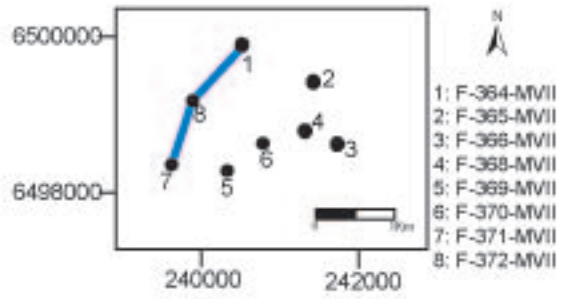


Apêndice K: Seção de correlação estratigráfica *Dip* NW-SE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3.

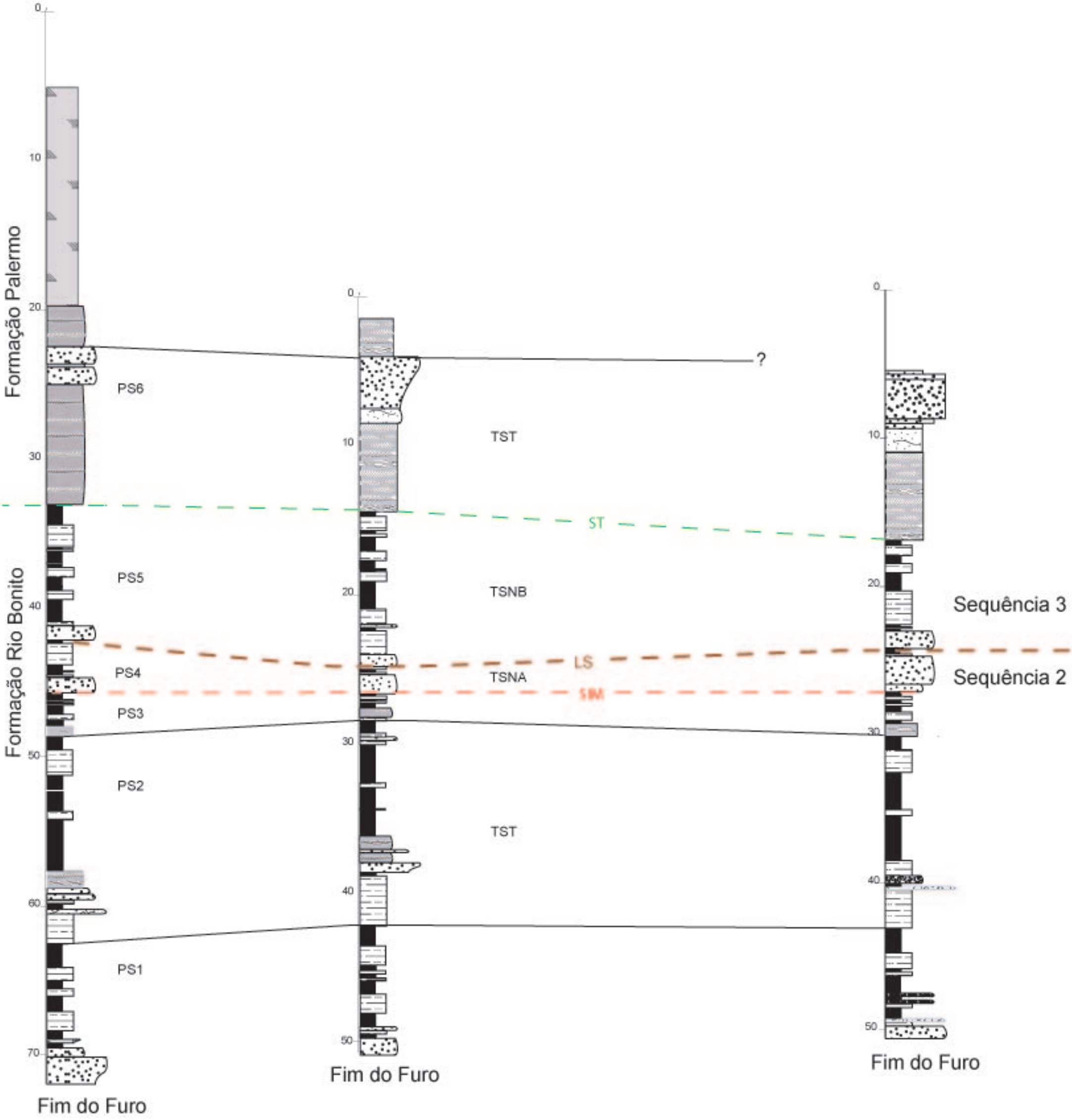
SEÇÃO DE CORRELAÇÃO *STRIKE 1* SSW-NNE

LEGENDA

PS1 Parassequência 1 TST Trato de Sistemas Trangressivo
PS2 Parassequência 2 TSNB Trato de Sistemas de Nível Baixo
PS3 Parassequência 3 TSNA Trato de Sistemas de Nível Alto
PS4 Parassequência 4 ST Superfície Transgressiva
PS5 Parassequência 5 LS Limite de Sequência
PS6 Parassequência 6 SIM Superfície de Inundação Máxima



SSW F-371-MVII ← 390,4 m → F-372-MVII ← 644m → F-364-MVII NNE

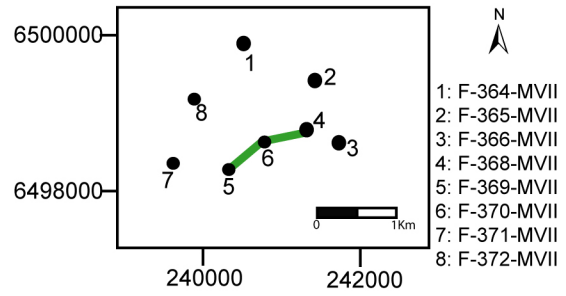


Apêndice L: Seção de correlação estratigráfica *Strike* SSW-NNE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3.

SEÇÃO DE CORRELAÇÃO *STRIKE 2* SW-NE

LEGENDA

PS1 Parassequência 1 PS5 Parassequência 5 ST Superfície Transgressiva
PS2 Parassequência 2 PS6 Parassequência 6 TSNB Trato de Sistemas de Nível Baixo
PS3 Parassequência 3 LS Limite de Sequência TSNA Trato de Sistemas de Nível Alto
PS4 Parassequência 4 SIM Superfície de Inundação Máxima
TST Trato de Sistemas Trangressivo



SW F-369-MVII ← 349,6 m → F-370-MVII ← 432,4 m → F-368-MVII NE

Formação Palermo

Formação Rio Bonito

PS6 PS5 PS4 PS3 PS2 PS1

TST TSNB TSNA TST

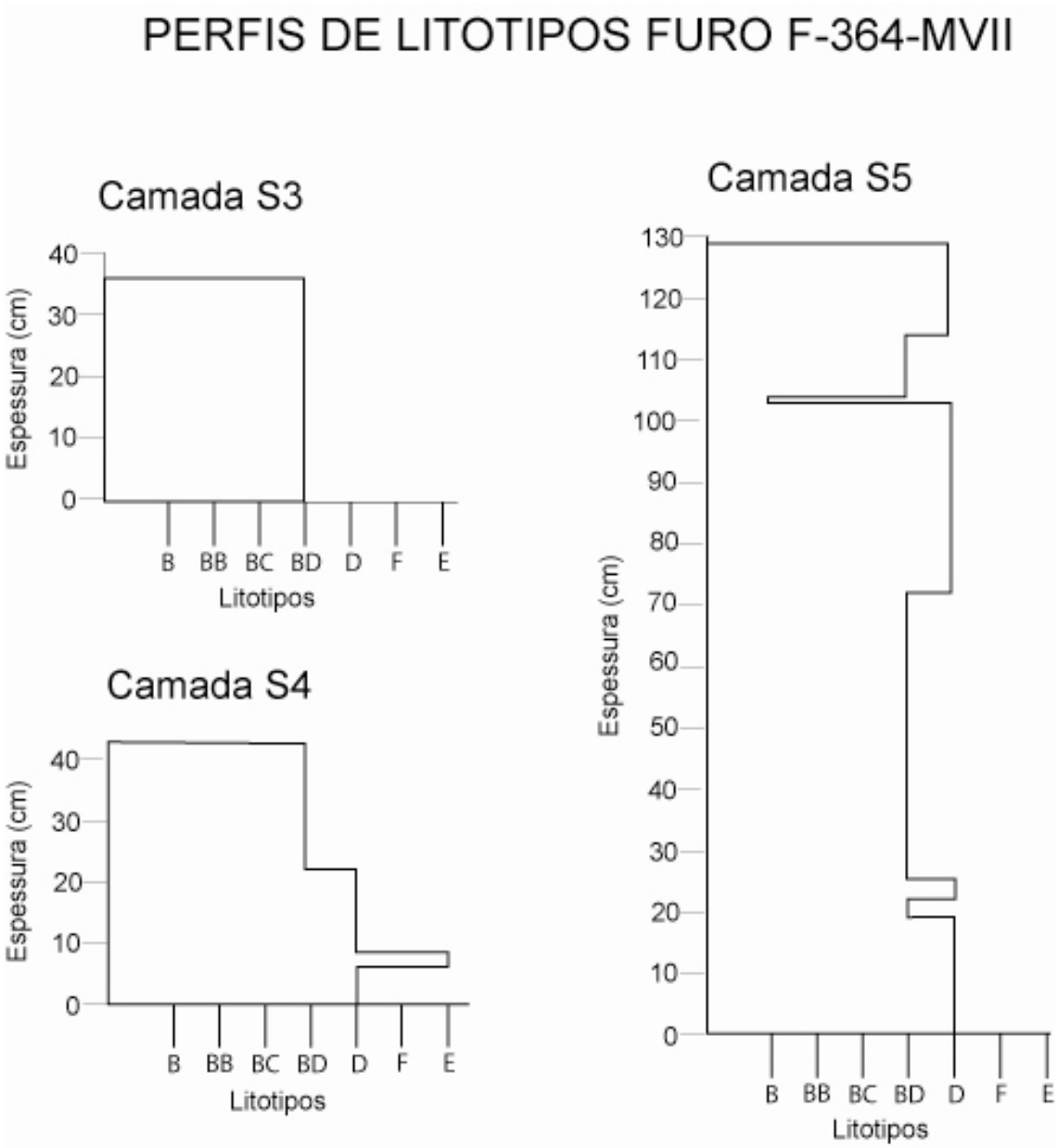
ST LS SIM

Sequência 3

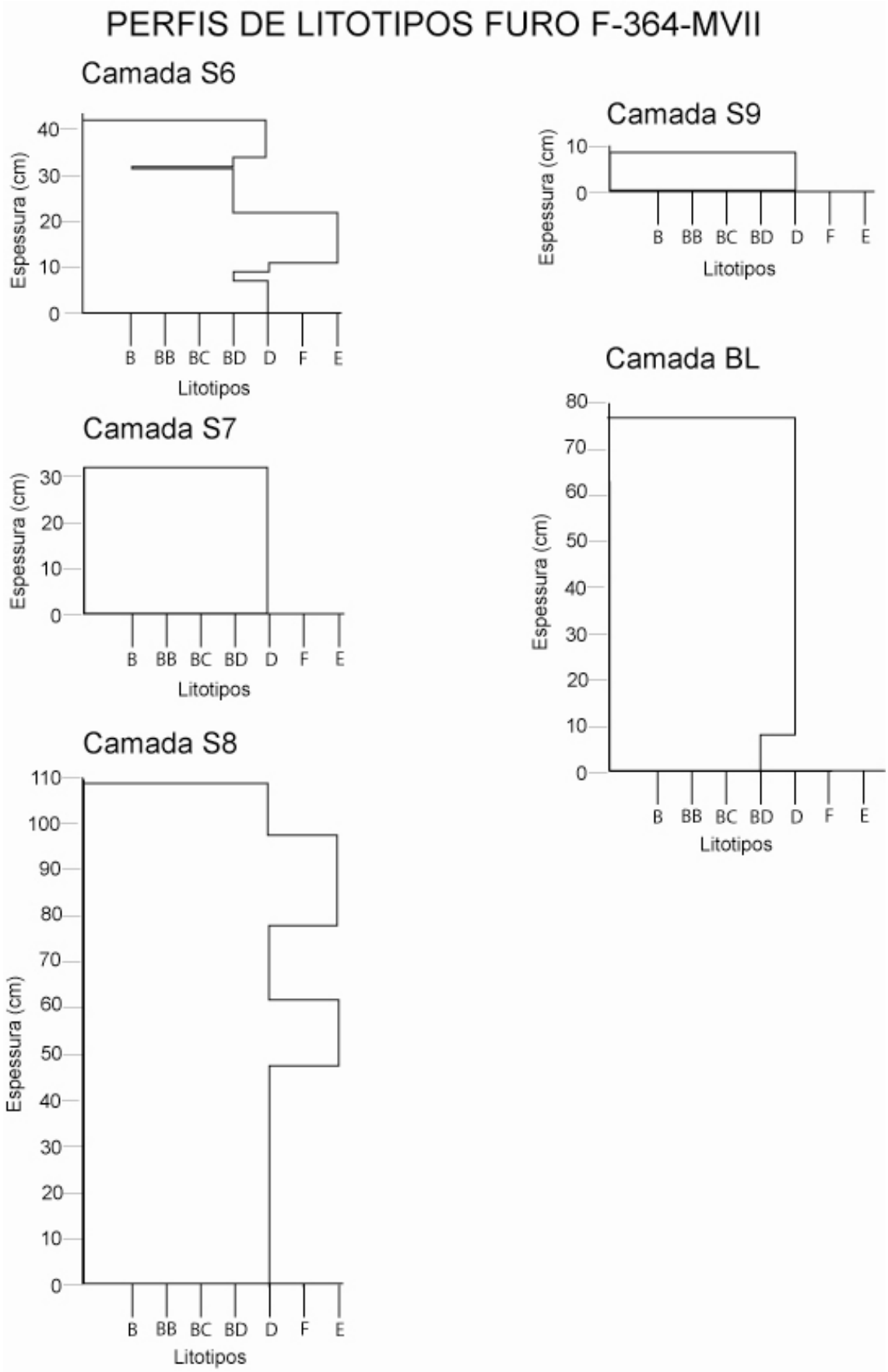
Sequência 2

Fim do Furo Fim do Furo Fim do Furo

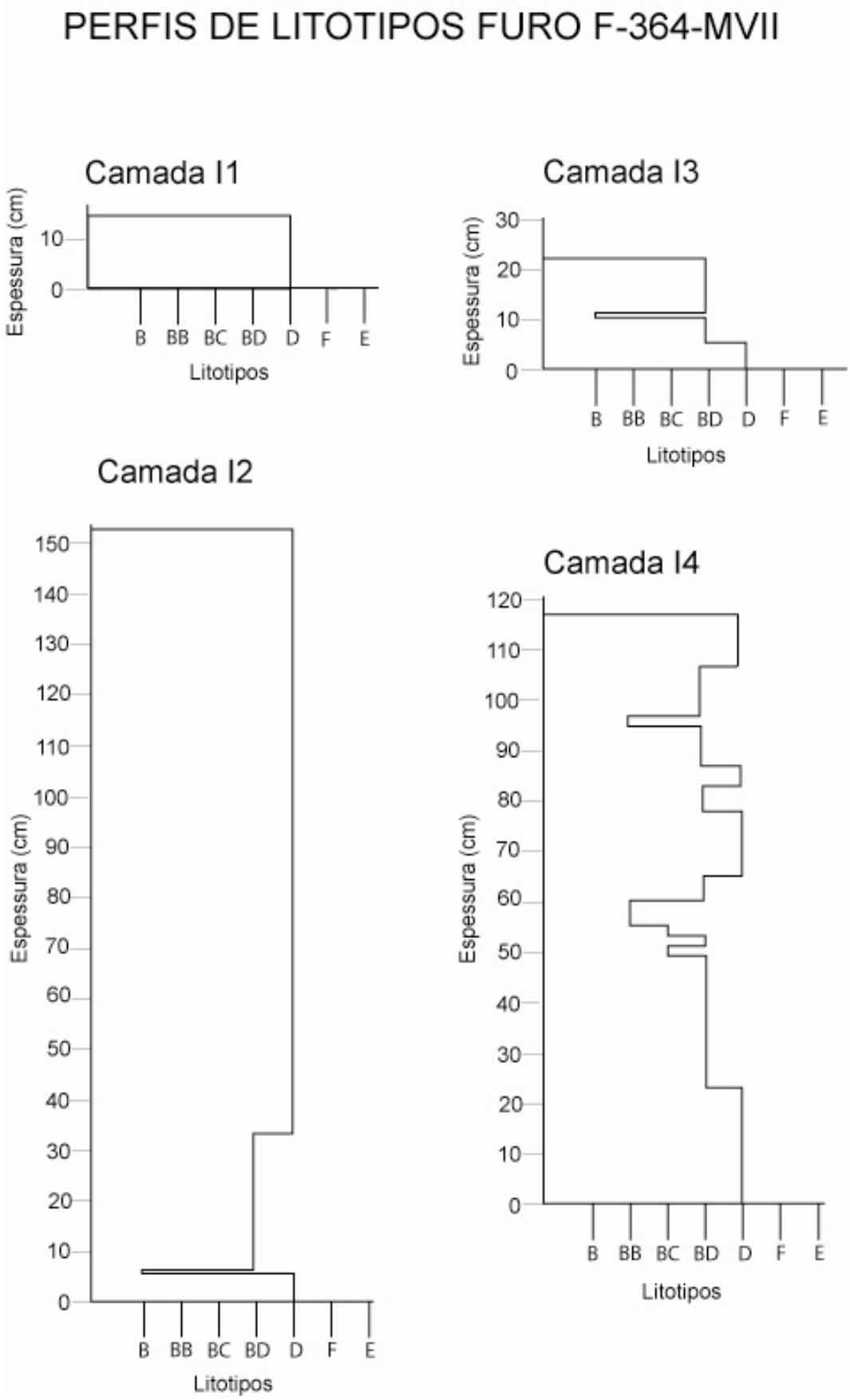
Apêndice M: Seção de correlação estratigráfica *Strike* 2 SW-NE. Arcabouço estratigráfico das Sequências deposicionais 2 e 3.



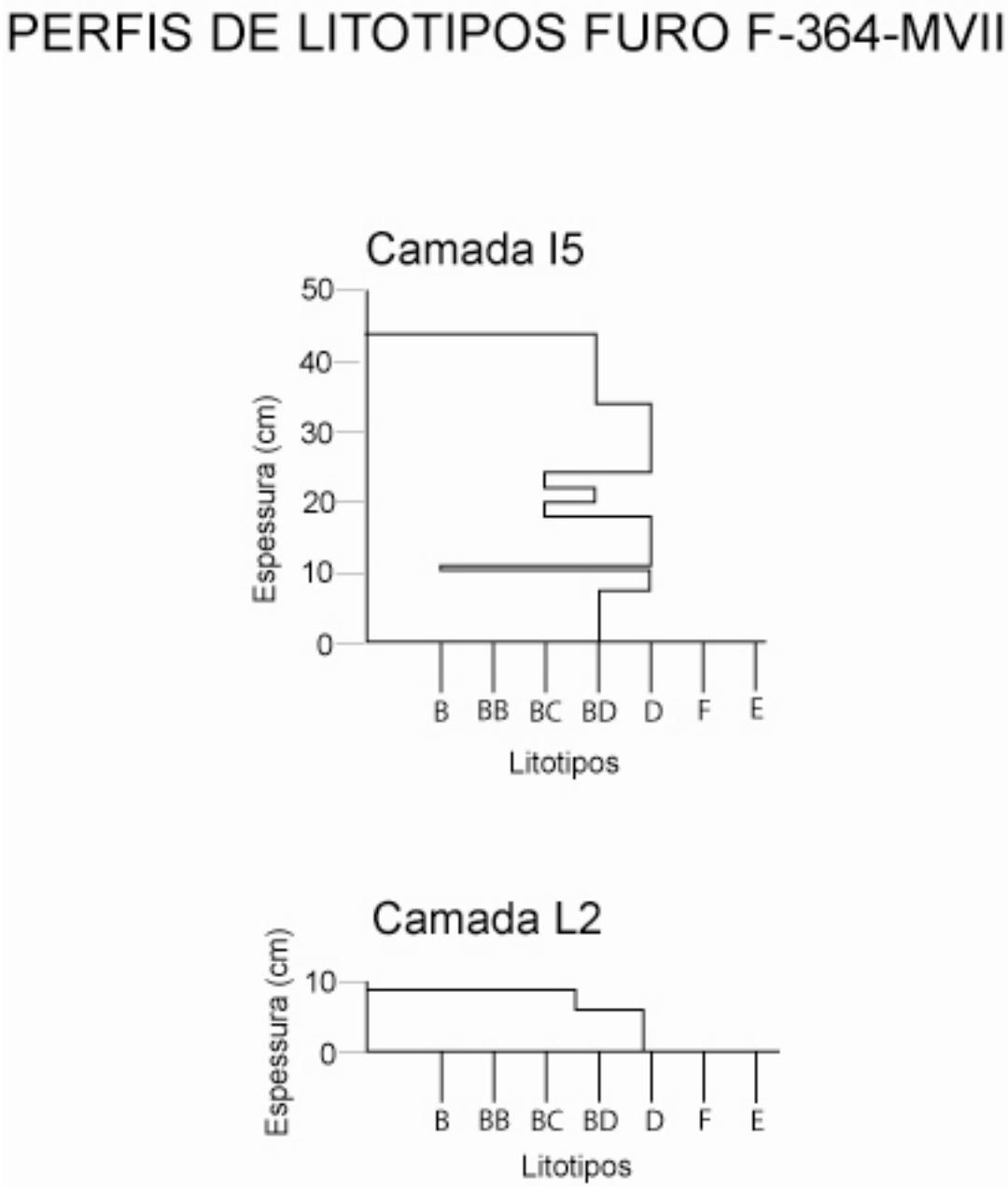
Apêndice N: Perfil dos litotipos das camadas S3, S4 e S5 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



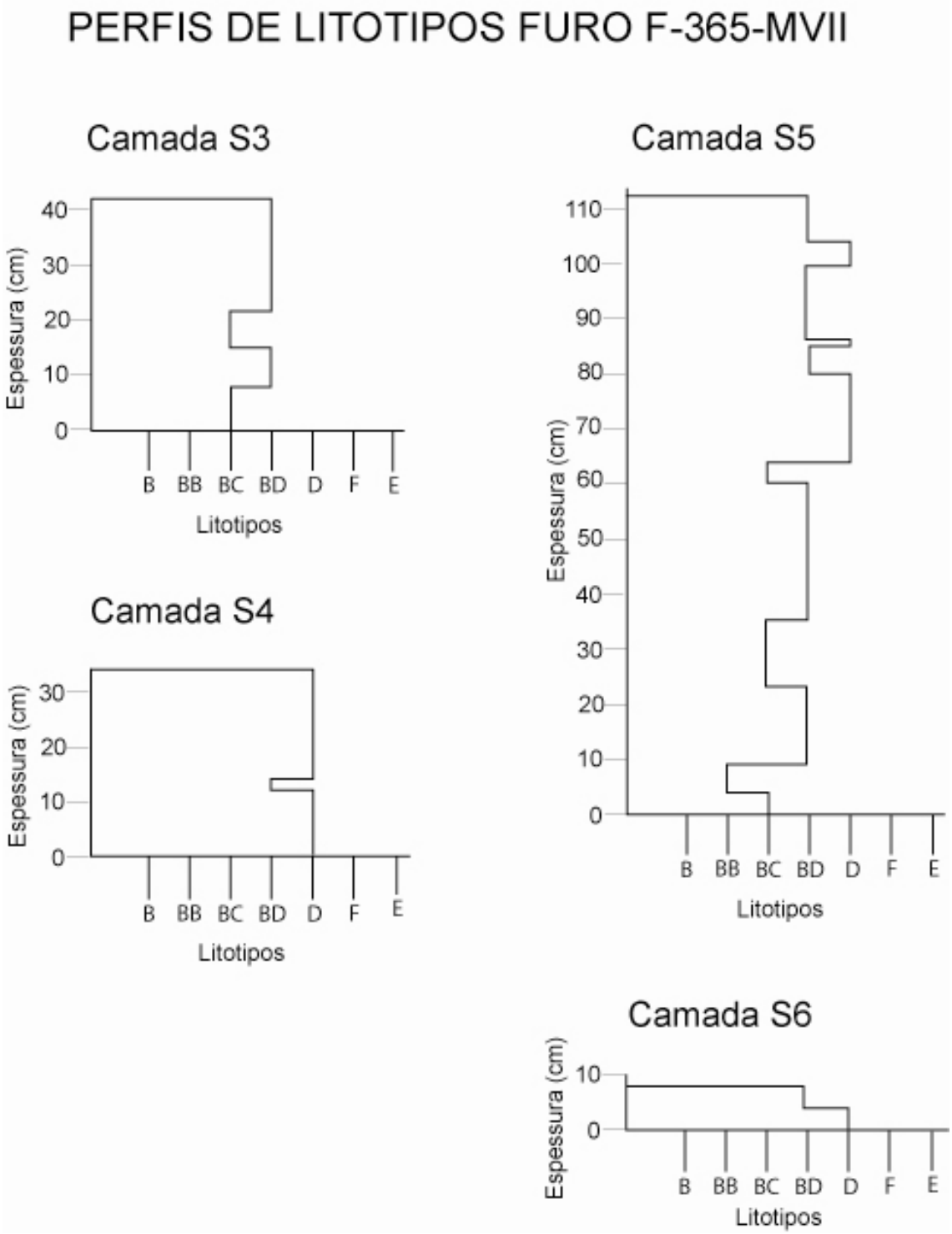
Apêndice O: Perfil dos litotipos das camadas S6, S7, S8, S9 e BL do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



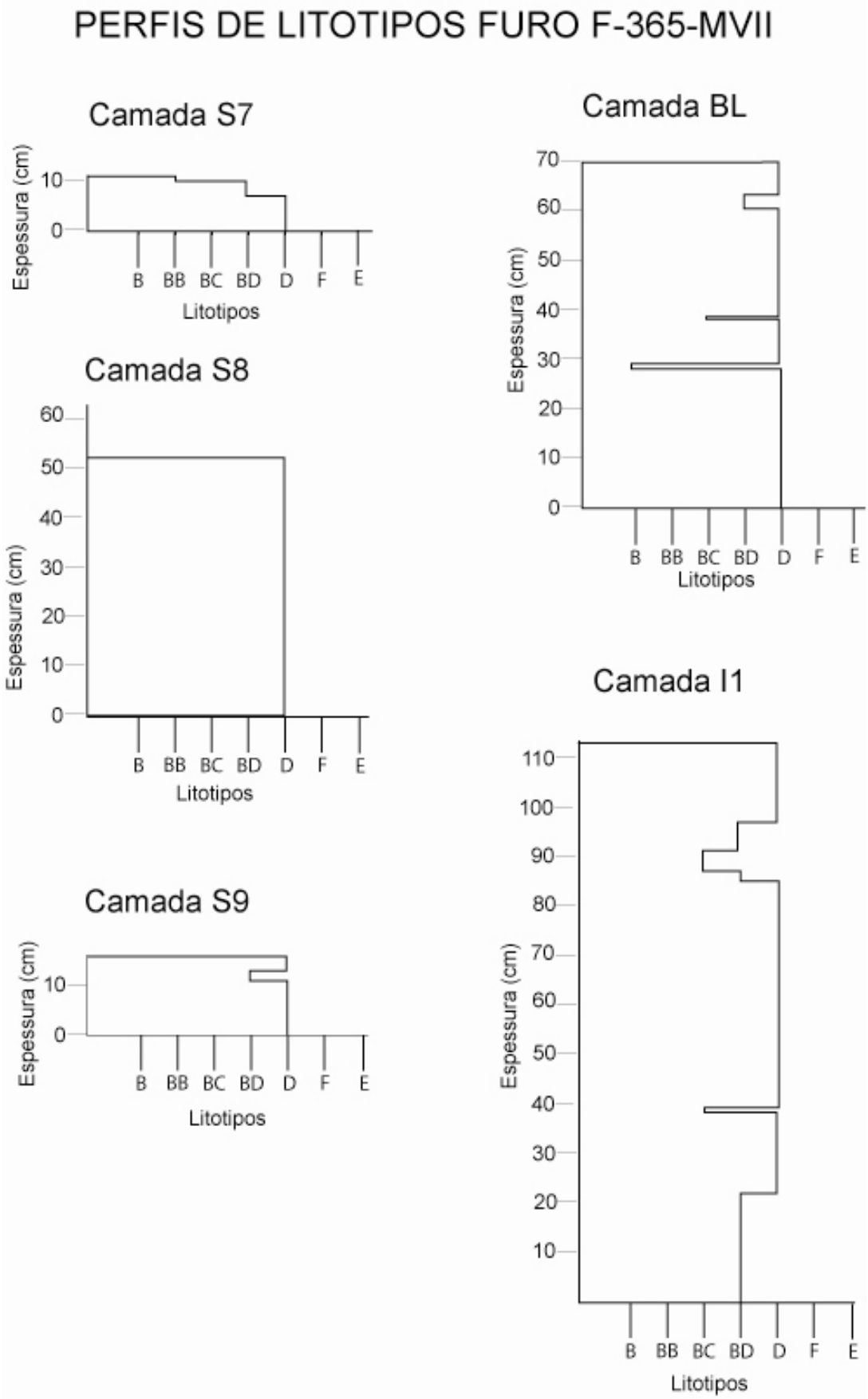
Apêndice P: Perfil dos litotipos das camadas I1, I2, I3 e I4 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



Apêndice Q: Perfil dos litotipos das camadas I5 e L2 do furo F-364-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.

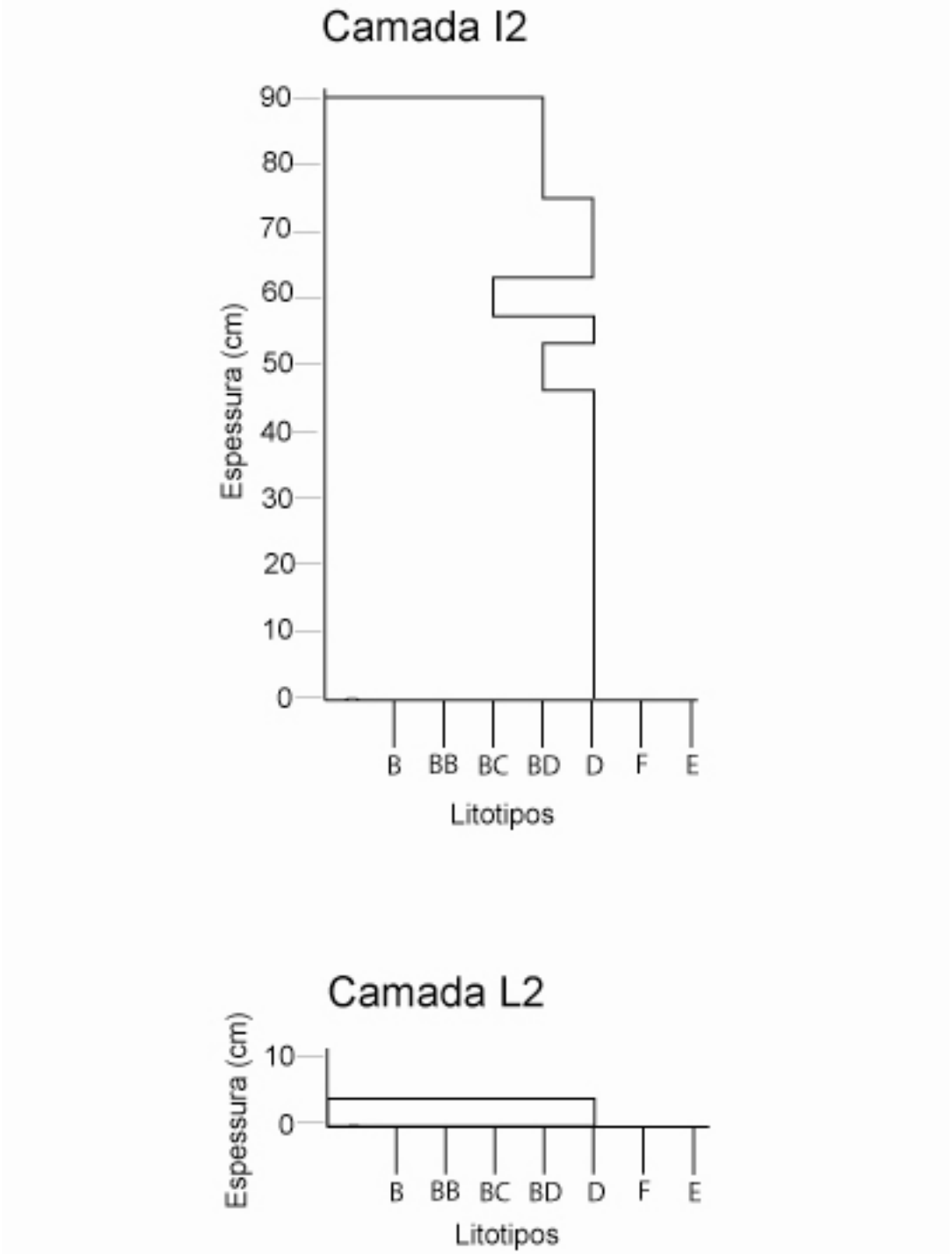


Apêndice R: Perfil dos litotipos das camadas S3, S4, S5 e S6 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.

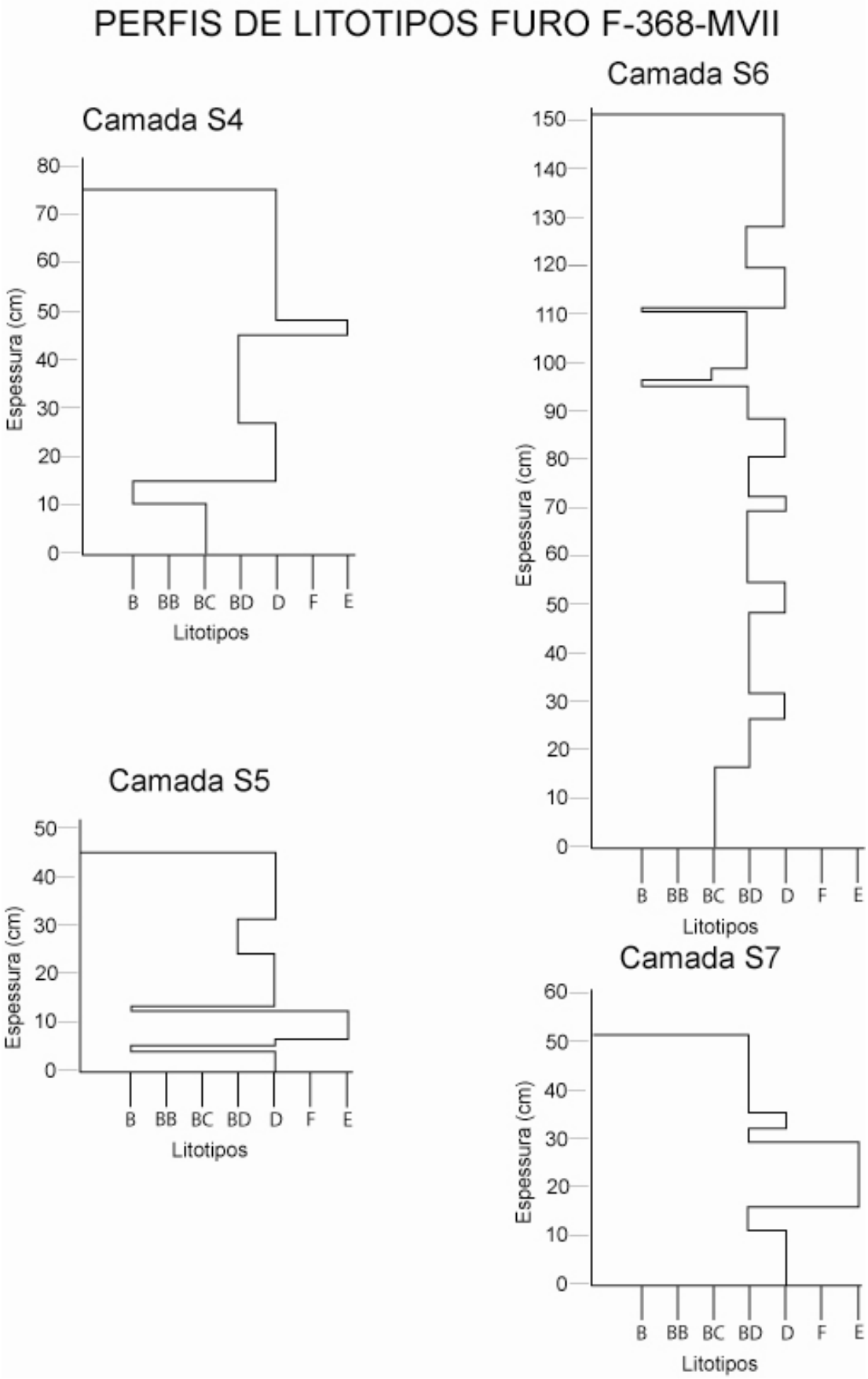


Apêndice S: Perfil dos litotipos das camadas S7, S8, S9, BL e I1 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.

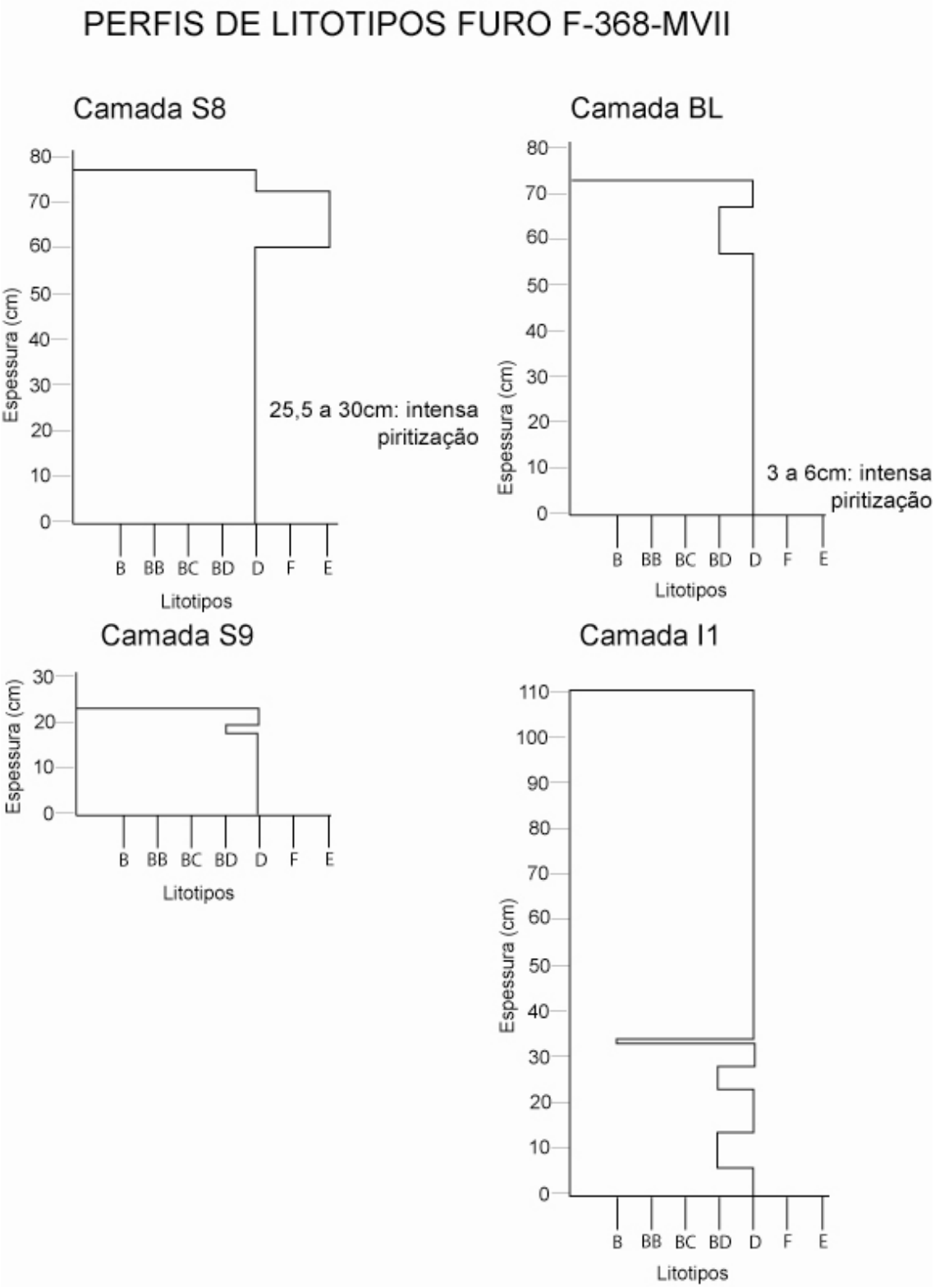
PERFIS DE LITOTIPOS FURO F-365-MVII



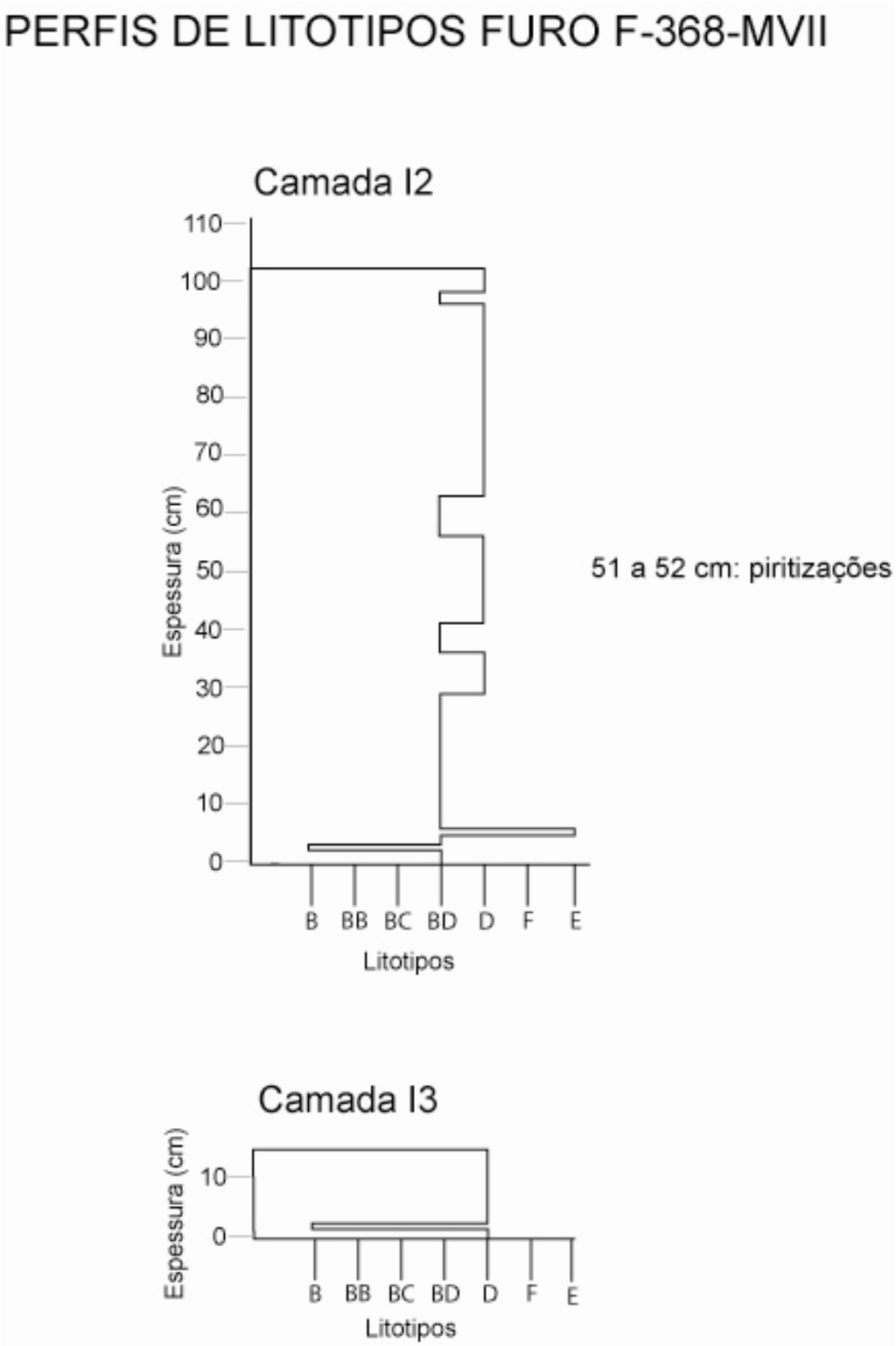
Apêndice T: Perfil dos litotipos das camadas I2 e L2 do furo F-365-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



Apêndice U: Perfil dos litotipos das camadas S4, S5, S6 e S7 do furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



Apêndice V: Perfil dos litotipos das camadas S8, S9, BL e I1 furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.



Apêndice W: Perfil dos litotipos das camadas I2 e I3 do furo F-368-MVII da jazida de Candiota. B= brilhante; BB= bandado brilhante; BC= carvão bandado; BD= carvão fosco bandado; D= carvão fosco; F= carvão fibroso; E= estéril.

Apêndice X: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-364 MVII, valores em percentagem (volume)

Furo F-364-MVII															
	Nº da amostra	09-001	09-002	09-003	09-004	09-005	09-006	09-007	09-008	09-011	09-012	09-013	09-014	09-015	09-016
	Camada	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	BL	I1	I2	I3	I4	I5	L1
Vitrinita	Colotelinita	60,5	38,6	50,4	52,8	28,2	21,2	14	11,2	37,9	37,7	49,9	44,1	45,8	49,4
	Colodetrinita	-	-	-	-	-	-	-	2,4	-		-	-	0,2	-
	Vitrinita Total	60,5	38,6	50,4	52,8	28,2	21,2	14	13,6	37,9	37,7	49,9	44,1	46,0	49,4
Liptinita	Esporinita	5,0	2,4	6,0	4,6	3,6	6,6	12,0	9,8	10,2	7,8	10,2	8,0	9,0	0,8
	Cutinita	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	0,2	-
	Resinita	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,4	-	0,2	-	0,2	-	-
	Alginita	-	-	-		-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-
	Liptodetrinita	-	-	0,2	0,2	0,2	2,2	4,8	4,2	1,4	1,8	0,4	-	0,8	-
	Liptinita Total	5,4	2,4	6,2	4,8	3,8	7,2	17,4	14,4	12,4	10	10,6	8,2	10,0	0,8
Inertinita	Fusinita	2,0	6,0	3,6	6,2	7,0	19,5	29,4	24,8	11,0	6,8	7,2	5,2	4,8	5,8
	Semifusinita	2,4	3,6	-	4,2	2,8	1,0	6,8	19,8	2,2	5,2	2,6	3,8	4,2	4,2
	Micrinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Macrinita	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	0,4
	Secretinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
	Funginita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inertodetrinita	11,0	14,4	12,8	6,6	6,4	11,2	7,2	6,8	4,6	7,0	3,4	9,0	4,8	4,2
	Inertinita Total	15,4	24	16,4	17,0	16,2	31,7	43,4	51,8	17,8	19,0	13,2	18,0	13,8	14,8
Matéria Mineral	Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Carbonato	0,4	-	-	0,2	-	-	-	-	3,2	2,6	0,8	0,2	-	0,2
	Pirita	0,2	0,8	2,4	2,2	1,8	0,8	-	0,4	11,6	-	-	0,2	1,2	1,4
	Argilas	18,1	34,2	24,6	23,0	50,0	36,9	25,2	19,8	17,9	30,7	25,5	29,3	29,0	33,4
	Total de Matéria Mineral	18,7	35,0	27,0	25,4	51,8	37,7	25,2	20,2	32,7	33,3	26,3	29,7	30,2	35,0
Reflectância da vitrinita	Rrandom(%)	0,41	0,42	0,42	0,42	0,36	0,42	0,43	0,45	0,39	0,40	0,47	0,44	0,47	0,42
	Desvio Padrão	0,044	0,047	0,045	0,047	0,046	0,042	0,084	0,068	0,039	0,045	0,033	0,053	0,033	0,034
	Pontos	100	99	100	98	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
	Rank	SBC	SBC	SBC	SBC	LIN	SBC	SBB	SBB	SBC	SBC	SBB	SBB	SBB	SBC

Legenda: LIN = Linhito*; SBC = Sub-bituminoso Tipo C; SBB = Sub-bituminoso Tipo B.

* reflectância não representativa, influenciada pelo alto teor de matéria mineral.

Apêndice Y: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-365 MVII, valores em percentagem (volume)

Furo F-365-MVII												
	Nº da amostra	09-022	09-023	09-024	09-025	09-026	09-027	09-028	09-029	09-032	09-033	09-045
	Camada	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	BL	I1	I2	L2
Vitrinita	Colotelinita	46,9	36,0	45,8	48,3	4,8	13,0	4,2	13,2	46,7	50,4	56,6
	Colodetrinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vitrinita Total	46,9	36,0	45,8	48,3	4,8	13,0	4,2	13,2	46,7	50,4	56,6
Liptinita	Esporinita	8,4	3,0	4,8	2,8	19,6	10,4	10,4	14,8	7,8	3,6	7,2
	Cutinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Resinita	-	-	-	-	0,2	0,8	0,6	0,4	0,4	-	-
	Alginita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Liptodetrinita	0,4	1,2	1,6	2,6	1,0	0,6	3,8	2,2	0,4	0,8	1,2
	Liptinita Total	8,8	4,2	6,4	5,4	20,8	11,8	14,8	17,4	8,6	4,4	8,4
Inertinita	Fusinita	10,6	7,0	6,4	6,0	20,0	21,4	21,4	27,4	11,2	8,0	4,6
	Semifusinita	4,4	1,8	0,6	1,6	7,0	6,6	7,4	6,4	6,4	4,8	4,6
	Micrinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Macrinita	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-	0,4	0,6	-
	Secretinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Funginita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inertodetrinita	9,2	17,2	11,6	6,4	10,0	9,8	6,4	10,2	5,6	6,0	1,2
	Inertinita Total	24,2	26,2	18,8	14,0	37,0	37,8	35,2	44,0	23,6	19,4	10,4
Matéria Mineral	Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Carbonato	-	1,6	0,6	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
	Pirita	0,8	0,4	2,0	1,8	0,2	0,6	-	0,2	1,2	1,4	2,2
	Argilas	19,3	31,6	26,4	30,5	37,2	36,8	45,6	25,0	19,7	24,0	22,2
	Matéria Mineral Total	20,1	33,6	29,0	32,3	37,4	37,4	45,8	25,4	21,1	25,8	24,6
Reflectância da vitrinita	Rrandom(%)	0,40	0,42	0,42	0,41	0,43	0,39	0,40	0,40	0,41	0,40	0,46
	Desvio Padrão	0,038	0,051	0,041	0,040	0,051	0,034	0,040	0,029	0,029	0,037	0,037
	Pontos	100	100	100	100	53	100	100	100	100	100	100
	Rank	SBC	SBC	SBC	SBC	SBB	SBC	SBC	SBC	SBC	SBC	SBB

Legenda: LIN = Linhito*; SBC = Sub-bituminoso Tipo C; SBB = Sub-bituminoso Tipo B.

* reflectância não representativa, influenciada pelo alto teor de matéria mineral.

Apêndice Z: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-366 MVII, valores em percentagem (volume)

Furo F-366-MVII								
	Nº da amostra	09-034	09-035	09-036	09-037	09-040	09-041	09-042
	Camada	S4	S5	S6	S7	S8	S9	BL
Vitrinita	Colotelinita	52,5	32,3	43,4	53	36	7,0	9,8
	Colodetrinita	-	-	-	-	-	-	-
	Vitrinita Total	52,5	32,3	43,4	53	36	7,0	9,8
Liptinita	Esporinita	7,0	6,6	2,0	1,2	3,6	8,4	8,6
	Cutinita	-	-	-	-	-	0,2	-
	Resinita	-	-	-	-	-	0,2	-
	Alginita	-	-	-	-	-	-	-
	Liptodetrinita	1,8	0,4	0,2	-	1,2	2,0	4,2
	Liptinita Total	8,8	7,0	2,2	1,2	4,8	10,8	12,8
Inertinita	Fusinita	8,0	10,6	6,4	8,0	7,8	25,0	29,2
	Semifusinita	1,2	2,0	2,4	4,0	3,4	3,4	6,8
	Micrinita	-	-	-	-	-	-	-
	Macrinita	-	-	0,8	-	-	-	0,2
	Secretinita	0,2	0,2	-	0,4	-	-	-
	Funginita	-	-	-	-	-	-	-
	Inertodetrinita	10,8	11,8	7,4	6,0	8,4	10,4	8,8
	Inertinita Total	20,2	24,6	17,0	18,4	19,6	38,8	45,0
Matéria Mineral	Quartzo	-	-	-	-	-	-	-
	Carbonato	-	-	-	-	-	-	2,0
	Pirita	-	1,2	1,0	0,6	1,8	0,6	0,4
	Argilas	18,5	34,9	36,4	26,8	37,8	42,8	30
	Matéria Mineral Total	18,5	36,1	37,4	27,4	39,6	43,4	32,4
Reflectância da vitrinita	Rrandom(%)	0,38	0,40	0,41	0,42	0,36	0,38	0,44
	Desvio Padrão	0,049	0,050	0,039	0,038	0,040	0,048	0,043
	Pontos	100	100	100	100	100	100	100
	Rank	LIN	SBC	SBC	SBC	LIN	LIN	SBB

Legenda: LIN = Linhito*; SBC = Sub-bituminoso Tipo C; SBB = Sub-bituminoso Tipo B.
* reflectância não representativa, influenciada pelo alto teor de matéria mineral.

Apêndice AA: Análise petrológica detalhada das camadas do furo F-368 MVII, valores em percentagem (volume)

Furo F-368-MVII											
	Nº da amostra	09-065	09-066	09-067	09-068	09-069	09-070	09-071	09-072	09-073	09-074
	Camada	S4	S5	S6	S7	S8	S9	BL	I1	I2	I3
Vitrinita	Colotelinita	38,4	28,4	52,8	39,8	18,8	7,6	8,4	35,4	40,8	59,0
	Colodetrinita	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-	-	1,6
	Vitrinita Total	38,4	28,6	52,8	40,0	18,8	7,6	8,4	35,4	40,8	60,6
Liptinita	Esporinita	4,2	3,6	3,6	1,4	6,2	15	11,8	5,8	5,8	7,6
	Cutinita	0,2	0,2	0,4	-	-	-	-	0,2	-	0,8
	Resinita	-	-	-	-	0,2	0,6	0,6	0,2	0,2	-
	Alginita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Liptodetrinita	1,6	1,0	0,6	0,8	1,8	4,6	1,6	1,6	1,8	3,0
	Liptinita Total	6,0	4,8	4,6	2,2	8,2	20,2	14,0	7,8	7,8	11,4
Inertinita	Fusinita	3,6	5,4	7,4	6,6	21,8	23,4	35,0	13,8	9,4	6,2
	Semifusinita	9,8	3,0	2,4	2,6	4,6	5,2	5,8	3,2	3,4	3,6
	Micrinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Macrinita	-	0,4	0,2	-	0,4	-	0,2	-	0,2	-
	Secretinita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Funginita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inertodetrinita	8,8	14,2	9,6	6,2	9,6	5,8	11,2	9,4	8,0	3,4
	Inertinita Total	22,2	23,0	19,6	15,4	36,4	40,0	52,2	26,4	21,0	13,2
Matéria Mineral	Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Carbonato	-	1,0	0,2	-	-	0,2	0,4	1,6	2,8	0,2
	Pirita	5,6	2,4	0,8	0,4	1,0	2,2	-	0,2	2,2	0,8
	Argilas	27,8	40,2	22,0	42	35,6	35,4	25,0	28,6	25,4	13,8
	Matéria M	33,4	43,6	23,0	42,4	36,6	37,8	25,4	30,4	30,4	14,8
Reflectância da vitrinita	Rrandom(%)	0,37	0,40	0,41	0,39	0,37	0,40	0,40	0,40	0,39	0,40
	Desvio Padrão	0,026	0,031	0,027	0,027	0,026	0,030	0,024	0,031	0,024	0,020
	Pontos	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Rank	LIN	SBC	SBC	SBC	LIN	SBC	SBC	SBC	SBC	SBC

Legenda: LIN = Linhito*; SBC = Sub-bituminoso Tipo C; SBB = Sub-bituminoso Tipo B.

* reflectância não representativa, influenciada pelo alto teor de matéria mineral.

Apêndice BB: Resultados das análises imediata das amostras de carvão (valores em peso). D.a.f. = *Dry ash free* (seco e livre de cinzas)

Furo	# Lab	Camada	% umidade	% Cinza	% Mat. Volátil	% Carbono Fixo	% MV (D.a.f.)
F-364 MVII	09-001	S3	7,2	32,0	22,7	38,1	37,34
	09-002	S4	4,7	62,3	17,9	15,1	54,24
	09-003	S5	8,3	40,1	20,5	31,1	39,73
	09-004	S6	5,9	52,7	19,3	22,1	46,62
	09-005	S7	4,0	47,5	16,3	32,2	33,61
	09-006	S8	5,1	33,7	19,4	41,8	31,70
	09-007	S9	6,2	48,1	20,6	25,1	45,08
	09-008	BL	5,2	41,7	21,9	31,2	41,24
	09-011	I1	3,3	57,6	22,4	16,7	57,29
	09-012	I2	6,3	55,2	20,6	17,9	53,51
	09-013	I3	3,7	49,9	25,1	21,3	54,09
	09-014	I4	5,4	52,8	21,0	20,8	50,24
	09-015	I5	3,7	58,1	18,1	20,1	47,38
	09-016	L1	5,7	58,7	18,0	17,6	50,56
F-365 MVII	09-022	S3	10,2	43,0	21,7	25,1	46,37
	09-023	S4	9,1	39,3	18,0	33,6	34,88
	09-024	S5	8,5	51,2	20,1	20,2	49,88
	09-025	S6	10,5	36,7	20,0	32,8	37,88
	09-026	S7	5,9	48,0	21,5	24,6	46,64
	09-027	S8	7,0	44,1	16,3	32,6	33,33
	09-028	S9	6,8	55,4	18,7	19,1	49,47
	09-029	BL	8,2	44,4	20,1	27,3	42,41
	09-032	I1	6,9	50,0	20,5	22,6	47,56
	09-033	I2	8,1	45,9	20,4	25,6	44,35
	09-045	L2	10,0	22,4	27,2	40,4	40,24
F-366 MVII	09-034	S4	11,1	41,8	21,1	26,0	44,80
	09-035	S5	7,9	58,1	16,6	17,4	48,82
	09-036	S6	9,0	46,4	19,3	25,3	43,27
	09-037	S7	10,7	43,1	20,3	25,9	43,94
	09-040	S8	8,3	38,9	18,7	34,1	35,42
	09-041	S9	5,4	41,6	17,4	35,6	32,83
	09-042	BL	6,4	43,4	21,9	28,3	43,63
F-368 MVII	09-065	S4	6,7	41,3	20,2	31,8	38,85
	09-066	S5	6,6	55,7	19,2	18,5	50,93
	09-067	S6	10,3	45,5	20,4	23,8	46,15
	09-068	S7	7,2	52,8	18,0	22,0	45,00
	09-069	S8	5,9	41,2	17,4	35,5	32,89
	09-070	S9	5,8	49,5	18,3	26,4	40,94
	09-071	BL	6,5	49,3	19,0	25,2	42,99
	09-072	I1	6,4	55,6	20,0	18,0	52,63
	09-073	I2	8,0	36,5	21,6	33,9	38,92
	09-074	I3	9,5	33,9	27,0	29,6	47,70

Apêndice CC: Resultados da análise elementar das amostras de carvão. Resultados em percentagem em peso

Furo	#Lab	Camada	C	H	N	S	O
F-364 MVII	09-001	S3	31,86	3,22	0,80	3,00	29,13
	09-002	S4	19,94	2,44	0,55	0,65	14,12
	09-003	S5	30,03	3,09	0,76	3,39	22,63
	09-004	S6	25,96	2,74	0,69	2,71	15,20
	09-005	S7	15,59	2,07	0,49	0,90	33,45
	09-006	S8	28,96	2,71	0,55	0,88	33,20
	09-007	S9	29,52	2,74	0,56	0,87	18,21
	09-008	BL	37,49	3,04	0,60	2,10	15,07
	09-011	I1	25,31	2,10	0,54	8,08	6,37
	09-012	I2	26,45	2,70	0,62	0,82	14,21
	09-013	I3	33,90	3,10	0,73	0,85	11,52
	09-014	I4	28,98	2,99	0,63	0,87	13,72
	09-015	I5	24,22	2,42	0,59	1,07	13,60
	09-016	L1	26,66	2,51	0,52	0,41	11,21
F-365 MVII	09-022	S3	32,93	3,50	0,84	0,69	19,05
	09-023	S4	23,77	2,66	0,64	1,02	32,61
	09-024	S5	27,08	2,93	0,70	2,89	15,19
	09-025	S6	28,89	3,20	0,77	0,68	29,76
	09-026	S7	27,66	2,90	0,77	0,41	20,25
	09-027	S8	25,49	2,37	0,55	1,58	25,92
	09-028	S9	27,13	2,66	0,50	0,57	13,74
	09-029	BL	36,32	3,06	0,59	1,12	14,51
	09-032	I1	29,28	2,77	0,62	1,10	16,23
	09-033	I2	29,13	2,89	0,64	2,94	18,50
	09-045	L2	40,16	3,75	0,88	7,90	24,90
F-366 MVII	09-034	S4	33,43	3,46	0,84	0,93	19,55
	09-035	S5	22,10	2,55	0,60	0,55	16,09
	09-036	S6	28,11	2,90	0,73	3,05	18,80
	09-037	S7	31,26	3,26	0,83	1,48	20,07
	09-040	S8	25,64	2,73	0,72	2,76	29,24
	09-041	S9	25,27	2,34	0,51	0,50	29,78
	09-042	BL	36,91	2,98	0,62	0,47	15,63
F-368 MVII	09-065	S4	26,89	2,71	0,69	6,48	21,92
	09-066	S5	24,66	2,55	0,62	4,03	12,44
	09-067	S6	29,57	3,21	0,74	1,42	19,56
	09-068	S7	20,90	2,47	0,57	0,97	22,28
	09-069	S8	25,51	2,43	0,54	1,14	29,18
	09-070	S9	24,47	2,50	0,47	1,75	21,31
	09-071	BL	29,03	2,65	0,50	0,50	18,02
	09-072	I1	26,93	2,74	0,56	0,50	13,66
	09-073	I2	26,28	2,70	0,55	7,63	26,33
	09-074	I3	39,56	4,18	0,84	1,68	19,84

Apêndice DD: Resultados do poder calorífico das amostras de carvão. D.a.f. = *Dry ash free* (seco e livre de cinzas)

Furo	Camada	Amostra	Poder Calorífico cal/g	Poder calorifico *d.a.f.* cal/g
F-364 MVII	S3	09-001	3103	5104
	S4	09-002	1685	5106
	S5	09-003	2789	5405
	S6	09-004	2507	6056
	S7	09-005	1546	3188
	S8	09-006	2445	3995
	BL	09-008	3425	6450
	I2	09-012	2411	6262
	I3	09-013	3177	6847
	I4	09-014	2599	6218
	I5	09-015	2058	5387
F-365 MVII	S3	09-022	3018	6449
	S4	09-023	2117	4103
	S5	09-024	2433	6037
	S8	09-027	2322	4748
	BL	09-029	3251	6859
	I1	09-032	2659	6169
	I2	09-033	2731	5937
F-366 MVII	S4	09-034	3173	6737
	S5	09-035	1918	5641
	S6	09-036	2569	5760
	S9	09-041	2265	4274
	BL	09-042	3283	6540
F-368 MVII	S4	09-065	2501	4810
	S5	09-066	2192	5814
	S6	09-067	2802	6339
	S7	09-068	1926	4815
	S8	09-069	2303	4353
	S9	09-070	2291	5125
	BL	09-071	2681	6066
	I1	09-072	2359	6208
	I2	09-073	2742	4941
	I3	09-074	3770	6661

Apêndice EE: Resultados da difração de raios X das amostras de carvão. A marcação "x" nos quadrados significa a presença do respectivo mineral na camada.

Furo	Camada	Amostras	Quartzo	Caolinita	Ilita	K-felspato	Gipso	Plagio-clásio	Pirita	Siderita	Calcita	Piroxênio	Anquerita	Interest. I/S	Esmectita	Cristobalita
F-364-MVII	S3	09-001	x	x	x	x					x					x
	S4	09-002	x	x	x											
	S5	09-003	x	x	x	x	x									
	S6	09-004	x	x	x	x	x									
	S7	09-005	x	x	x	x						x				x
	S8	09-006	x	x	x	x										
	S9	09-007	x	x	x											
	BL	09-008	x	x	x											
	I1	09-011	x	x			x		x		x		x			
	I2	09-012	x	x		x				x						
	I3	09-013	x	x						x						
	I4	09-014	x	x						x	x					
	I5	09-015	x	x		x		x					x			
	L1	09-016	x	x	x	x	x							x		
F-365-MVII	S3	09-022	x	x		x	x									
	S4	09-023	x	x			x	x					x		x	
	S5	09-024	x	x	x	x	x	x								
	S6	09-025	x	x			x	x		x						
	S7	09-026	x	x	x	x		x								
	S8	09-027	x	x	x			x	x							
	S9	09-028	x	x		x	x	x		x						
	BL	09-029	x	x	x			x								
	I1	09-032	x	x	x	x	x			x			x			
	I2	09-033	x	x	x	x	x		x							
	L2	09-045	x	x	x	x	x	x	x					x		
F-366-MVII	S4	09-034	x	x	x							x				
	S5	09-035	x	x	x							x				
	S6	09-036	x	x	x		x		x			x				
	S7	09-037	x	x												
	S8	09-040	x	x	x	x		x	x							

	S9	09-041	x	x	x						x					
	BL	09-042	x	x	x	x		x			x	x				
F-368-MVII	S4	09-065	x	x			x	x	x							
	S5	09-066	x	x			x		x							
	S6	09-067	x	x	x	x	x	x								
	S7	09-068	x	x	x	x		x								
	S8	09-069	x	x	x	x	x					x				
	S9	09-070	x	x	x			x								
	BL	09-071	x	x	x			x			x					
	I1	09-072	x	x	x					x						
	I2	09-073	x	x	x		x		x							
	I3	09-074	x	x	x		x									