

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

**O CARVÃO DA JAZIDA DE MORUNGAVA-RS;
CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E
TECNOLÓGICA DAS CAMADAS DE CARVÃO DO POÇO DE
EXPLORAÇÃO CBM 001-MO-RS**

GUSTAVO SIMÃO

ORIENTADOR - Prof. Dr. Wolfgang Kalkreuth

Porto Alegre – 2016

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

**O CARVÃO DA JAZIDA DE MORUNGAVA-RS;
CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E
TECNOLÓGICA DAS CAMADAS DE CARVÃO DO POÇO DE
EXPLORAÇÃO CBM 001-MO-RS**

GUSTAVO SIMÃO

ORIENTADOR - Prof. Dr. Wolfgang Kalkreuth

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero – Instituto de Geociências, UFRGS.

Prof. Dra. Marleny Blanco González – Instituto de Geociências, UFRGS.

Prof. Dr. Eduardo Osório – Departamento de Metalurgia, Escola de Engenharia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito para a obtenção do
Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2016

Ficha Catalogáfica

Simão, Gustavo

O CARVÃO DA JAZIDA DE MORUNGAVA-RS;
CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E TECNOLÓGICA
DAS CAMADAS DE CARVÃO DO POÇO DE EXPLORAÇÃO CBM 001-
MO-RS / Gustavo Simão. -- 2016.
86 f.

Orientador: Wolfgang Kalkreuth.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. Bacia do Paraná. 2. Jazida de Morungava. 3.
caracterização de carvão. 4. petrologia. 5.
beneficiamento de carvão. I. Kalkreuth, Wolfgang ,
orient. II. Título.

Dedicatória

Como já disse Roberto Campos, “Mais importante que as riquezas naturais são as riquezas artificiais da educação e tecnologia”.

Desta forma, tenho muito a agradecer pela oportunidade do conhecimento desta profissão, a geologia, que nos permite ajudar a prover a sociedade das riquezas naturais fundamentais a sua subsistência, de forma ecológica e economicamente sustentável.

Agradeço a minha família, meus pais, irmãos, avós, tios e primos, todas as pessoas que mais ou menos, de alguma forma contribuíram para que eu me tornasse quem eu sou na esfera acadêmica, intelectual e principalmente na pessoal.

Agradeço muito a Camila, a pessoa que a vida colocou em meu caminho para formar uma história à dois.

Aos amigos do período de graduação que perduraram no pós-graduação e seguem na amizade; Eliel, Cristiano, Rodrigo, Gustavo Garcia.

Aos colegas do Laboratório de Análise de carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da UFRGS; Caroline, Leandro, Tânia, Priscila, Marleny, Simone, Gustavo Colares, Thaysa, Airan colegas do dia a dia no laboratório e que de forma maior ou menor contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao prof. Kalkreuth, pela orientação e por todo o conhecimento que me proporcionou em infindáveis horas, ou melhor anos, de convívio como bolsista.

A Carbonífera Metropolitana por todo o suporte logístico, analítico e financeiro que ajudaram a viabilizar a realização deste projeto.

“Os que crêm que a culpa de
nossos males está em nossas
estrelas e não em nós mesmos,
ficam perdidos quando as nuvens
encobrem o céu”

Roberto Campos

Resumo

Considerando a crescente demanda por energia e tendo em vista uma matriz diversificada, faz-se necessário o estudo das jazidas carboníferas não exploradas, como é o caso da Jazida de Morungava, em cujas últimas pesquisas datam da década de 1980. A jazida situa-se no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, com uma área de abrangência de cerca de 250km². Realizou-se um poço exploratório para estudar o carvão e avaliar a economicidade da jazida, por meio de caracterização petrográfica, química e tecnológica das camadas obtidas no poço CBM 001-MO-RS, que atingiu a profundidade de 387,70m, uma espessura cumulativa de carvão de 9,22m. Identificou-se 6 camadas de carvão, das quais obteve-se 27 amostras. Para caracterizar as amostras, realizou-se: descrições de litotipos do carvão, refletância da vitrinita, contagem de macerais, análises imediatas, poder calorífico superior, enxofre total, difração de raios-X e teste de beneficiamento. O litotipo carvão fosco é predominante nas amostras, com um rank variando de carvão betuminoso alto volátil A à antracito. As amostras, estão afetadas progressivamente por intrusão vulcânica sotoposta. O grupo maceral vitrinita predomina nos carvões na porção inferior, enquanto inertinita predomina na superior. Matéria mineral apresenta uma tendência de aumento da base para o topo. Os carvões apresentaram altos teores de cinza (>50% m.b.s.), matéria volátil (6,04-30,69% m.b.s), enxofre (0,20-2,88% m) e poder calorífico superior (777-4.732 Kcal/Kg). Ocorre um predomínio mineralógico de quartzo, caulinita, e illita. A maioria das camadas são classificadas como rocha carbonosa (>50% cinza/b.s.). Em ensaios de beneficiamento foi observado um baixo rendimento (<7% vol.), na obtenção de produtos nobres.

Palavras-chave: Bacia do Paraná, Jazida de Morungava, caracterização de carvão, petrologia, beneficiamento de carvão.

Abstract

Considering the growing demand for energy and with a view to a diverse energy matrix, it is necessary to study the coal deposits not or little exploited, such as the Morungava coalfield, where the latest research is dating back to the 1980s. The Coalfield is located in the northeast of Rio Grande do Sul State, Brazil. The present study characterizes coal seams obtained from borehole CBM 001-MO-RS, which reached a depth of 387,70 m. 6 coal seams were identified, with a cumulative coal thickness of 9,22 m, from which 27 coal samples were taken for analyses. The following methods were applied: lithotype description, vitrinite reflectance measurement, maceral analyses, proximate analysis, calorific value analysis, sulphur determination, x-ray diffraction and beneficiation tests. The lithotype dull coal is prevalent in the samples. Coal rank ranges from high volatile bituminous A coal to anthracite, with samples progressively affected by an overlying volcanic intrusion. The vitrinite maceral group dominates the coals in the lower portion, whereas inertinite prevails at the top. The coals show high ash content (> 40 wt.% d.f.). Volatile matter ranges from 6.04 to 30.69 wt.% d.f., sulfur ranges from 0.20 to 2.88 wt.%, and gross calorific values range from 777 - 4732 Kcal/kg). There is a predominance of quartz, kaolinite and illite in the mineral fraction. Beneficiation tests indicate a very low yield in better quality, low ash coal. Most of the coal seams are classified as carbonaceous rock (> 50% Ash/d.f.).

Keywords: Brazil, Paraná Basin, Morungava coalfield, coal characterization, petrology, coal beneficiation

Lista de Figuras

Figura 1: Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná, com destaque em retângulo vermelho para a jazida Morungava/Chico Lomã. Modificado de Süffert (1997) e Aboarrage e Lopes (1986).....	9
Figura 2: Evolução dos estágios de carbonificação. (modificado de KGS - Kentucky Geological Survey) Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fevereiro. 2016).....	11
Figura 3: Estágios da matéria orgânica durante o processo de carbonificação. (modificado de KGS Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fev. 2016).....	13
Figura 4: Macerais e suas origens vegetais (modificado de KGS, Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fev. 2016)	16
Figura 5: Densidade das partículas compostas em proporções diferentes por: carvão, argila e pirita. (Ruiz 2009).	17
Figura 6: Relação entre macerais e densidade, modificada de Hower(1994).	18
Figura 7: Localização da área de estudo: A – Área de estudo em relação ao estado do Rio Grande do Sul; B – Locação dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a locação do poço CBM 001-MO-RS.	20
Figura 8: Mapa de isolinhas da profundidade da primeira camada de carvão da Jazida de Morungava, locação dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a locação do poço CBM 001-MO-RS.	21
Figura 9: Mapa de isolinhas da espessura de cobertura composta por sedimentos inconsolidados para a área da Jazida de Morungava, locação dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a locação do poço CBM 001-MO-RS.	22
Figura 10: Mapa de isolinhas da espessura cumulativa de camadas de carvão para a Jazida de Morungava, locação dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a locação do poço CBM 001-MO-RS.	23
Figura 11: Fotos retratando a visita de campo para definição do ponto onde foi empreendida a o poço exploratório CBM 001-MO-RS.	24
Figura 12: Fotos retratando a visita de campo para definição do ponto onde foi empreendida a o poço exploratório CBM 001-MO-RS.	24
Figura 13: Fluxograma de preparação das amostras para as análises realizadas no estudo.	26
Figura 14: A – Triturador do tipo mandibula utilizada para redução da granulometria das amostras; B – Peneiras utilizadas para homogeneização das amostras e C- Quarteador de calha utilizado para obtenção de frações amostrais representativas.	27
Figura 15: Microscópio Leica DM6000 M utilizado nas análises petrográficas no LACAPETRO - Laboratório de carvão e rochas geradoras de petróleo.	28

Figura 16:Determinação do Grau de Carbonificação conforme a Classificação Americana (ASTM) apresentada por Taylor <i>et. al.</i> (1998).....	30
Figura 17: Classificação Internacional das camadas de carvão, segundo normas CEE, NU (1998). PCS (h, sc) - poder calorífico superior, base úmida, sem cinzas; L – liptinita, V- vitrinita, I – inertinita, Ra – poder refletor da vitrinita, modificado de Silva (2012).....	32
Figura 18: Partes do cilindro e bomba calorimétrica com o cilindro acoplado (modificado de IKA – WERKE, 2007).	35
Figura 19: Incidência de um feixe de raios-x sobre um mineral (Skoog, 2002).....	37
Figura 20: Exemplo de procedimento sequencial de análise densimétrica apresentado por Sampaio e Tavares (2005) valores em g/cm ³	38

Lista de Quadros

Quadro 1: Classificação dos litotipos,(Stopes 1919) e (Diesel, 1965).....	14
---	----

Lista de Abreviaturas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASTM – American Society for Testing and Materials

BS – Base seca

CBM – Coalbed Methane

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DAF – Dry ash free – livre de umidade e cinza

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ICCP – International Committee for Coal and Organic Petrology

ISO – International Standard Organization

KGS - Kentucky Geological Survey

LACAPETRO – Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo/UFRGS

MM – Matéria Mineral

MO – Jazida de Morungava

Rr – Rrandom (%) – Refletância da vitrinita

RS – Rio Grande do Sul

SC – Livre de cinza

S/MM – Livre de matéria mineral

UN-ECE – United Nations - Economic Commission for Europe

Sumário

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
3. ESTADO DA ARTE	11
3.1 Definição De Carvão	11
3.2 Formação do Carvão	12
3.3 Constituintes macroscópicos do Carvão	13
3.4 Constituintes microscópicos do Carvão	14
3.5 Densidade dos constituintes do carvão	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Definição da locação do poço exploratório	19
4.2 Execução do poço exploratório	24
4.3 Preparação das amostras	25
4.4 Análises Petrográficas	28
4.4.1 Reflectância da Vitritina Rrandom (%)	28
4.4.2 Análise dos Macerais	31
4.4.3 Classificação das amostras de carvão	31
4.5 Análises Imediatas, Químicas e Mineralógicas	32
4.5.1 Análises imediatas	32
4.5.2 Poder calorífico superior	35
4.5.3 Difractometria de raios-X	36
4.6 Beneficiamento gravimétrico – afunda-flutua	37
5 CARTA DE SUBMISSÃO	39
6 ARTIGO	40
7 REFERÊNCIAS	79

1 Introdução

O carvão, em escala mundial, quando comparado a outras fontes energéticas, é o combustível fóssil mais abundante, com reservas provadas da ordem de 847,5 bilhões de toneladas. Quantidade esta, suficiente para atender a produção atual por 130 anos (ANEEL, 2008).

Além da oferta farta, com reservas bem distribuídas geograficamente, o comportamento dos preços é outra vantagem competitiva. As cotações do petróleo e derivados têm se caracterizado pela extrema volatilidade. No caso da *commodity* carvão, no entanto, registraram-se movimentos suaves ao longo da última década (ANEEL, 2008).

Segundo dados da International Energy Agency (2010), referentes à geração de energia elétrica em escala global, o carvão apresenta um dos mais baixos custos, menor risco de variações de preço e de interrupção de suprimento, além de ganhos de eficiência nas usinas termelétricas com o uso de tecnologias limpas.

Os recursos identificados de carvão no Brasil, considerando reservas medidas e inferidas, ultrapassam 32 bilhões de toneladas (EPE, 2015), e estão contidos na sucessão de rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná. Estas reservas estão situadas principalmente, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e, em menor porcentagem no Paraná e São Paulo. Tais depósitos estão inseridos litologicamente na sucessão de rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, de idade Permiana inferior da Bacia do Paraná.

A jazida de Morungava, alvo do presente trabalho, está localizada próxima a margem atlântica do território brasileira, na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A Jazida não apresenta porções aflorantes, estando a profundidades que variam de 100 a 450 metros de profundidade, tal cobertura é composta por litologias da Bacia do Paraná, assim como de sedimentos pertencentes a porção emersa da Bacia de Pelotas.

A presente dissertação apresenta uma caracterização petrológica, geoquímica e de viabilidade de aproveitamento industrial do intervalo carbonoso obtido através da realização do poço exploratório CBM 001-MO-RS na Jazida de Morungava.

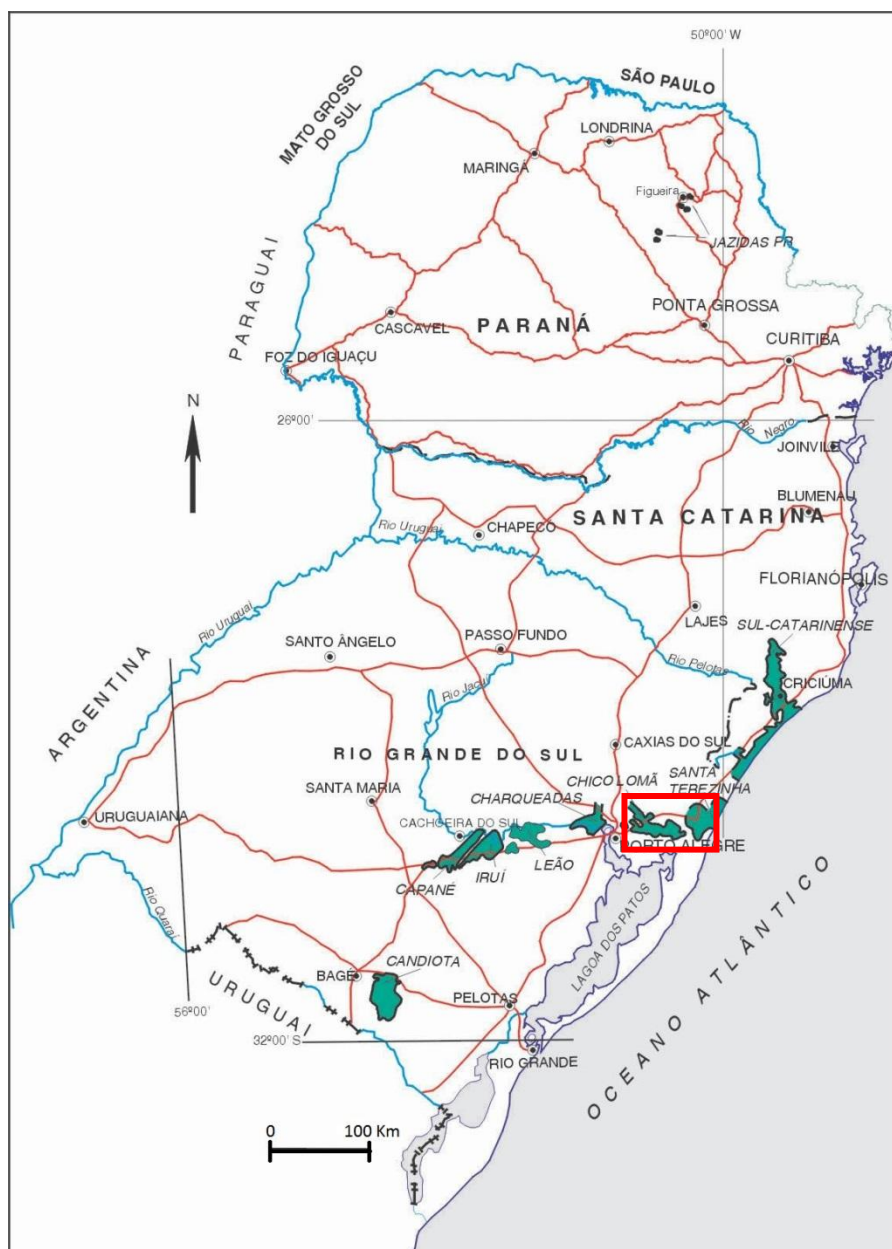


Figura 1: Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná (em verde), com destaque em retângulo vermelho para a jazida Morungava/Chico Lomã. Modificado de Süffert (1997) e Aboarrage e Lopes (1986).

2 Objetivos

Esta dissertação tem por objetivo apresentar os resultados de um estudo integrado realizado nas amostras de carvão, obtidas através da sondagem exploratória CBM 001-MO-RS, realizada entre os dias 30/11/2011 a 13/02/2012 na localidade de Morungava, município de Gravataí, estado do Rio Grande do Sul.

Tal estudo buscou analisar as características petrológicas, geoquímicas e físicoquímicas da Jazida de Morungava-RS, por meio de uma caracterização petrográfica, química, físicoquímica e de características de beneficiamento de amostras das camadas de carvão. Amostras estas obtidas por meio de uma sondagem de exploração realizada na referida jazida, em local definido a partir de dados de estudos prévios.

3. Estado da arte

3.1 Definição De Carvão

Carvão pode ser definido como uma rocha sedimentar carbonosa, formada por remanescentes de plantas com um conteúdo mineral associado, correspondendo a um valor menor ou igual a 50% de cinza de massa em base seca. (ISO 2005).

Schopf (1956) define carvão como uma rocha que contém igual ou mais de 50 por cento de peso e igual ou mais de 70 por cento do volume de material carbonoso, formado pela compactação de plantas remanescentes, similar aos depósitos de turfa (Figura 2). Diferenças nos tipos de plantas, no grau de carbonificação (*rank*), e grau de impureza, são características de variedades do carvão.

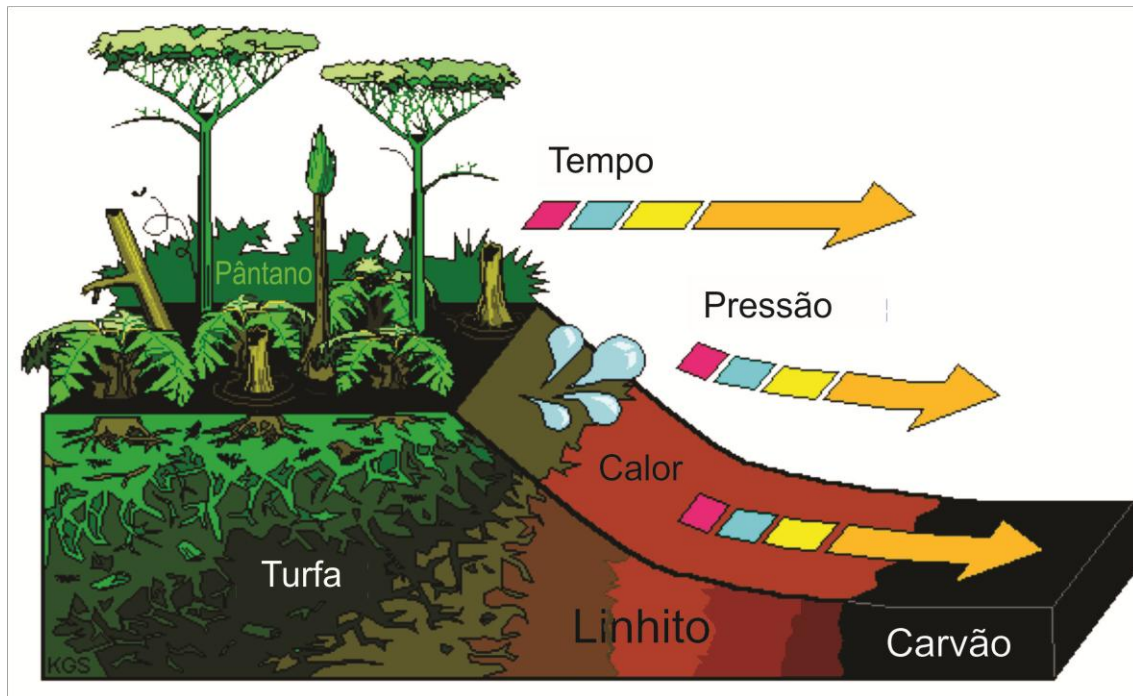


Figura 2: Evolução dos estágios de carbonificação. (modificado de KGS - Kentucky Geological Survey) Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fevereiro. 2016).

3.2 Formação do Carvão

Existem dois tipos de carvão diferenciáveis devido à origem de sua matéria orgânica: carvões sapropélicos e carvões húmicos.

Carvões sapropélicos são caracterizados por enriquecimento em esporos e algas. Quando os carvões são ricos em esporos, chama-se á eles de carvões do tipo *channel* e quando são ricos em algas, do tipo *boghead*.

Os carvões húmicos são muito mais abundantes que os carvões sapropélicos. Tais carvões correspondem a cerca de 90% de todos os depósitos conhecidos. São formados a partir de resíduos de plantas terrestres, que se acumularam na forma de turfeiras em áreas alagadas (pântanos). O acúmulo de matéria orgânica e sua subsequente preservação dentro da turfeira só são possíveis quando a acumulação acontece abaixo do nível freático, protegendo desta forma a matéria orgânica acumulada da ação do oxigênio do ar, promovendo a preservação da mesma. A turfa passa inicialmente por um processo de alteração bioquímica, realizado por ação bacteriana, sendo parcialmente decomposta. Com o progressivo aumento do soterramento, ocorre um incremento progressivo na temperatura e na pressão, esta condição provoca alterações geoquímicas no sistema. Estes processos são conhecidos como carbonificação (Suarez-Ruiz & Crelling, 2008).

O processo de carbonificação pode ser descrito como um enriquecimento relativo em carbono fixo, em detrimento a umidade e matéria volátil, que são eliminados sob a forma de água, dióxido de carbono e metano. A liberação desses componentes ocasiona um aumento no conteúdo de carbono na rocha/sedimento, e uma redução no conteúdo de hidrogênio e oxigênio. A carbonificação desenvolve-se sob condições de temperatura e pressão que são consideradas equivalentes aos estágios diagenéticos e epimetamórficos das rochas sedimentares inorgânicas (Suarez-Ruiz & Crelling, 2008). Essa transformação gradual da matéria vegetal em carvão, dá origem aos diferentes estágios de carbonificação denominados de; turfa, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso, antracito e grafite (Figura 3).

Hagemann e Hollerbach (1979) estimam que uma camada de material vegetal de 2m de espessura, acumulada em ambiente de pântano, fica reduzida a 30cm no estágio de turfa e a 10cm no estágio de carvão.

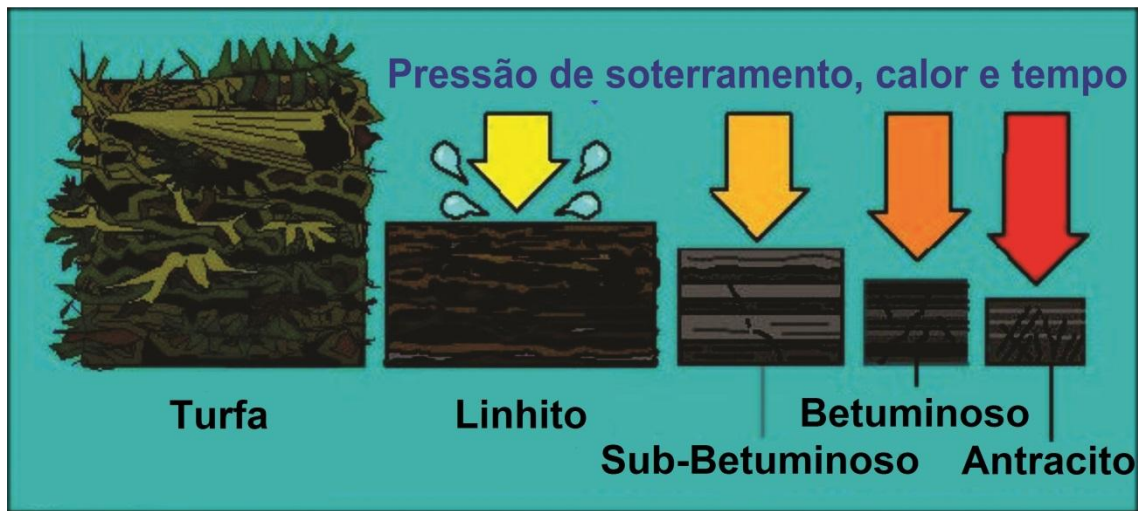


Figura 3: Estágios da matéria orgânica durante o processo de carbonificação. (modificado de KGS Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fev. 2016)

O "*rank*" é a medida do grau de maturidade ou carbonificação a que o carvão foi submetido durante a sua evolução na série natural de linhitos a antracitos. Os principais parâmetros necessários para se determinar o "*rank*" de um carvão envolvem: umidade de equilíbrio, poder calorífico, matéria volátil, carbono fixo total, teor de hidrogênio e reflectância da vitrinita.

O avanço da carbonificação leva à mudanças químicas, bioquímicas e físicas como: decréscimo no conteúdo de água e porosidade; aumento da densidade; condensação de moléculas orgânicas; polimerização; aromatização; perda de grupos funcionais como (-OH, e -CH₃).

3.3 Constituintes macroscópicos do Carvão

O Comitê Internacional de Petrologia Orgânica e do Carvão – ICCP (1971), define litotipos como as bandas identificáveis macroscopicamente no carvão, sobretudo pelo brilho (STACH, 1982), por definição com espessura mínima de 1 cm. Os litotipos podem refletir o tipo de contribuição da matéria orgânica e inorgânica, bem como as variações químicas e físicas sofridas ao longo do período da acumulação da matéria orgânica nas turfeiras (Kalkreuth e Leckie, 1989). Marchioni e Kalkreuth, (1991) demonstraram que em geral a quantidade de componentes do grupo maceral vitrinita tende à diminuir e os teores dos grupos macerais inertinita, liptinita e matéria mineral

tendem à aumentar com a diminuição do componente brilhante. No presente trabalho, foi adotada a classificação (Quadro 1) contida em Diessel (1965).

Marchioni (1980) reportou que os carvões foscos estudados por ele na Austrália apresentaram um conteúdo de matéria mineral e inertodetrinita relativamente alto. Em vista disso, concluiu que este litotipo fosco era formado durante períodos de elevado nível da água e com ampla circulação dentro da turfeira. Litotipos brilhante, bandado brilhante, 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.

ICCP-Stopes	Diessel (1965)	Descrição
Vitrênio	Brilhante (B)	Brilho vítreo a subvitreo, fratura conchoidal; frágil; até 10% de bandas de carvão fosco.
	Bandado Brilhante (BB)	Brilhante, com bandas de carvão fosco que podem variar entre 10-40 %.
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 a 40 %.
	Carvão Fosco (D)	Fosco e não fraturado, podendo conter até 10 % de carvão brilhante.
Fusênio	Carvão Fibroso (F)	Friável

Quadro 1: Classificação dos litotipos,(Stopes 1919) e (Diesel, 1965).

3.4 Constituintes microscópicos do Carvão

O carvão é composto, microscopicamente, por uma mistura complexa de componentes orgânicos chamados macerais e de matéria inorgânica. Os macerais são remanescentes de plantas carbonificadas, que apresentam forma e/ou estrutura preservada até o estágio do carvão betuminoso (grau de evolução térmica) ou ainda,

produtos da degradação, no qual a origem vegetal não pode mais ser reconhecida (ICCP, 1971).

O termo maceral, foi utilizado pela primeira vez por Stopes (1919), que propôs chamar as unidades orgânicas que compõem a massa dos carvões de macerais, em analogia ao termo mineral, utilizado para nomear os componentes inorgânicos das rochas.

A essência da abordagem petrográfica para o estudo da composição do carvão é a ideia de que cada um desses componentes tem diferentes propriedades físicas e químicas. A formação dos macerais depende principalmente da composição textural da vegetação e do ambiente sedimentar, sendo o processo de carbonificação bioquimicamente influenciado pelo regime de água e o clima.

Os macerais são identificados através da sua morfologia e de propriedades óticas, embora estas variem não somente conforme o grau de maturação alcançada, mas também dentro de um mesmo grau de carbonificação, devido à heterogeneidade química da matéria vegetal original. Com o aumento do *rank*, as características que diferenciam os diversos macerais tendem a se atenuar, de maneira que nos antracitos a sua identificação torna-se difícil.

Os macerais são divididos em três grupos, que tem origens distintas: vitrinita, liptinita e inertinita (Figura 4).

A vitrinita é o produto da carbonificação de substâncias húmicas, os quais são essencialmente originados de lignina de paredes celulares. A liptinita é originada de remanescentes de porções das plantas que são relativamente ricas em hidrogênio, tais como esporopolenina, resinas e cutinas. A inertinita é derivada das mesmas substâncias que formam a vitrinita, entretando, submetidas a um processo de oxidação, em princípio, de incêndios florestais, antes da deposição em ambiente pantanoso, esse maceral é relativamente inerte a queima (ICCP, 1971).

O conteúdo mineral do carvão é a fração inorgânica, não combustível. Ele é constituído de minerais detríticos ou autigênicos introduzidos no carvão na primeira ou segunda fase de carbonificação.



Figura 4: Macerais e suas origens vegetais (modificado de KGS, Disponível em: http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm Acesso em: fev. 2016)

Os minerais detríticos são aqueles transportados ao pântano ou brejo pelo ar ou pela água. Uma grande quantidade de minerais pode ser encontrada no carvão; principalmente quartzo, carbonato, ferro e minerais de argila, com uma suíte variada de minerais acessórios, que pode ser relacionada às rochas da área fonte.

Minerais autigênicos são aqueles que são introduzidos na turfeira durante ou após a deposição da matéria orgânica, ou durante a carbonificação. Minerais precipitados podem ser disseminados através da turfeira ou se distribuir como agregados, visto que fluídos ricos em soluções minerais estão presentes durante os últimos estágios da carbonificação e tendem a precipitar minerais em qualquer espaço aberto dentro do carvão. Os produtos comuns da mineralização são os minerais de cálcio e ferro, tais como calcita, ankerita, siderita, sulfetos de ferro são comuns, em especial pirita e minerais de sílica na forma de quartzo. O enxofre ocorre em quase todos os carvões, estando presente na fração orgânica do carvão em menor quantidade e também na fração inorgânica, principalmente na forma do mineral pirita, sendo esta, a maior ocorrência de enxofre em carvões. A pirita pode estar presente como um mineral detrítico primário ou como autigênico (pirita secundária), resultante da redução do enxofre em águas marinhas. Existe uma correlação forte entre carvões com alto conteúdo de enxofre e ambientes deposicionais marinhos.

3.5 Densidade dos constituintes do carvão

A matéria carbonosa apresenta densidade relativa entre 1,2 e 1,7g/cm³, há depender do *rank* e umidade, enquanto a matéria mineral que a acompanha apresenta geralmente densidade relativa entre 2,6 e 2,7g/cm³. De acordo com McClung e Geer (1979), eventualmente a presença de pirita com densidade 5,0g/cm³ eleva este valor. A Figura 5, busca ilustrar a variação de densidades de partículas que podem ser encontradas em compostos contendo distintas proporções de carvão/rocha sedimentar/pirita nas partículas.

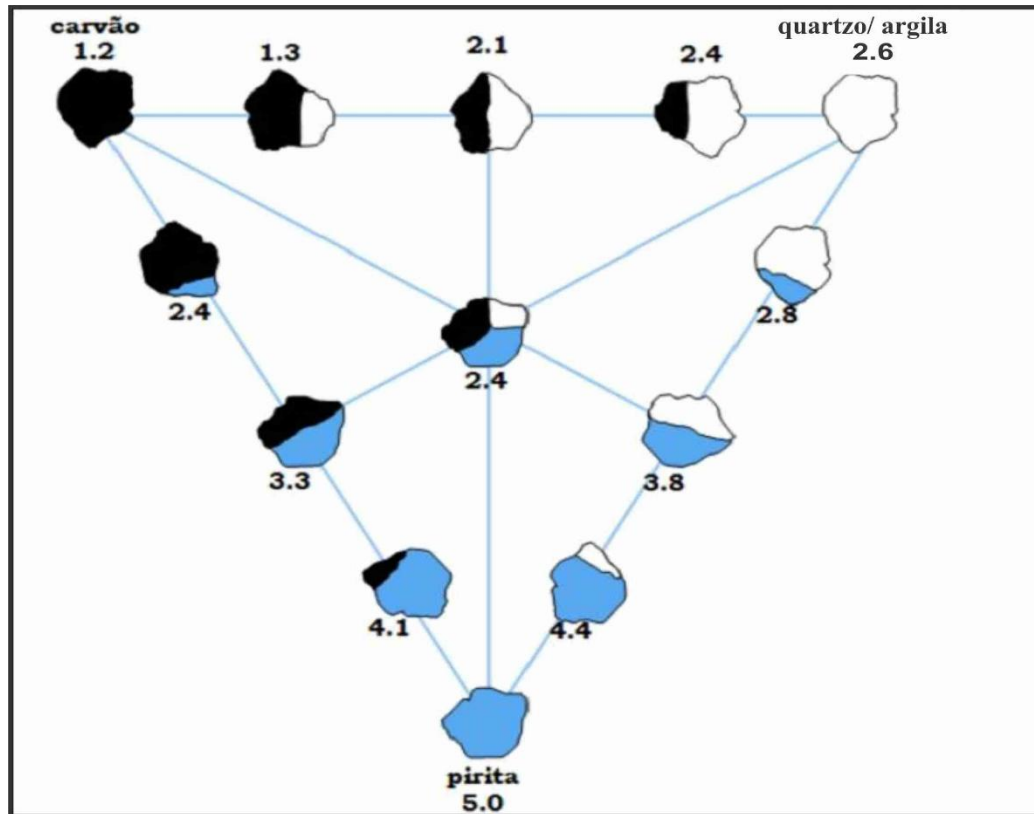


Figura 5: Densidade das partículas compostas em proporções diferentes por: carvão, argila e pirita. (Modificado de Ruiz 2009).

Segundo estudo desenvolvido por Taulbee (1989), no qual quantificou a densidade dos diferentes macerais obtidos por meio de uma série de processos de separação, os mesmos apresentam valores de densidade em torno de; liptinita 1,0-1,25g/cm³, vitrinita 1,28-1,33g/cm³ e inertinita 1,34-1,45g/cm³ (Figura 6).

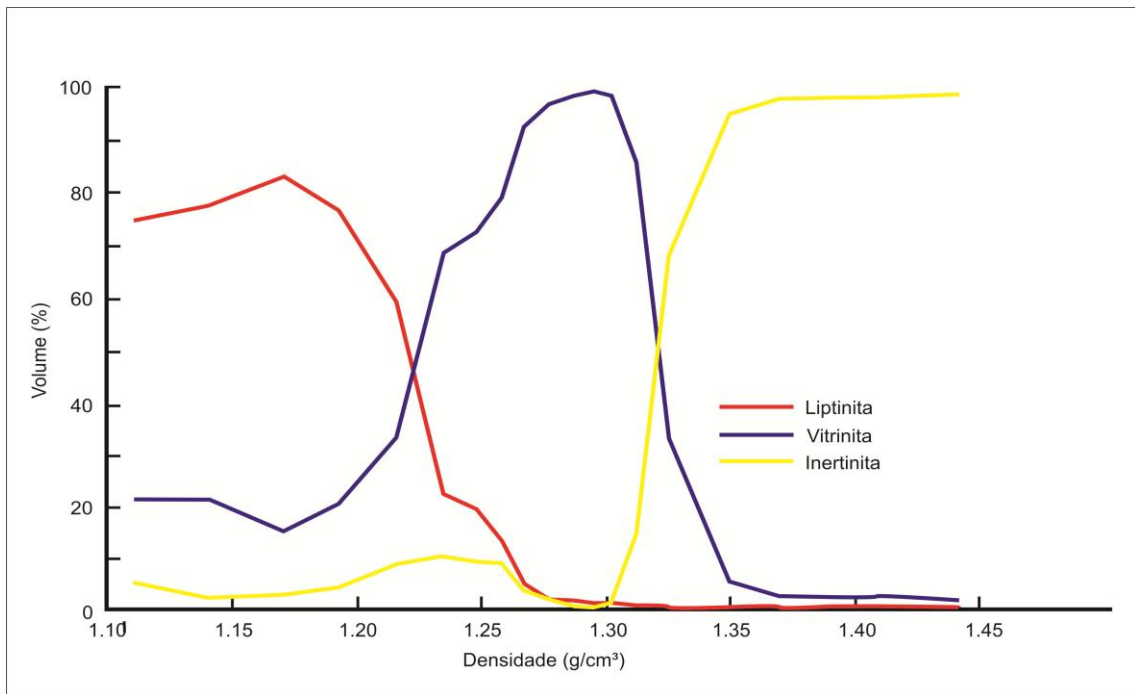


Figura 6: Relação entre macerais e densidade (Simão, 2012) modificado de (Hower, 1994).

4 Materiais e Métodos

A metodologia empregada neste trabalho, tanto experimental quanto de análise de resultados, está descrita no artigo apresentado posteriormente. No entanto, neste capítulo será apresentado de forma mais detalhada a metodologia utilizada para a definição do local onde foi realizada a sondagem exploratória, assim como os equipamentos e procedimentos metodológicos utilizados nas análises das amostras.

4.1 Definição da locação do poço exploratório

A escolha do local a ser implementado o poço exploratório CBM 001-MO-RS, foi efetuada baseando-se na interpretação de informações obtidas de 43 poços pré-existentes na área de estudo (Figura 7), em trabalhos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM e Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM dentro dos projetos: Carvão do Rio Grande do Sul e Projeto Gravataí-Torres na década de 1980.

A partir das informações contidas nos 43 poços, foi gerado um banco de dados que serviu de subsídio para a geração de mapas de isolinhas. Mapas estes, produzidos por meio de interpolação de resultados das análises das informações pertinentes ao desenvolvimento do trabalho, como: profundidade da primeira camada de carvão, espessura da cobertura de material inconsolidado, densidade de intrusões ígneas que atinjam as camadas de carvão, espessura cumulativa das camadas de carvão, além de profundidade do embasamento cristalino.

A escolha da área com melhores condições para realização do estudo, além dos fatores geológicos descritos, levou em consideração os custos operacionais elevados da sondagem. Desta forma, buscou-se um equilíbrio entre as profundidades ideais (maiores) e os recursos disponíveis para realização do estudo.

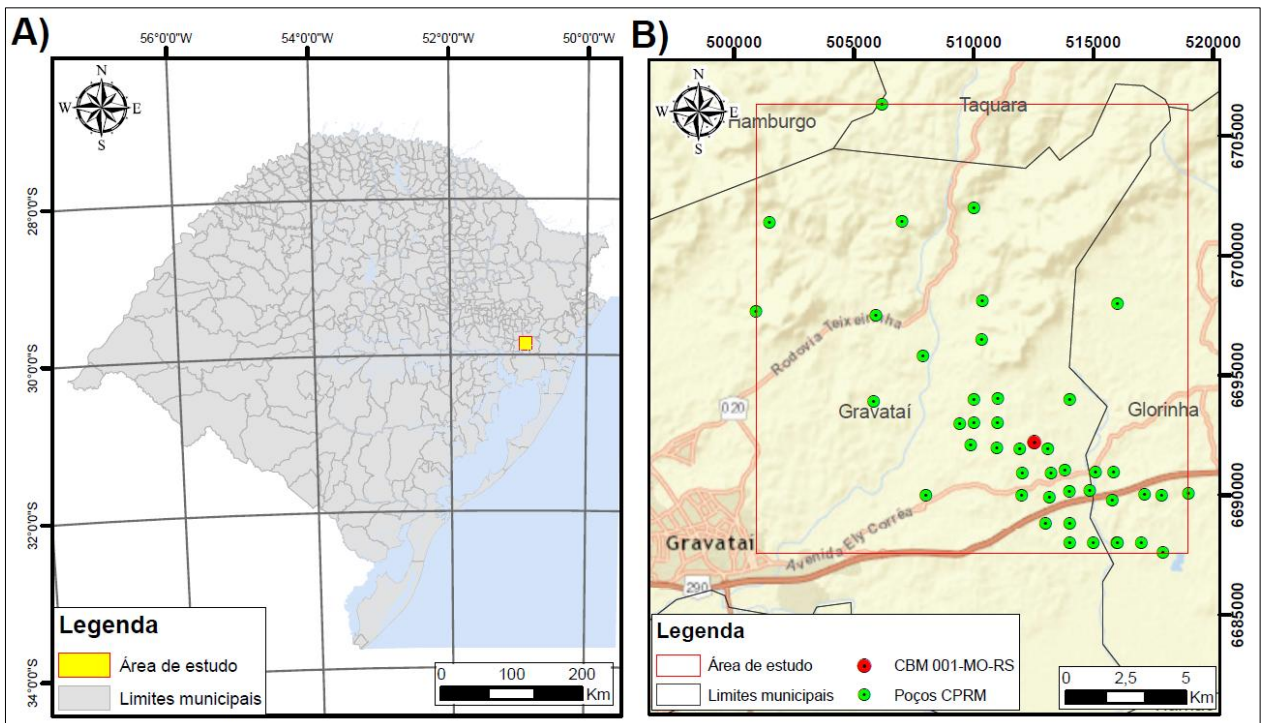


Figura 7: Localização da área de estudo: A – Área de estudo em relação ao estado do Rio Grande do Sul; B – Localização dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a localização do poço CBM 001-MO-RS.

Para a definição da área alvo à se empreender a sondagem exploratória, foram gerados mapas de profundidade da primeira camada de carvão (Figura 8) e espessura de cobertura composta por sedimentos inconsolidados (Figura 9). A partir do cruzamento entre esses dois produtos, pode-se definir uma zona de interesse dentro da área da Jazida de Monrunga. Esta Zona foi definida por ser composta por área na qual as camadas de carvão apresentassem uma cobertura de rochas litificadas iguais ou superiores a 300m de espessura.

A análise foi realizada desta forma, tendo em vista que o alvo inicial do poço exploratório, era não só avaliar as camadas de carvão quanto a suas características, mas também seu potencial para presença de metano adsorvido, o CBM (*coalbed Methane*). Necessitando dessa forma, de coberturas superiores a 300m, que possibilitassem o *trap* do gás contido na microporosidade do carvão.

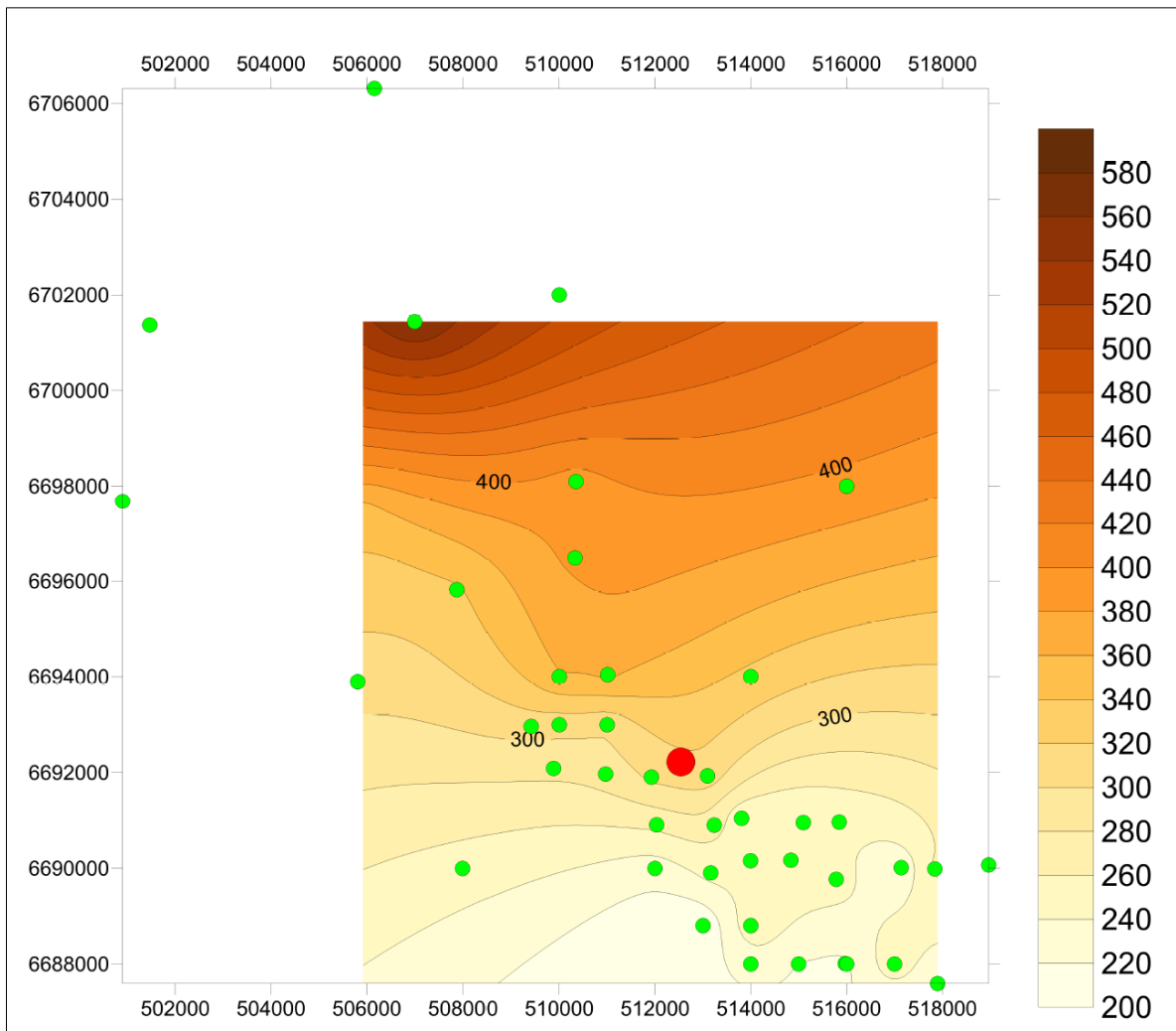


Figura 8: Mapa de isolinhas da profundidade da primeira camada de carvão da Jazida de Morungava, locação dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a locação do poço CBM 001-MO-RS.

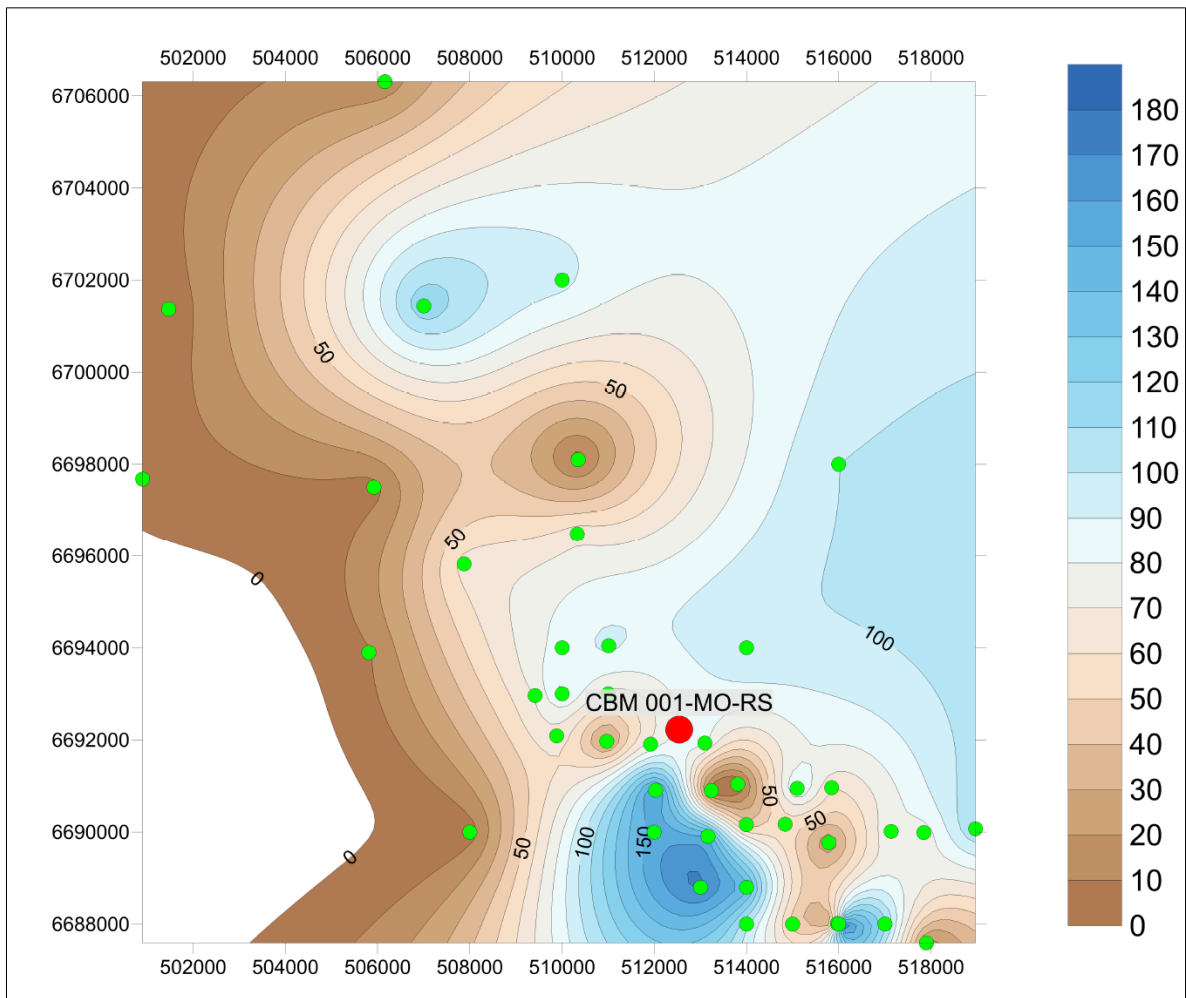


Figura 9: Mapa de isolinhas da espessura de cobertura composta por sedimentos inconsolidados para a área da Jazida de Morungava, localização dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a localização do poço CBM 001-MO-RS.

Munidos da definição de uma área alvo na qual as camadas de carvão apresentavam uma cobertura de rochas igual ou superior a 300m de espessura, procedeu-se a interpolação com um mapa de isolinhas apresentando as espessuras cumulativas de carvão para a jazida (Figura 10).

A partir da interpolação da zona alvo definida anteriormente, com as informações referentes a espessura cumulativa de carvão, definiu-se em mapa, a área onde seria empreendido o poço exploratório.

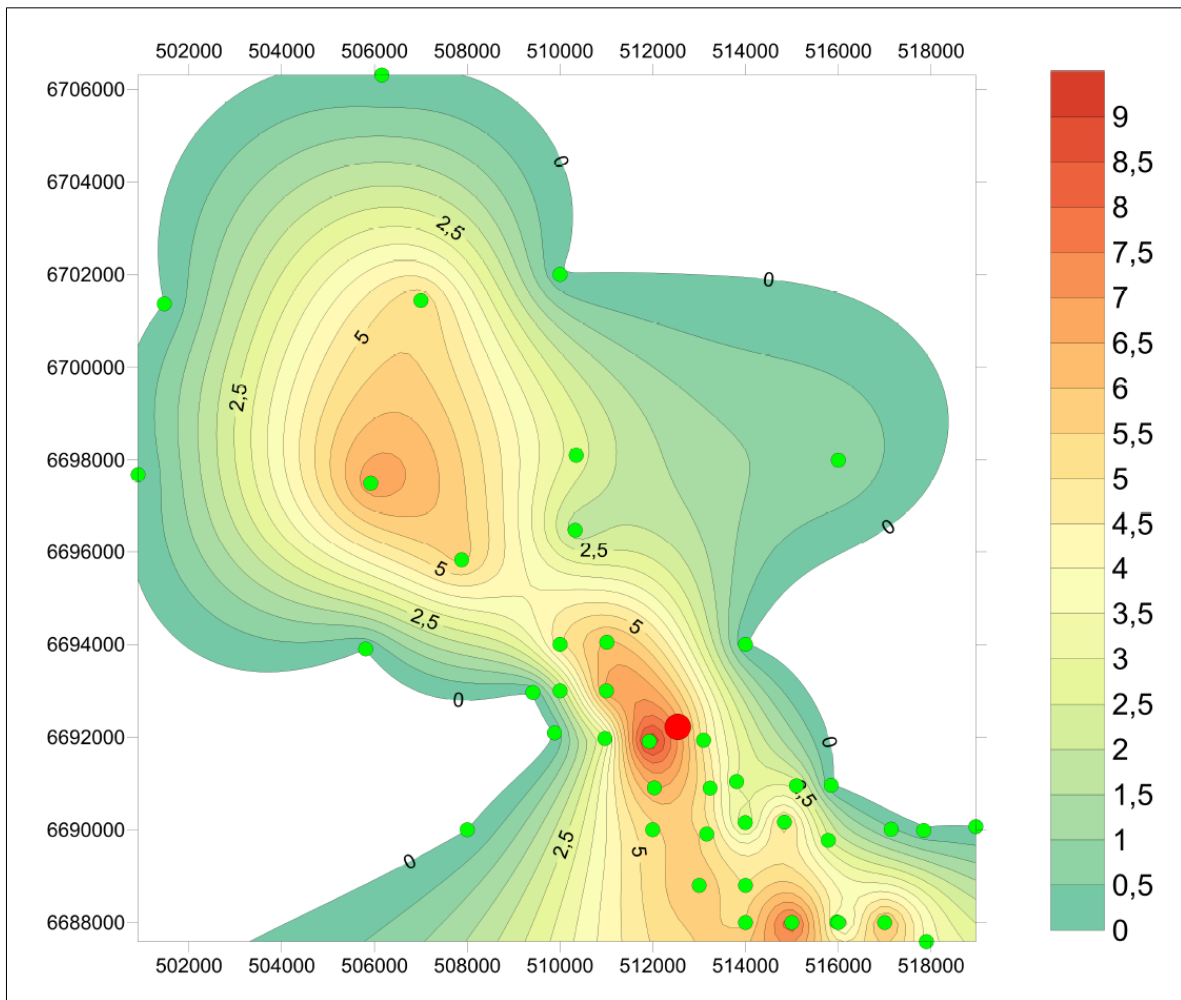


Figura 10: Mapa de isolinhas da espessura cumulativa de camadas de carvão para a Jazida de Morungava, localização dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a localização do poço CBM 001-MO-RS.

Tendo em mãos as coordenadas locais da área que apresentou as melhores condições de viabilidade técnica e econômica para se empreender a sondagem, foi realizada uma visita de campo, visando avaliar *in loco* as condições da área definida em mapa (Figura 11).

Durante esta vistoria, foram apreciadas características como, declividade do terreno, vias de acesso, disponibilidade de água e anuência por parte do superficiário no que se refere à implementação da sondagem em sua propriedade. Estes foram os procedimentos realizados para a definição do ponto onde o trabalho seria executado.

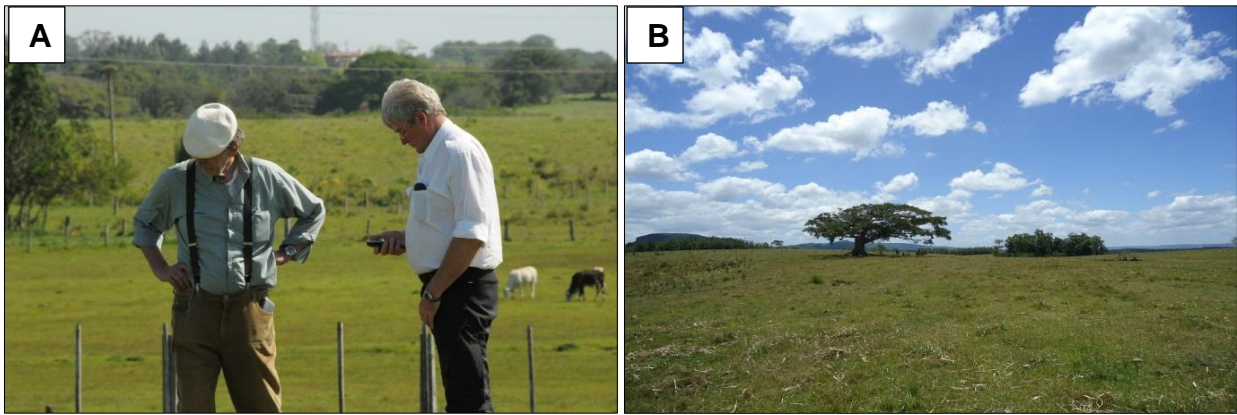


Figura 11: Fotos retratando a visita de campo para definição do ponto onde foi empreendido o poço exploratório CBM 001-MO-RS.

4.2 Execução do poço exploratório

A execução do poço exploratório CBM 001-MO-RS iniciou-se no dia 30 de novembro de 2011, com a chegada do equipamento de perfuração a área de estudo e encerrando-se na data de 13 de fevereiro de 2012. O trabalho foi realizado pela empresa SONDAP Sondagens e Perfurações Especiais Ltda. O método utilizado para a execução foi o *Wireline core retrieval*, rotativo em diamante, a um diâmetro de 47mm, retirados em barriletes de 3m de comprimento (Figura 12 A e B).

Um laboratório móvel pertencente ao Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo – LACAPETRO foi deslocado até a área de estudo (Figura 12A), e posicionado próximo ao local de execução do poço (Figura 12B).

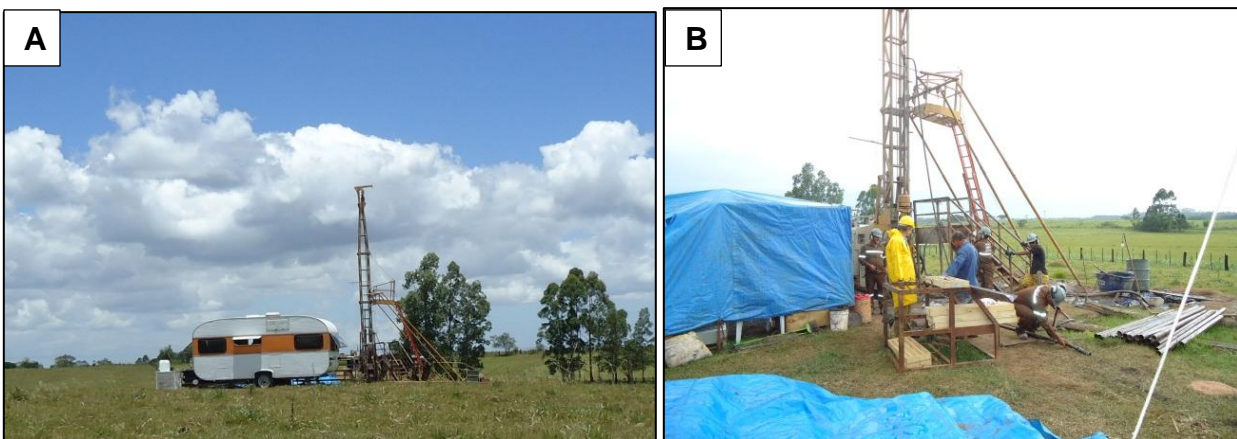


Figura 12: A – Laboratório Móvel utilizado durante o acompanhamento das sondagens e B- Equipamento de sondagem utilizada na execução do poços exploratório CBM 001-MO-RS.

Dentro desta estrutura laboratorial móvel, as amostras foram inicialmente acondicionadas em cilindros hermeticamente fechados de 45cm de comprimento interno, para que os possíveis volumes de gás adsorvido pudessem ser quantificados.

Posteriormente, quando se encerraram as medidas de potencial de liberação de gás adsorvido, as amostras de carvão foram removidas dos dispositivos nos quais encontravam-se armazenadas e disponibilizadas para os procedimentos de descrição macroscópica dos litotipos do carvão e subseqüentemente, para preparação das amostras visando as análises.

Faz-se importante destacar que durante a avaliação do potencial gerador de gás, as amostras de carvão não apresentaram valores significativos de CBM, motivo pelo qual tal fato não é abordado ao longo deste trabalho.

4.3 Preparação das amostras

A etapa Pós-Campo foi realizada nas instalações do LACAPETRO/UFRGS, e iniciou-se com a catalogação das amostras e posterior secagem em estufa a uma temperatura menor ou igual a 40°C. Após a secagem, os testemunhos de 47mm de diâmetro foram serrados verticalmente em uma serra circular de bancada com disco de corte para rochas, com refrigeração a água. Uma das porções obtidas retornou para as caixas de armazenagem de testemunhos, a outra porção contendo metade do testemunho original, passou por um novo corte, o qual dividiu esta porção ao meio. Desta forma obteve-se duas frações representando cada uma, um quarto do testemunho original (Figura 13).

Posteriormente ambas as amostras passaram respectivamente por procedimentos de britagem em um britador do tipo mandíbula e por peneiramento em peneiras de granulometria pré-determinada, para uma homogeneização das mesmas.

As amostras destinadas aos ensaios de beneficiamento foram homogeneizadas em uma granulometria abaixo de 25,4mm e acima de 1,0mm (ABNT NBR 8738), enquanto as amostras destinadas a caracterização petrográfica (ISO 7004/3) e química (ABNT NBR 8292) foram homogeneizadas inicialmente a uma granulometria abaixo de 4,76mm (Figura 13).

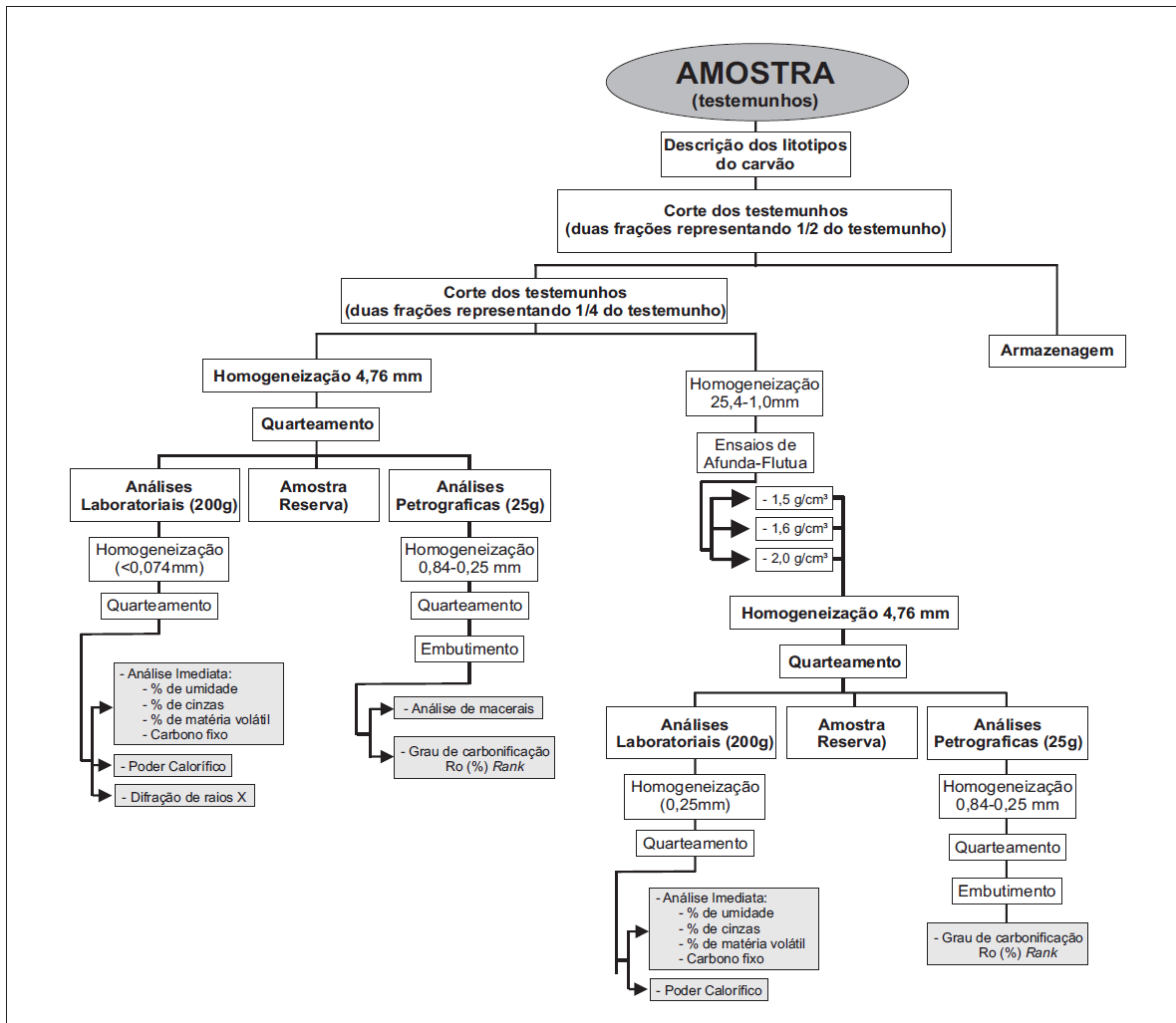


Figura 13: Fluxograma de preparação das amostras para as análises realizadas no estudo.

A homogeneização das amostras foi realizada por meio de um triturador do tipo mandíbula (Figura 14 A), no qual as amostras eram quebradas, reduzindo-se sua granulometria em correspondência a regulagem utilizada. Posteriormente as amostras eram homogeneizadas em um conjunto de pequeiras graduadas (Figura 14 B). Assim que encontravam-se homogeneizadas, as amostras passavam por um quarteador de canais (Figura 14 C), o qual tem como função a produção de várias subamostras representativas da amostra global, as quais foram utilizadas para a realização dos diferentes ensaios conforme apresentado no fluxograma.

As amostras destinadas as análises laboratoriais passaram por nova homogeneização, realizada em moinho de facas, para uma redução a uma granulometria inferior a 0,074mm, correspondente a peneira de 200mesh, tais amostras foram quarteadas em porções de 20g cada, destinadas as análises químicas.

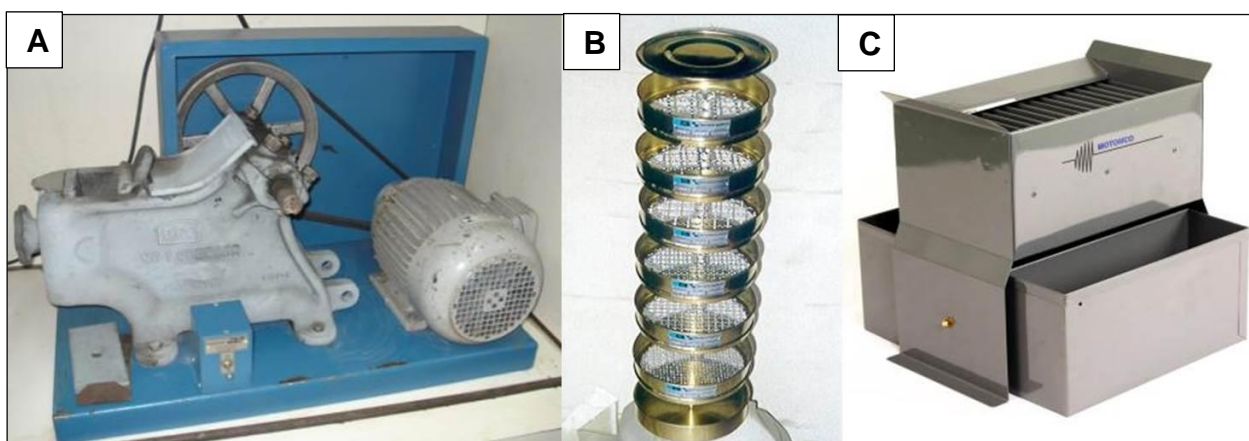


Figura 14: A – Triturador do tipo mandibula utilizada para redução da granulometria das amostras; B – Peneiras utilizadas para homogeneização das amostras e C- Quarteador de calha utilizado para obtenção de frações amostrais representativas.

As amostras destinadas a petrografia foram homogeneizadas em um intervalo granulométrico inferior a 0,84mm e superior a 0,25mm, com o qual foram confeccionadas seções polidas. As seções polidas foram preparadas em uma embutidora metalográfica hidropneumática da marca Teclago, com a utilização de resina acrílica. Após a confecção, as seções foram submetidas a desbaste e polimento de uma das faces com lixadeira automática rotativa da marca Buehler, modelo Ecomet4. O lixamento foi realizado com placas de diamante de 45 μ m e 9 μ m e o polimento com suspensão de aluminas de granulometria de 0,3 μ m e 0,05 μ m nos tecidos *pellon polishing cloth* e *silk cloth* respectivamente, a uma rotação de 200rpm e com banhos em jatos de água seguidos de intervalos de 2 minutos em ultra som, para lavagem e eliminação de cada tipo de alumina.

O outro conjunto de amostras, da porção correspondente dos testemunhos que foi destinada aos ensaios de beneficiamento gravimétrico por meio de ensaios com líquidos densos, passou como descrito anteriormente, por britagem em um triturador do tipo mandibula (Figura 14 A), com homogeneização por peneiramento na malha <25,4mm a >1,0mm conforme a metodologia descrita na norma ABNT NBR 8738-1995. Os produtos obtidos a partir dos ensaios passaram pelas mesmas metodologias descritas para análises laboratoriais e petrográficas, tendo em vista a realização de análises imediatas, poder calorífico e petrográficas.

4.4 Análises Petrográficas

Foram realizadas análises petrográficas a fim de caracterizar e classificar os carvões da Jazida de Morungava. O equipamento utilizado nas análises foi um Microscópio *Leica DM6000 M* (Figura 15), com luz refletida, lâmpada de fluorescência acoplada, objetiva 20X em óleo de imersão, com oculares de 10X, com câmera digital acoplada e retransmitindo a um monitor, o qual é conectado a um computador, no qual encontra-se instalado o *software* especializado para análises de carvão *Diskus Fossil*.



Figura 15: Microscópio Leica DM6000 M utilizado nas análises petrográficas no LACAPETRO - Laboratório de carvão e rochas geradoras de petróleo.

4.4.1 Reflectância da Vitrinita Rrandom (%)

O grau de carbonificação (*rank*) das amostras de carvão foi determinado através das medidas de poder refletor da vitrinita (ISO-7404/5, 1984). Segundo Stach, 1982, existe uma nítida relação entre o poder refletor do maceral vitrinita e seu teor de carbono e/ou matéria volátil, significando que o *rank* de um carvão pode ser determinado medindo-se o poder refletor em uma superfície polida.

O método para determinação do grau de carbonificação (*rank*) de uma amostra de carvão consiste na realização de 100 medidas em cada amostra, do poder refletor da vitrinita (ISSO-7404/5, 1984) para comparação com padrões de reflectância conhecidos. A média aritmética dessas medidas gerará o valor de grau de carbonificação (*rank*) do carvão analisado. Para determinação do *rank* neste trabalho foi utilizada a classificação apresentada por Taylor *et. al.* (1998), o qual sistematiza a classificação ASTM (Figura 16).

As análises foram realizadas no Laboratório de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo. O padrão utilizado foi de *Ytrium – Aluminium – Garnet*, com reflectância nominal de 0.895 *Rrandom* % (ISO 7404/5, 1984). As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Gerados de Petróleo, no Instituto de Geociências da UFRGS.

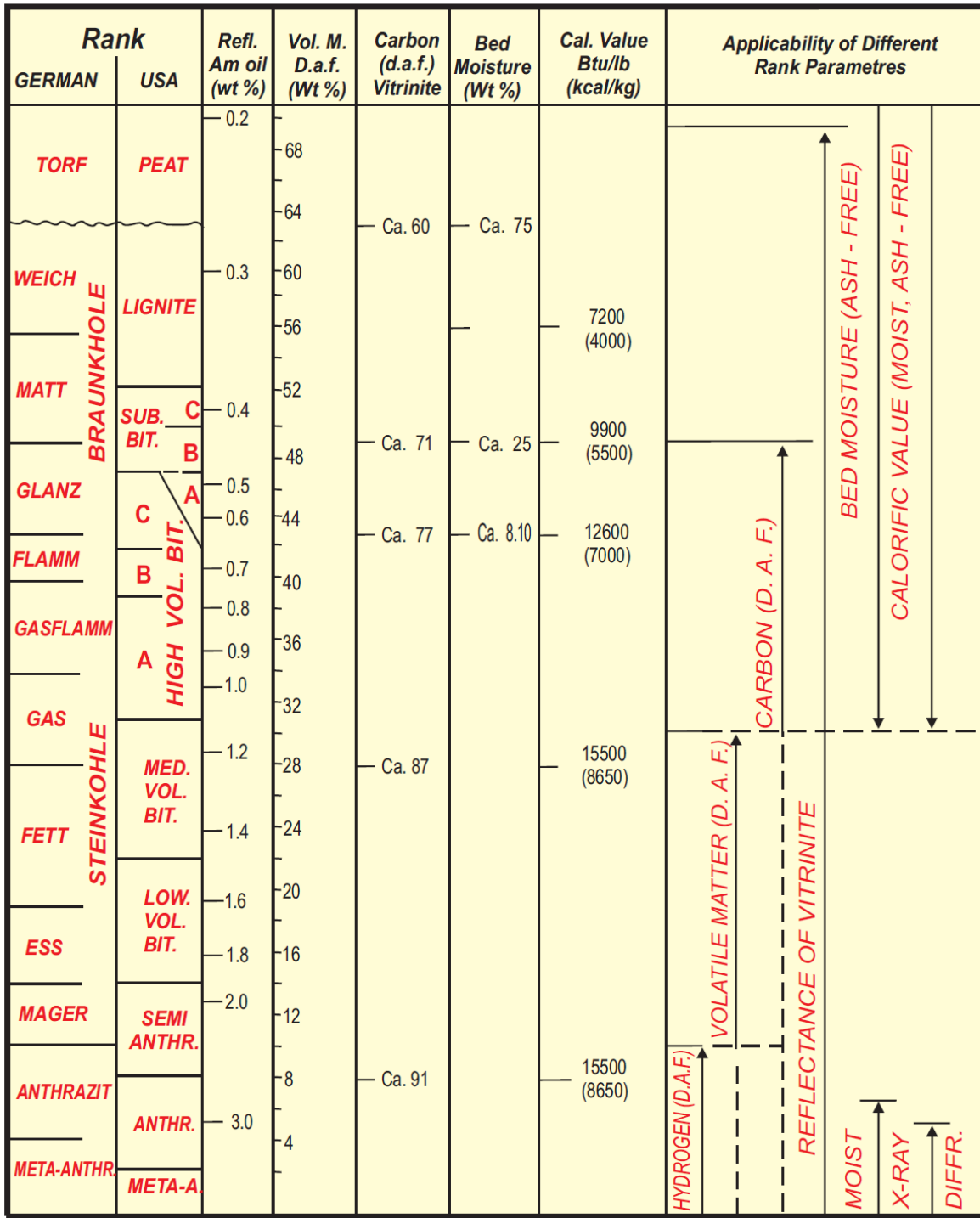


Figura 16: Determinação do Grau de Carbonificação conforme a Classificação Americana (ASTM) apresentada por Taylor et. al. (1998).

4.4.2 Análise dos Macerais

A determinação dos grupos macerais, sua distinção e o conteúdo de matéria mineral, seguiram as metodologias das normas ISO 7405-3/2009, ICCP 1998 e ICCP 2001. A análise de macerais segue a norma (ISO-7404/3, 1984) e baseia-se na contagem de 500 pontos realizados em linhas com intervalos pré-programados. Essa contagem serve para a identificação e quantificação dos diferentes macerais (Figura 4) e matéria mineral contidos na amostra. A análise é realizada em microscópio de luz branca refletida e em luz de fluorescência através de excitação usando uma lâmpada de alta pressão de Hg e um filtro azul de excitação, com objetiva em óleo de imersão. Os resultados da análise petrográfica são expressos em Volume %.

4.4.3 Classificação das amostras de carvão

Para fins de melhor caracterização das camadas de carvão encontradas no poço exploratório CBM 001-MO-RS, utilizando-se dos valores médios para os resultados obtidos nas amostras em cada camada de carvão, foi realizado um enquadramento ante uma adaptação realizada por Silva (2012) da proposta internacional de classificação do carvão apresentada pela Comunidade Econômica para Europa, Nações Unidas (CEE-NU, 1998).

O método usado tem a vantagem de usar de modo simultâneo, os três principais parâmetros empregados na caracterização de amostras de carvão (Figura 17): *Rank* através de poder calorífico e/ou poder de refletância da vitrinita; composição através da análise de macerais e o conteúdo em matéria mineral através de determinação de conteúdo de cinza.

Como a norma (UN-ECE, 1998), trabalha com preceitos analíticos internacionais e as análises imediatas foram realizadas segundo as normas técnicas da ABNT, foi realizada uma leitura comparativa das mesmas, quando ficou evidenciado que a utilização de tais resultados na classificação não causaria distorção nos resultados.

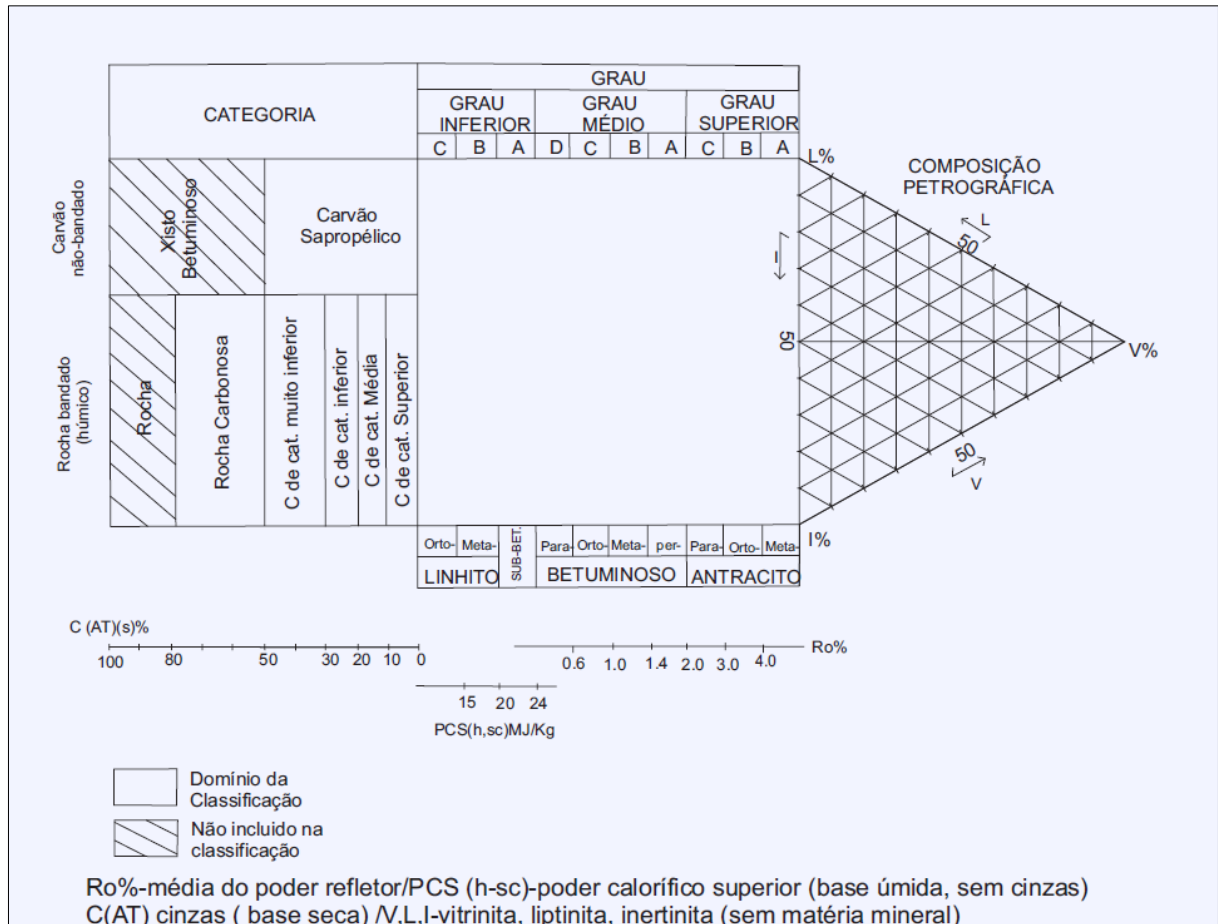


Figura 17: Classificação Internacional das camadas de carvão, segundo normas CEE, NU (1998). PCS (h, sc) - poder calorífico superior, base úmida, sem cinzas; L – liptinita, V- vitrinita, I – inertinita, Ro – poder refletor da vitrinita, modificado de Silva (2012).

4.5 Análises Imediatas, Químicas e Mineralógicas

4.5.1 Análises imediatas

As análises imediatas tem sido utilizadas em larga escala para caracterização dos carvões no ultimo século (Suarez-Ruiz & Crelling, 2008). Ela é compreendida por medidas dos teores de umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo. Por meio da análises imediata é possível obter a quantidade relativa de compostos orgânicos leves (matéria volátil) em contrapartida a matéria orgânica não volátil (carbono fixo), assim como determinar-se a quantidade de umidade contida na amostra de carvão e a quantidade de compostos inorgânicos deixados como resíduo de queima (teor de

cinzas). As análises foram realizadas no Laboratório de Análises e Ensaio da Mina Fontanella, da Carbonífera Metropolitana S.A., localizado no município de Treviso, SC.

4.5.1.1 *Percentual de Umidade*

Trata-se essencialmente da água contida na mesma, é determinado de acordo com a norma ABNT NBR 8293-83. Consiste na quantificação percentual da perda de peso em uma amostra de 1g, quando submetida a uma temperatura constante de 104-110°C durante o período de uma hora em uma estufa pré-aquecida, com a circulação de ar seco. O dado gerado é utilizado para se subtrair o efeito da água em outras análises e dessa forma, ter se um resultado em base seca. O procedimento consiste na colocação de 1g de amostras em um recipiente de vidro e após permanecer na estufa pelo período de uma hora, essa amostra é pesada novamente e calcula-se o teor de umidade através da equação:

$$\text{Percentual de Umidade} = [(A-B)/C] \times 100.$$

Sendo; “A” = soma da massa do recipiente de vidro com a amostra seca (peso depois do aquecimento), “B” é a massa do recipiente de vidro vazio e “C” é a massa da amostra utilizada antes da queima (1g).

4.5.1.2 *Percentual de Cinza*

É o resíduo resultante da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos sob rígido controle de massa, temperatura, tempo e atmosfera segundo a norma ABNT NBR 8289-83. Um cadinho de cerâmica é carregado com 1g de amostra, esse cadinho é levado ao forno mufla e 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 mantida uma taxa de fluxo de ar de 2-4 trocas 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:

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

Sendo; “A” = soma da massa do cadinho com os resíduos das cinzas (peso depois do aquecimento), “B” é a massa do cadinho vazio e “C” é a massa da amostra utilizada antes da queima (1g).

4.5.1.3 *Percentual de Matéria Volátil*

É o percentual de produtos gasosos liberados do carvão durante aquecimento na ausência do oxigênio, seguindo a norma ABNT NBR 8290-83. Para determinação, pesa-se 1g da amostra em um cadinho de cerâmica 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:

$$\text{Percentual de Perda de Peso} = [(A-B)/C] \times 100$$

Sendo; “A” = soma da massa do cadinho com os resíduos da amostra (peso depois do aquecimento), “B” é a massa do cadinho vazio e “C” é a massa da amostra utilizada antes da queima (1g).

Então o percentual de matéria volátil é dado pela expressão:

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

Onde “C” = % Perda de Peso. E “D” = % de Umidade anteriormente determinada.

4.5.1.4 *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:

$$\text{Percentual de Carbono Fixo} = 100 - (\% \text{ Umidade} + \% \text{ Cinza} + \% \text{ Matéria Volátil})$$

4.5.2 Poder calorífico superior

E a soma da energia libertada na forma de calor e da energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação em uma amostra. É mensurada em bomba calorimétrica segundo a norma ABNT NBR 8628-84 e expresso em cal/g, em uma base seca e livre de cinzas (d.a.f). Os valores de poder calorífico superior de uma determinada amostra de carvão dependem principalmente da composição maceral e do *rank* (Suarez-Ruiz & Crelling, 2008), assim como do conteúdo de cinzas, o qual pode influenciar significativamente o valor de poder calorífico.

O método baseia-se na combustão de uma amostra sob atmosfera de oxigênio em um aparelho chamado Bomba Calorimétrica, no qual um cilindro é colocado em uma quantidade de água conhecida e com uma temperatura pré-definida, posteriormente é monitorado o acréscimo da temperatura desse volume de 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) e expresso em cal/g. Para otimizar o processo de combustão, o cilindro (Figura 18) é preenchido com oxigênio puro (99,95%) em uma pressão de 30 bar.

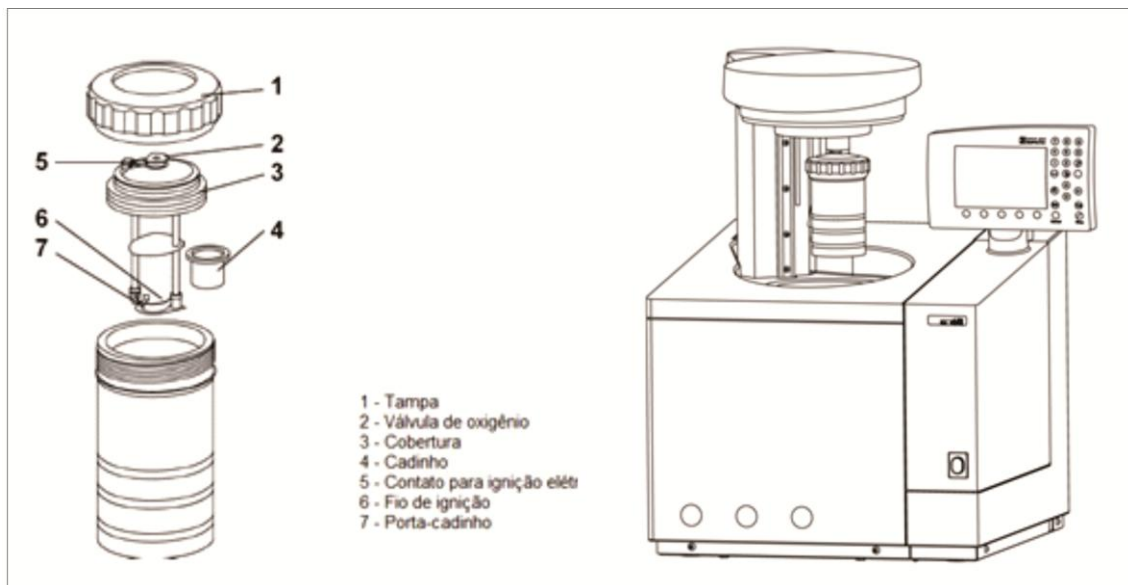


Figura 18: Partes do cilindro e bomba calorimétrica com o cilindro acoplado (modificado de IKA – WERKE, 2007).

O valor do poder calorífico de uma determinada amostra, é dado então pelo cálculo do acréscimo da temperatura da 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 benzoico.

m = massa da amostra.

ΔT = Aumento da temperatura durante a combustão da amostra.

4.5.3 Difractometria de raios-X

O 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 19). A relação entre o comprimento de onda do sinal de raios-x, (λ), o ângulo de difração, (2θ), e a distância entre cada conjunto de planos atômicos do reticulado cristalino, (d), é obtida pela equação de Bragg, $n\lambda = 2d\sin\theta$, 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 encontra-se pulverizado e será 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 27 amostras de carvão. O equipamento utilizado foi um Difractômetro SIEMENS 5000 do Instituto de Geociências da UFRGS.

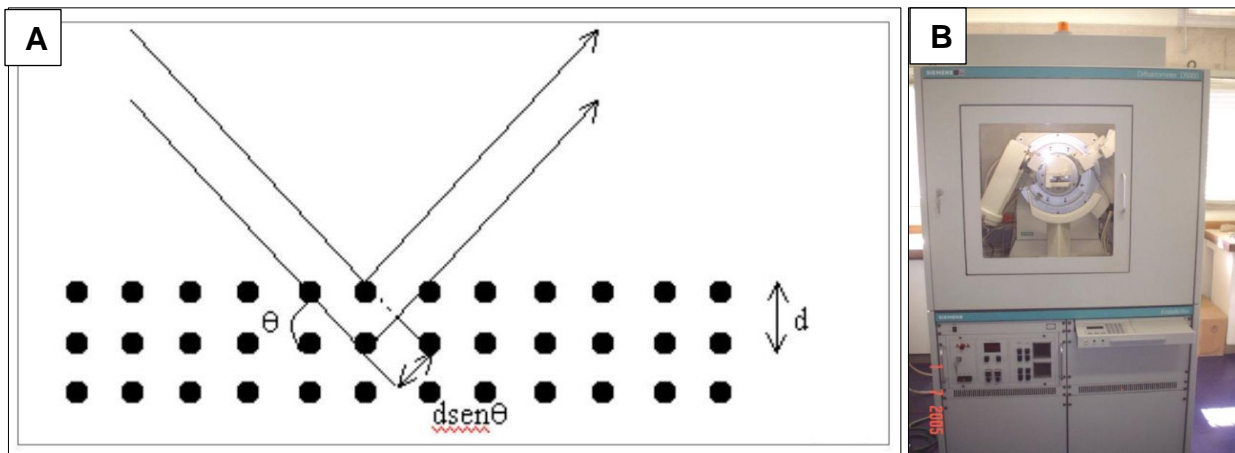


Figura 19: A - Incidência de um feixe de raios-x sobre um mineral (Skoog, 2002) e B- Difratorômetro SIEMENS 5000.

4.6 Beneficiamento gravimétrico – afunda-flutua

O procedimento de separação de uma amostra de carvão em frações densimétricas com limites definidos, usando líquidos de diferentes densidades, é conhecido como o ensaio de afunda-flutua. Esta é a técnica de laboratório mais útil no beneficiamento gravimétrico, encontrando diversas aplicações importantes (Sampaio e Tavares, 2005).

Em essência, o procedimento consiste na introdução de uma amostra representativa de carvão previamente pesada, em um recipiente contendo um líquido de densidade conhecida, na separação das frações flutuada e afundada, seguida de coleta e introdução sucessiva do produto afundado em líquidos com valores de densidades pré-conhecidos e superiores ao anterior. Após cada estágio de separação, ambas as frações, afundada e flutuada (Figura 20), devem ser lavadas com um solvente adequado, a fim de permitir a remoção do filme de líquido denso aderido a amostra. Uma vez realizada a separação, as amostras devem ser secas, pesadas e analisadas.

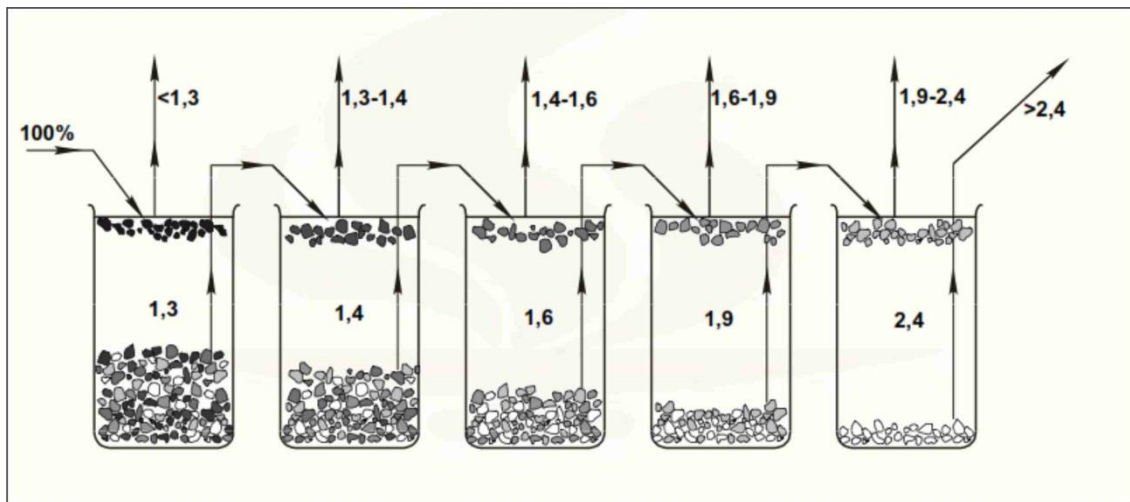


Figura 20: Exemplo de procedimento sequencial de análise densimétrica apresentado por Sampaio e Tavares (2005), valores em g/cm^3 .

Segundo Sampaio e Tavares (2005), diversas representações gráficas existem para os resultados de ensaios de afunda-flutua. As curvas mais frequentemente usadas, também conhecidas como curvas de Henry-Reinhardt são: curva densimétrica, curva de flutuados e afundados.

No presente trabalho foi utilizada uma adaptação da técnica de Sampaio e Tavares (2005) apresentado na Figura 20, onde foram utilizados líquidos com as seguintes densidades; 1,5, 1,6 e $2,0\text{g/cm}^3$, gerando-se sempre dois cortes densimétricos, um de baixa densidade 1,5 ou $1,6\text{g/cm}^3$, há depender da característica do carvão e outro de densidade mais elevada $2,0\text{g/cm}^3$. Produzindo-se sempre três subamostras, uma porção abaixo da menor densidade, outra intermediária entre as duas densidades e uma terceira superior ao líquido mais denso.

Estas densidades foram obtidas pela mistura dos diferentes líquidos orgânicos densos: Benzeno (xilol) - $0,9\text{g/cm}^3$, percloroetileno - $1,6\text{g/cm}^3$ e bromofórmio - $2,9\text{g/cm}^3$.

5 Carta de Submissão

O artigo foi submetido à revista *Pesquisas em Geociências*, extrato B2 da Qualis CAPES, de modo a preencher o requisito da Norma 103.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 29 de janeiro de 2016.

Ao
Gustavo Simão

Venho comunicar o **recebimento** do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição.

O manuscrito será analisado quanto ao escopo, conteúdo e enquadramento nas normas de preparação da revista, para posterior início do processo de análise por pares.

Título: *O carvão da jazida de Morungava-RS; caracterização petrográfica, química e tecnológica do poço de exploração CBM 001-MO-RS.*

Autores: Gustavo Simão & Wolfgang Kalkreuth.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

6 Artigo

O carvão da Jazida de Morungava-RS: Caracterização petrográfica, química e tecnológica das camadas de carvão do poço de exploração CBM 001-MO-RS.

The coal-bearing strata of the Morungava coalfield, RS/Brazil: Petrographic, chemistry and technological characterization of coal seams from borehole CBM 001-MO-RS.

Gustavo SIMÃO¹ & Wolfgang KALKREUTH²

- (¹) Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: simao.geologia@gmail.com.
- (²) Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: wolfgang.kalkreuth@ufrgs.br.

Resumo. Considerando a crescente demanda por energia e tendo em vista uma matriz diversificada, faz-se necessário o estudo das jazidas carboníferas não exploradas, como a Jazida de Morungava, onde as últimas pesquisas datam da década de 1980. A jazida situa-se no nordeste do Rio Grande do Sul, com cerca de 250km². Realizou-se um poço exploratório para estudar o carvão, e avaliar a economicidade da jazida, por meio de caracterização petrográfica, química e tecnológica das camadas obtidas no poço CBM 001-MO-RS, que atingiu a profundidade de 387,70m, uma espessura cumulativa de carvão de 9,22m. Identificou-se 6 camadas de carvão, onde obteve-se as 27 amostras. Para caracterizar as amostras, realizou-se: descrições de litotipos do carvão, refletância da vitrinita, contagem de macerais, análises imediatas, poder calorífico superior, enxofre total, difração de raios-X e teste de beneficiamento. O litotipo carvão fosco é predominante nas amostras, com um *rank* variando de carvão betuminoso alto volátil A à antracito, as amostras, estão afetadas progressivamente por intrusão vulcânica sotoposta. O grupo maceral vitrinita predomina nos carvões na porção inferior, enquanto inertinita predomina na superior. Matéria mineral apresenta uma tendência de aumento da base para o topo. Os carvões apresentaram altos teores de cinza (>50% m.b.s.), matéria volátil (6,04-30,69% m.b.s), enxofre (0,20-2,88% m) e poder calorífico superior (777-4.732Kcal/Kg). Ocorre um predomínio mineralógico de quartzo, caulinita, e illita. A maioria das camadas são classificadas como rocha carbonosa (>50% cinza/b.s.). Em ensaios de beneficiamento foi observado um baixo rendimento (<7% vol.), na obtenção de produtos nobres.

Palavras-chave: Bacia do Paraná, Jazida de Morungava, caracterização de carvão, petrologia, química, beneficiamento de carvão.

Abstract. Considering the growing demand for energy and with a view to a diverse energy matrix, it is necessary to study the coal deposits not or little exploited, such as the Morungava coalfield, where the latest research is dating back to the 1980s. The Coalfield is located in the northeast of Rio Grande do Sul State, Brazil. The present study characterizes coal seams obtained from borehole CBM 001-MO-RS, which reached a depth of 387,70 m. 6 coal seams were identified, with a cumulative coal thickness of 9,22 m, from which 27 coal samples were taken for analyses. The following methods were applied: lithotype description, vitrinite reflectance measurement, maceral analyses, proximate analysis, calorific value analysis, sulphur determination, x-ray diffraction and beneficiation tests. The lithotype dull coal is prevalent in the samples. Coal rank ranges from high volatile bituminous A coal to anthracite, with samples progressively affected by an overlying volcanic intrusion. The vitrinite maceral group dominates the coals in the lower portion, whereas inertinite prevails at the top. The coals show high ash content (> 40 wt.% d.f.). Volatile matter ranges from 6.04 to 30.69 wt.% d.f., sulfur ranges from 0.20 to 2.88 wt.%, and gross calorific values range from 777 - 4732 Kcal/kg). There is a predominance of quartz, kaolinite and illite in the mineral fraction. Beneficiation tests indicate a very low yield in better quality, low ash coal. Most of the coal seams are classified as carbonaceous rock (> 50% Ash/d.f.).

Keywords: Brazil, Paraná Basin, Morungava coalfield, coal characterization, petrology, chemistry, coal beneficiation

1 Introdução

O carvão, em escala mundial, quando comparado a outras fontes energéticas, é o combustível fóssil mais abundante, com reservas provadas da ordem de 847,5 bilhões de toneladas, quantidade suficiente para atender a produção atual por 130 anos (ANEEL, 2008).

Além da oferta farta e pulverizada, com reservas bem distribuídas geograficamente, o comportamento dos preços é outra vantagem competitiva. As cotações do petróleo e derivados têm se caracterizado pela extrema volatilidade. No caso da *commodity* carvão, no entanto, registraram-se movimentos suaves ao longo dos últimos dez anos (ANEEL, 2008).

Segundo dados da *International Energy Agency (2010)*, referentes à geração de energia elétrica em escala global, o carvão apresenta um dos mais baixos custos, menor risco de variações de preço e de interrupção de suprimento, além de ganhos de eficiência nas usinas termelétricas com o uso de tecnologias limpas.

Os recursos identificados de carvão no Brasil, considerando reservas medidas e inferidas, ultrapassam 32 bilhões de toneladas (EPE, 2015), e estão contidos na sucessão de rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná. Estas reservas estão situadas, principalmente, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e, em menor porcentagem no Paraná e São Paulo.

As camadas de carvão das jazidas sul-brasileiras são parte constituinte da Formação Rio Bonito, situada estratigraficamente na sequência *Gondwana I*, do pacote de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, de idade Permiana (Milani *et al.*, 2007). A parte preponderante das jazidas, apresenta linhas de afloramento das suas camadas de carvão, relacionadas à borda erosiva leste da Bacia do Paraná e mergulham sob as unidades sedimentares e vulcânicas sobrepostas da referida bacia. As exceções são as porções leste da Jazida de Morungava/Chico Lomã, sul da Jazida Sul-Catarinense e a totalidade da Jazida Santa Terezinha, que se encontram sob a cobertura de sedimentos Cenozoicos da Planície Costeira (Gomes, *et al.*, 1998).

Considerando a crescente demanda por energia no país, em contrapartida a uma disponibilidade cada vez menor de áreas para o aproveitamento hídrico, assim como, com as energias renováveis mostrando vulnerabilidade ante as flutuações climáticas e alto custo de instalação (Simão, 2012). O carvão, por meio de tecnologias limpas, se faz presente em um cenário de uma matriz energética diversificada, segura e sustentável em longo prazo.

Para tanto, faz-se necessário o estudo das jazidas carboníferas ainda não exploradas. A Jazida de Morungava se enquadra neste cenário, por tratar-se de uma reserva fóssil nunca explorada comercialmente, e na qual as últimas pesquisas exploratórias datam da década de 1980.

Dentro deste contexto, foi realizado um novo poço exploratório na Jazida de Morungava, buscando, munido de tecnologias indisponíveis nas pesquisas realizadas em tempos pretéritos, melhor caracterizar o carvão da Jazida de Morungava, assim como avaliar a sua viabilidade econômica para produção de carvão e gás natural.

O presente trabalho trata-se da publicação de dados inéditos, tendo como objetivo a produção de conhecimento científico e avaliação de viabilidade econômica dos intervalos carbonosos, obtidas através do poço exploratório CBM 001-MO-RS, realizado entre os dias 30/11/2011 a 13/02/2012, no município de Gravataí-RS.

Este estudo, traz também um caráter pioneiro dentro dos estudos de carvões nacionais. Onde a influência térmica causada por uma intrusão ígnea, gerou ao longo do perfil carbonoso, uma alteração gradativa do grau de carbonificação dos carvões.

Para fins de avaliação da economicidade dos carvões da jazida, serão realizados testes de beneficiamento, os quais visam à redução dos teores de cinzas e enxofre nas camadas de carvão, e um incremento do teor de matéria orgânica, assim como, um aumento do poder calorífico. Os testes de beneficiamento são normalmente realizados por ensaios de afunda-flutua, utilizando-se uma série de diferentes níveis de densidade, e ajudam a estimar a separabilidade da matéria orgânica do carvão no processo de concentração por gravidade (Simão, 2015).

O trabalho foi realizado por meio de um estudo integrado, abrangendo aspectos geológicos, propriedades petrográficas, química, físico-químicas e de características de beneficiamento de amostras de carvão.

2 Área de estudo, materiais e métodos

2.1 Localização da Área de Estudo

A Jazida de Morungava está localizada próxima à margem atlântica brasileira, na porção nordeste do Rio Grande do Sul, e estende-se longitudinalmente em direção ao litoral norte do estado (Fig.1).

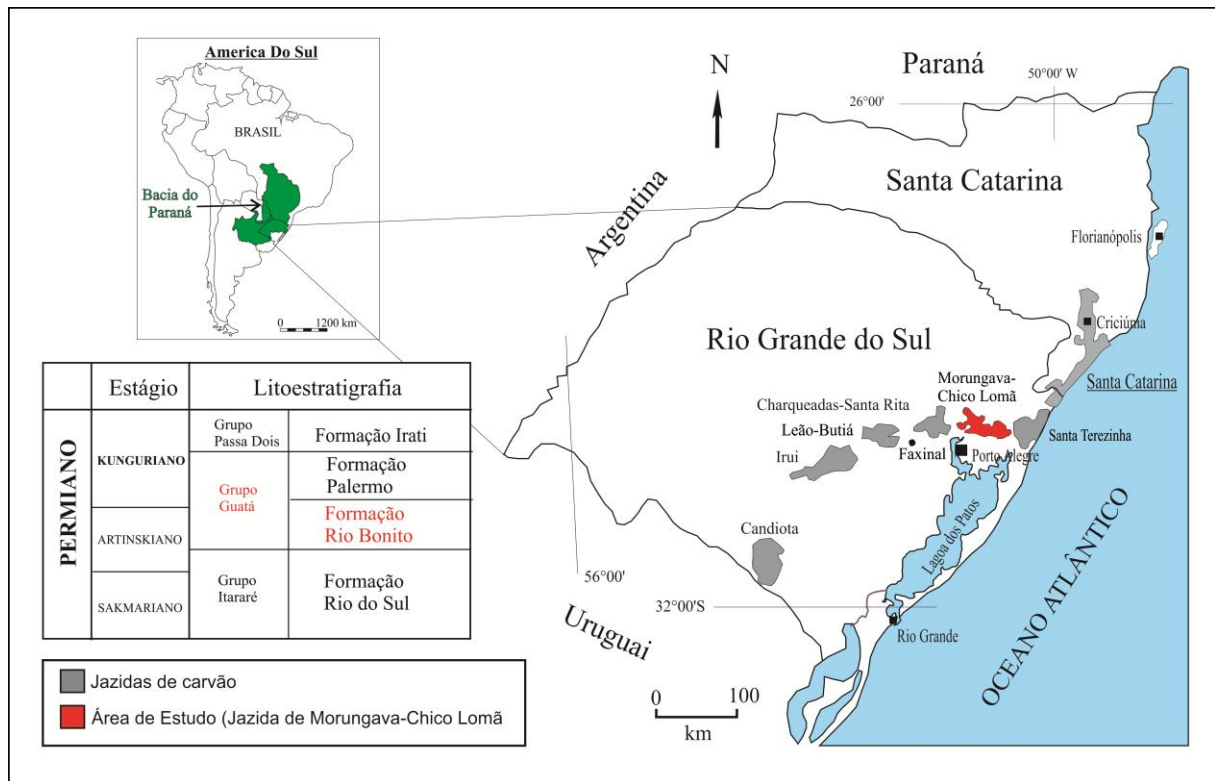


Figura 1. Localização da Bacia do Paraná, ressaltando a distribuição das jazidas de carvão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina com destaque em vermelho para a Jazida de Morungava, no quadro interno destaca-se a lito-estratigrafia, da Formação Rio Bonito (modificado de Kalkreuth *et al.*, 2006).

Figure 1. Paraná Basin Location Map, shows the distribution of the coalfields in the Rio Grande do Sul and Santa Catarina States, highlighted in red to Morungava-Chico Lomã coalfield. Emphasis in the internal box to lithostratigraphy of the Rio Bonito Formation (modified from Kalkreuth *et al.*, 2006).

As áreas com reservas econômicas de carvão da Jazida de Morungava abrangem uma extensão de aproximadamente 1.200km² (Ferreira *et al.*, 1978). No Projeto Carvão do Rio Grande do Sul, Ferreira *et al.* (1978), dividiram a porção principal da jazida em dois blocos: Bloco Norte (dá o nome a Jazida de Morungava) e Bloco Sul (Barro Vermelho) (Fig. 2). Existem mais 2 blocos considerados isolados por Ferreira *et al.* (1978), denominados Gravataí Leste e Gravataí Oeste, sendo que, no trabalho de Zanini & Pimentel (2006), o bloco leste aparece interligado ao corpo principal da jazida (Fig. 2). Quanto à cobertura, o bloco norte apresenta até 450m, enquanto o Bloco Sul apresenta em média 100m de espessura.

No presente trabalho, foi utilizada a delimitação da Jazida de Morungava/Chico Lomã de Zanini & Pimentel (2006), na qual as jazidas de Morungava e Chico Lomã são apresentadas de forma indivisa (Fig. 2). Cabe salientar que os limites dessas jazidas, ou mesmo a divisão entre as mesmas, carecem de trabalhos confirmatórios, sendo que parte deles é considerado duvidoso ou completamente em aberto.

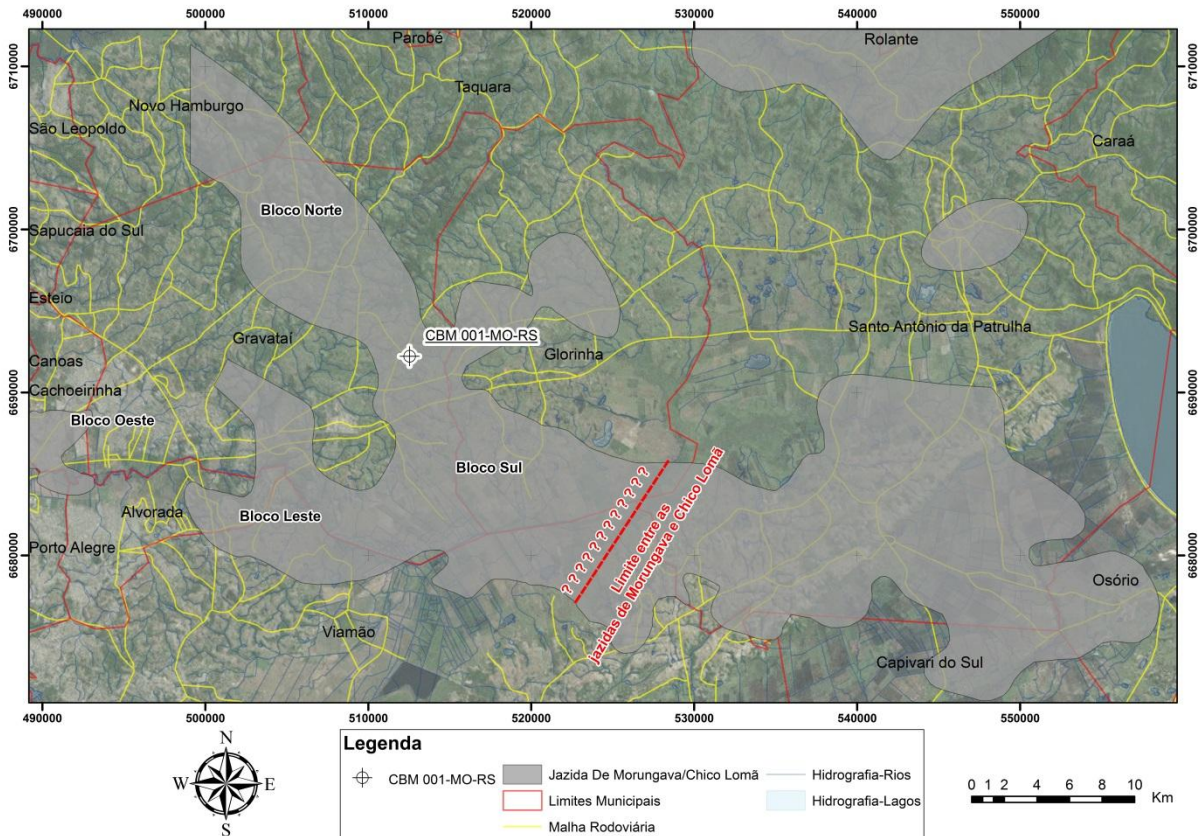


Figura 2. Localização do poço de exploração CBM 001-MO-RS na Jazida de Morungava, apresentando delimitação da Jazida de Morungava/Chico Lomã modificado de Zanini & Pimentel (2006) e Suffert (1997).

Figure 2. Location of the exploration well CBM 001-MO-RS in the Morungava coalfield, showing Morungava/Chico Lomã coalfield, modified from Zanini & Pimentel (2006) e Suffert (1997).

2.2 Contexto Geológico da área

A área de estudo encontra-se inserida nos domínios geomorfológicos da Planície Costeira e da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. Os altos do embasamento, representando

o domínio do Escudo Sul Rio-grandense, podem ser observados circundados pela Jazida de Morungava, nas proximidades da área urbana de Gravataí, demonstrando o forte controle estrutural da sedimentação gondwânica inferior, que preenchia vales e depressões. Observa-se bem definido um paleovale denominado de “paleovale de Morungava” por Bossi & Picolli (1979).

As camadas de carvão da Jazida de Morungava estão contidas no contexto geológico da borda sul da Bacia do Paraná, que constitui uma grande bacia intracratônica disposta na parte central-leste da Plataforma Sul-Americana, e corresponde à unidade geotectônica do sudoeste do Supercontinente Gondwana (Kalkreuth *et al.*, 2010).

Com uma área total de 1.500.000km² (Milani, 2000), a Bacia do Paraná ocupa cerca de 1.000.000km² no território brasileiro (Schneider *et al.*, 1974), abrangendo partes dos territórios dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O seu registro estratigráfico compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno de 7km em seu depocentro. O conjunto de rochas sedimentares e vulcânicas que constitui a Bacia do Paraná, foi originado pela superposição de sequências depositadas em diferentes ambientes tectônicos, decorrentes da dinâmica de placas atuante na evolução do Gondwana, (Zalán *et al.*, 1990).

O preenchimento sedimentar da bacia foi dividido em seis sequências deposicionais. Os estratos onde o carvão ocorre correspondem à unidade litoestratigráfica denominada de Formação Rio Bonito, do Grupo Guatá (Schneider *et al.*, 1974), localizada no topo da segunda sequência do *Gondwana I* (Carbonífera/Triássico Inferior), que constitui espessas sequências sedimentares, atingindo 2.800 m no depocentro da bacia (Milani *et al.*, 2007). Os sedimentos da Formação Rio Bonito foram depositados no intervalo Sakmariano/*Artinskiano*, do Permiano Inferior. As camadas de carvão têm características que são indicativas de uma origem límnico-telmática, onde o material acumulado é constituído por pteridófitas e plantas herbáceas (*Glossopteris* e *Gangamopteris*), acumuladas depois de algum transporte, resultando em camadas de carvão hipoa autóctones, ricas em inertinita (Corrêa da Silva. 2004).

Segundo Bortoluzzi *et al.*, (1980), a jazida de Morungava apresenta em geral 7 camadas e alguns leitos de carvão. As camadas 1 a 6 encontram-se na porção superior da Formação Rio Bonito enquanto que a camada 7 está na porção basal da mesma formação. O pacote carbonoso das camadas 1 a 6 apresenta aproximadamente 21m e aparecem aproximadamente a 35m abaixo do contato entre as formações Palermo/Rio Bonito, já o pacote contendo a camada 7 é muitas

vezes relacionado com as rochas do Grupo Itararé, descontínuo, com espessura centimétrica, aparecendo intercalado com rochas de granulometria mais grosseira. Na área da Jazida de Morungava, a Formação Rio Bonito, está em muitos casos, em contato direto com o embasamento cristalino.

2.3 Metodologia

2.3.1 Locação e execução do poço exploratório CBM 001-MO-RS

A escolha do local, a ser implementado o poço exploratório CBM 001-MO-RS, foi efetuada baseando-se na interpretação de informações obtidas de 43 poços pré-existentes na área de estudo, realizados pelo Serviço Geológico Brasileiro – CPRM e Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, dentro dos projetos: Carvão do Rio Grande do Sul e Projeto Gravataí-Torres, nas décadas de 1970 e 1980.

Partindo das informações contidas nos 43 poços, foi gerado um banco de dados, que serviu de subsídio para a geração de mapas de isolinhas, gerados por interpolação de resultados das análises estatísticas das informações pertinentes ao desenvolvimento do trabalho como: espessura das camadas de carvão, espessura cumulativa das camadas de carvão, profundidade da primeira camada de carvão, além de mapas de cobertura de material inconsolidado e profundidade do embasamento cristalino.

A localização do poço exploratório levou em consideração principalmente os mapas de espessura cumulativa de carvão e profundidade da primeira camada de carvão (Fig.3). A análise foi realizada desta forma, tendo em vista que os alvos iniciais do trabalho eram avaliar as camadas de carvão quanto a suas características, potencial econômico e seu potencial para presença de metano adsorvido, o CBM (*coalbed Methane*), necessitando dessa forma, de coberturas superiores a 300m, que possibilitassem o *trap* do gás contido na microporosidade do carvão.

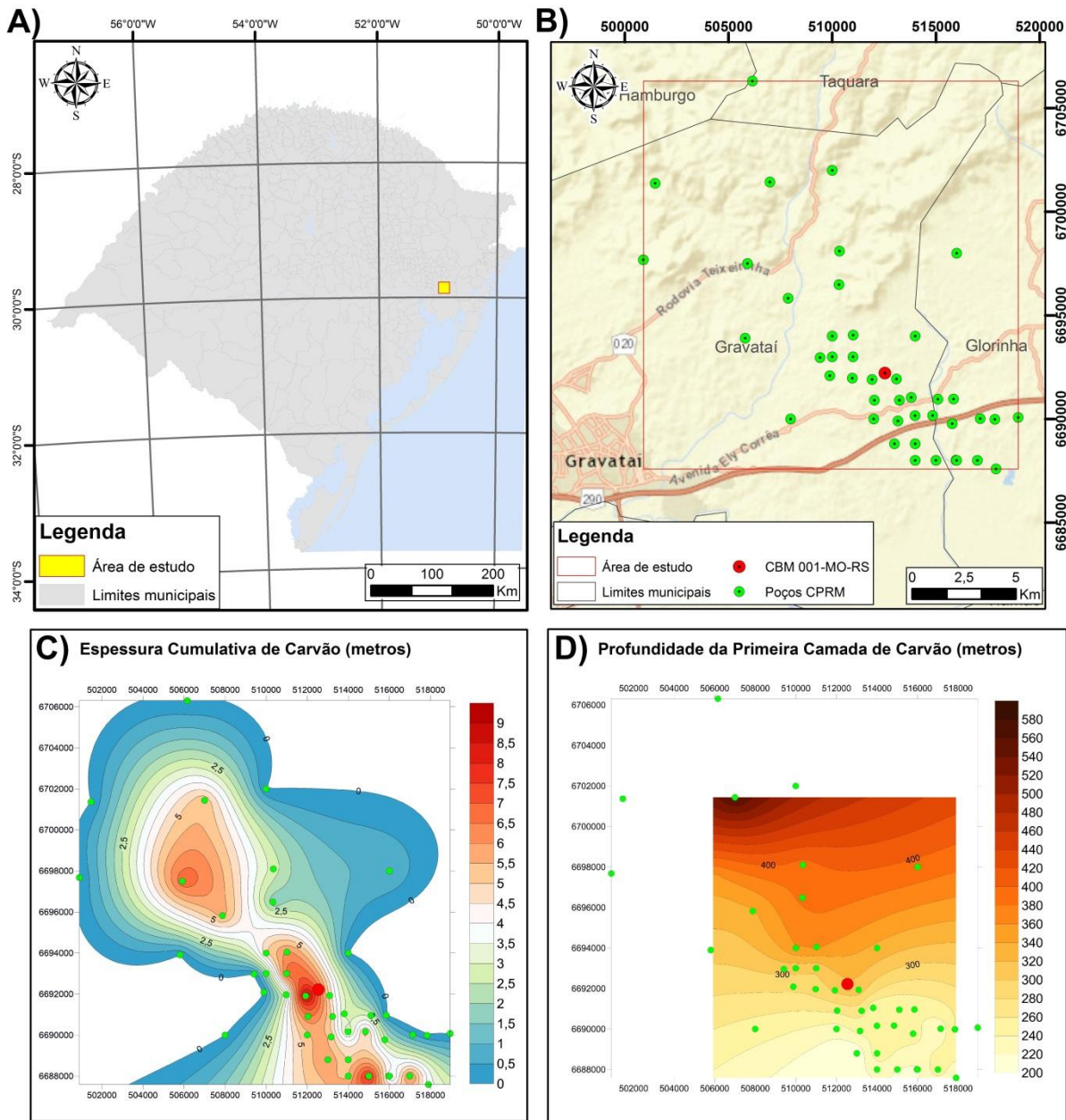


Figura 3. Localização da área de estudo: A – Área de estudo em relação ao estado do Rio Grande do Sul; B – Localização dos poços da CPRM (verde) utilizados para compor o banco de dados do modelamento e em vermelho a localização do poço CBM 001-MO-RS; C-Mapa de isolinhas da espessura cumulativa de carvão e D – Mapa de isolinhas da profundidade de aparecimento da primeira camada de carvão.

Figure 3. Location map of the study area: A- study area in relation of Rio Grande do Sul State; B- Location of wells CPRM (green) used to compose the database modeling and red the well location CBM 001-MO-RS; C-Map isolines cumulative thickness of coal and D - isolines map the depth of appearance of the first coalbed.

Após a definição do local à ser implementada a sondagem, os trabalhos de execução do poço CBM 001-MO-RS iniciaram-se no dia 30 de novembro de 2011, encerrando-se na data de 13 de fevereiro de 2012. O trabalho foi realizado pela empresa SONDAP Sondagens e Perfurações Especiais Ltda. O método utilizado para a execução foi o *Wireline core retrieval*, rotativo em diamante, a um diâmetro é de 47mm, retirados em barriletes de 3m de comprimento.

O poço exploratório CBM 001-MO-RS, de onde foram obtidas as amostras do presente estudo, foi empreendido até a profundidade de 387,30m (Fig. 4A), sendo amostrado por testemunhos de sondagem no diâmetro de 47mm. O poço apresenta a localização nas coordenadas UTM em SIRGAS 2000 (E 512.538,55m/ N 6.692.221,23m), sendo que o local da boca do poço encontra-se na cota altimétrica de 63,453m.

2.3.2 Amostragem e Preparação

As amostras de carvão foram preparadas de forma a manter a representatividade e qualidade das análises. Para tanto, passaram por catalogação, secagem ($\leq 40^{\circ}\text{C}$) e corte dos testemunhos ao meio, onde metade foi guardada para trabalhos futuros. A metade do testemunho destinada aos trabalhos de caracterização foi dividida em duas porções, destinadas à diferentes análises.

A porção utilizada passou por preparação conforme a norma (ASTM D-2013), que consiste na britagem em um britador do tipo mandíbula e seguida por homogeneização por peneiramento na malha $< 4,75\text{mm}$. Cada uma das amostras foi então quarteada em subamostras, destinadas a análises imediatas, poder calorífico superior e enxofre total (tamanho de grão menor que 200 mesh) e análises petrográficas (tamanho de grão entre 0,25-0,80mm), para fins de confecção de seções polidas.

A outra porção do testemunho foi destinada aos ensaios de beneficiamento gravimétrico por meio de ensaios com líquidos densos. Tais amostras passaram por britagem, com homogeneização por peneiramento na malha $< 12,8\text{mm}$ conforme a metodologia descrita na norma ABNT NBR 8738-1995. Os produtos obtidos a partir dos ensaios passaram pelas mesmas metodologias descritas anteriormente, tendo em vista a realização de análises imediatas, poder calorífico e petrográficas.

2.3.3 Análise Petrológica do Carvão

A descrição dos litotipos do carvão foi realizada no momento entre o corte dos testemunhos em duas porções e a britagem, e se baseou na metodologia de classificação entre carvão fosco e brilhando descrita em Diessel (1965) (Quadro 1). A preparação das amostras para as análises óticas foi feita de acordo com os procedimentos padronizados por Bustin *et al.* (1983). Como preconizado por Marchioni & Kalkreuth (1991), pode existir uma relação direta entre o conteúdo de litotipos brilhantes e o conteúdo de vitrinita, igualmente como conteúdo de inertinita e matéria mineral tendem a aumentar com a diminuição dos componentes brilhantes.

O grau de carbonificação (*rank*) das amostras de carvão foi determinado através das medidas do poder refletor da vitrinita (ISO 7405-5/2009) e a classificação, segundo a norma para classificação de carvão (UN-ECE, 1998). Como a norma (UN-ECE, 1998), trabalha com preceitos analíticos internacionais e as análises imediatas foram realizadas segundo as normas técnicas da ABNT, foi realizada uma leitura comparativa das mesmas, onde ficou evidenciado que a utilização de tais resultados na classificação não causaria distorção nos resultados.

A determinação dos grupos macerais, sua distinção, e o conteúdo de matéria mineral, seguiram as metodologias da norma ISO 7405-3/2009, ICCP 1998 e ICCP 2001. Os resultados das análises petrográficas são expressos em porcentagem em volume.

Quadro 1. Classificação dos litotipos (Stopes, 1919) e (Diessel, 1965).

Chart. Lithotypes classification (Stopes, 1919) and (Diessel, 1965).

Stopes	Diessel (1965)	Descrição
Vitrênio	Brilhante (B)	Brilho vítreo a subvítreo, fratura conchoidal; frágil; até 10% de bandas de carvão fosco.
Clarênio	Bandado Brilhante (BB)	Brilhante, com bandas de carvão fosco que podem variar entre 10-40%.
	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 a 40%.
	Carvão Fosco (D)	Fosco e não fraturado, podendo conter até 10% de carvão brilhante.
Fusênio	Carvão Fibroso (F)	Friável.

2.3.4 Análises Imediatas, químicas e mineralógicas

As análises imediatas, onde determinou-se os teores de umidade, cinzas, matéria volátil, foram realizados segundo as normas ABNT NBR 8293, NBR 8289 e NBR 8290 respectivamente, enquanto o carbono fixo foi determinado a partir da diferença entre a soma dos valores de cinza, umidade e matéria volátil e 100%. O conteúdo de enxofre total foi determinado segundo a norma ABNT NBR 8295.

O poder calorífico superior foi determinado em bomba calorimétrica segundo a norma ABNT - NBR 8628 e expressado em Kcal/Kg. Cabe ressaltar, que o termo poder calorífico superior, se refere a um resultado em base úmida e incluída a cinza. Tendo em vista que a norma CEE-UM (1998), utiliza como unidade de poder calorífico MJ/Kg em base úmida e livre de cinza. Para as 27 amostras do trabalho foram realizadas conversões e os valores estão apresentados em ambas às unidades.

A Difractometria de Raios-X, por meio do método de escaneamento de amostras pulverizadas à uma granulometria menor que 200 mesh, foi utilizada para identificação das fases minerais da fração inorgânica.

2.3.5 Ensaios de Beneficiamento Gravimétrico (afunda-flutua)

Foram individualizadas seis amostras das camadas de carvão (B, C, D, E, F superior e F inferior), respeitando-se a correlação de camadas apresentada na figura 4B.

Estas amostras de camadas de carvão passaram por ensaios de afunda-flutua em líquidos densos, obtidos através de misturas entre os líquidos xilol, percloroetileno e bromofórmio, com as densidades de corte 1,5, 1,6 e 2,0 g/cm³. Tais densidades de líquidos obtiveram como resultado a separação em frações densimétricas do carvão, no intervalo granulométrico de 12,8-1,0mm, segundo a ABNT NBR 8738/1995. As frações densimétricas resultantes do processo foram submetidas a análises imediatas, determinação do poder calorífico e determinação do *rank* do carvão através de medidas do poder refletor da vitrinita.

3. Resultados e discussões

3.1 Descrição Litológica do poço CBM 001-MO-RS

A perfuração, ao longo de seu desenvolvimento exploratório, interceptou inicialmente sedimentos inconsolidados recentes, por aproximadamente 30m (Fig. 4A). Após essa profundidade, atingiu-se o substrato rochoso, perfazendo-se as Formações Botucatu, Rio do Rasto, Estrada Nova, Irati, Palermo e Rio Bonito. As litologias associadas à Formação Rio Bonito foram encontradas a partir da profundidade de 300,00m e se estenderam até a profundidade de 385,76m, onde encontravam-se em contato direto sobre o embasamento cristalino (Fig. 4A). Ao longo da perfuração, foram observadas 5 intrusões ígneas, uma delas muito próxima ao intervalo carbonoso, entre as profundidades de 312,60 a 331,82m. Este pacote ígneo intrusivo foi descrito macroscopicamente como uma rocha ígnea, de coloração escura, apresentando aspecto equigranular fina, com cristais de plagioclásio envoltos em matriz afanítica escura, identificando a rocha como diabásio. Devido à sondagem tratar-se de uma amostragem pontual, fica inviabilizada a determinação da geometria de tal pacote ígneo.

Foram identificadas 5 camadas de carvão e um leito carbonoso, sendo definido como tal por apresentar espessura inferior a 20cm, (Fig. 4B), destes intervalos foram obtidas as 27 amostras (Fig. 4C) estudadas no presente trabalho.

A identificação das amostras, profundidades de topo e base, espessura, espessura da camada total e nomenclatura das camadas são apresentadas na tabela 1.

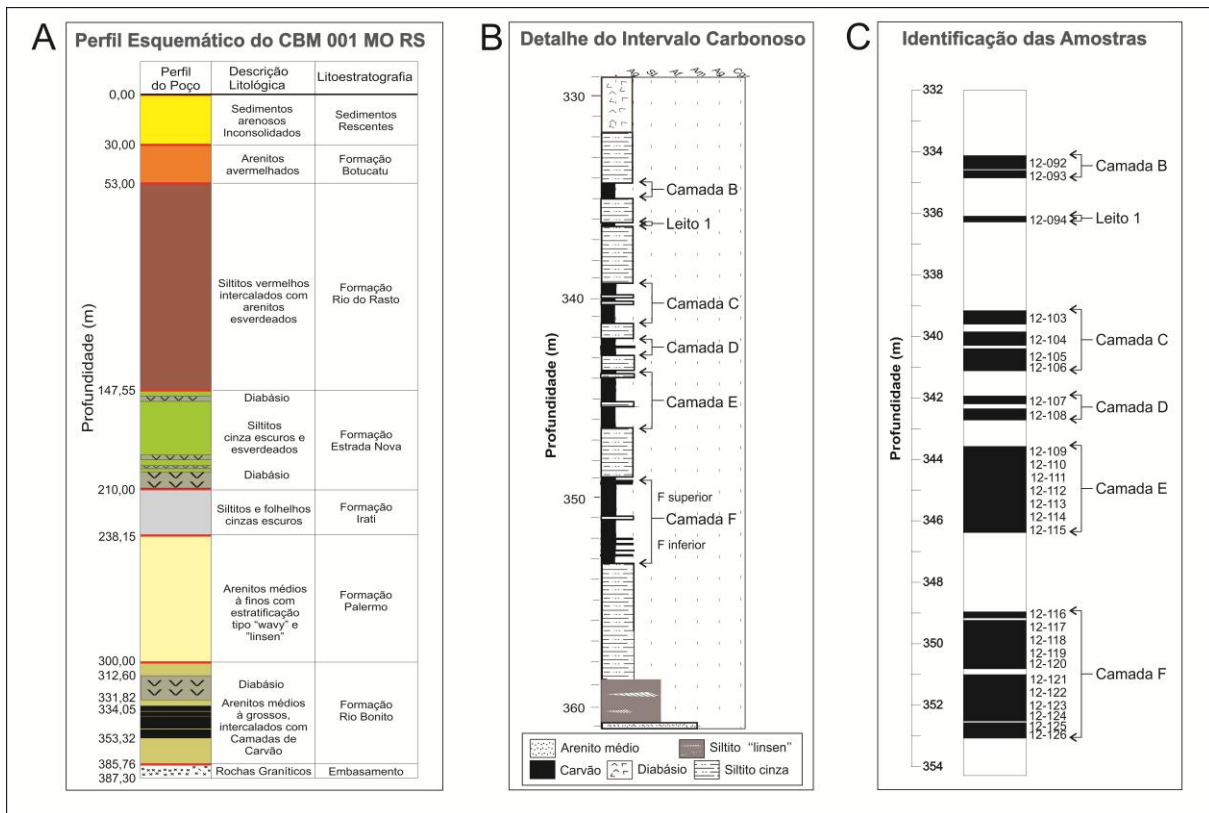


Figura 4. Perfil litológico da sondagem CBM 001-MO-RS: A - Perfil esquemático descritivo do poço exploratório CBM 001-MO-RS; B – Detalhe do intervalo carbonoso; C- Perfil esquemático de detalhe do intervalo carbonoso, indicando os intervalos amostrados e suas respectivas identificações.

Figure 4. Lithological profile of well CBM 001-MO-RS; A- schematic profile of well CBM 001-MO-RS; B- detail coal bearing interval; C - Schematic profile detail of the carbon interval, indicating the sampled intervals and their respective IDs.

Tabela 1. Identificação da amostra, profundidade (topo e base do intervalo), espessura das amostras.

Table 1. Identification of the sample, depth (top and base coal sequence), tickness of the coalbed.

CBM 001-MO-RS					
Camada	Amostras#	Profundidade		Espessura (m)	Espessura Total (m)
		Topo (m)	Base (m)		
B	12-092	334,12	334,56	0,44	0,69
	12-093	334,60	334,85	0,25	
L1	12-094	336,09	336,27	0,18	0,18
C	12-103	339,16	339,61	0,45	1,63
	12-104	339,85	340,30	0,45	
	12-105	340,40	340,85	0,45	
	12-106	340,85	341,13	0,28	
D	12-107	341,93	342,20	0,27	0,66
	12-108	342,35	342,74	0,39	
E	12-109	343,57	344,02	0,45	2,81
	12-110	344,02	344,24	0,22	
	12-111	344,24	344,47	0,23	
	12-112	344,47	344,92	0,45	
	12-113	344,92	345,38	0,46	
	12-114	345,38	345,88	0,50	
	12-115	345,88	346,38	0,50	
	12-116	348,96	349,16	0,20	
	12-117	349,23	349,68	0,45	
F	12-118	349,68	350,05	0,37	3,80
	12-119	350,05	350,42	0,37	
	12-120	350,42	350,81	0,39	
	12-121	350,99	351,33	0,34	
	12-122	351,33	351,67	0,34	
	12-123	351,67	352,12	0,45	
	12-124	352,12	352,51	0,39	
	12-125	352,57	352,82	0,25	
	12-126	352,82	353,07	0,25	

3.2 Descrição de Litotipos

Anteriormente a coleta das amostras, realizou-se a descrição dos litotipos do carvão no poço CBM 001-MO-RS (Fig. 5).

Ao longo de todo o intervalo carbonoso (Fig. 5), carvão fosco (D) com 34,1% foi o litotipo predominante, seguido dos litotipos carvão fosco bandado (BD) com 24,3%, carvão

bandado (BC) com 16,5%, carvão bandado brilhante (BB) com 9,3% e carvão brilhante (B), com apenas 0,3%. Faz-se importante destacar a presença significativa de siltito, representando 15,1% do perfil das amostras e pirita com uma presença de 0,4% (Fig. 5). As camadas de carvão em alguns casos apresentam lâminas de pirita milimétricas e que não foram passíveis de representação na figura 5, assim como fraturas preenchidas por carbonato, o qual ocorre mais significativamente nas porções superiores do perfil carbonoso.

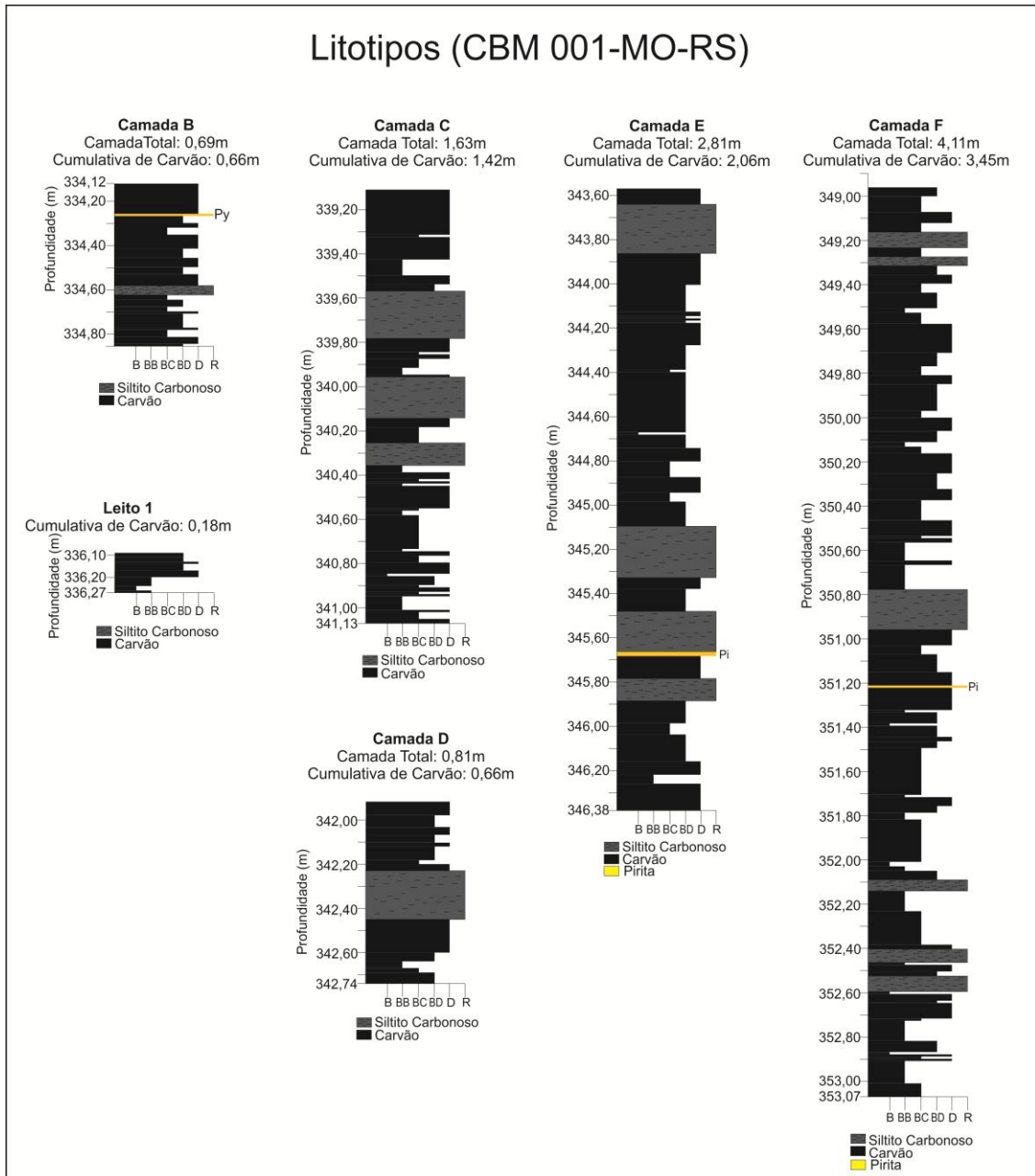


Figura 5. Descrição dos litotipos de carvão, segundo a classificação simplificada de Diessel (1965), por camada no poço exploratório CBM 001-MO-RS. B – brilhante; BB – bandado brilhante; BC – carvão bandado; BD – carvão fosco bandado; D – carvão fosco; R – rocha.

Figure 5. Description of coal lithotypes, according to the simplified classification of Diessel (1965), for coalbed exploration well in CBM 001-MO-RS. B- bright; BB-banded bright, BC-banded coal, BD- banded dull, D-dull.

3.3 Refletância da Vitrinita

Os valores de refletância da vitrinita mostram uma grande variação ao longo do intervalo carbonoso, desde 0,61 Rr% para a amostra na base da camada F, até um valor de 4,52 Rr% na amostra L1, (Tab. 2). O que pode-se observar, é um aumento progressivo dos valores de refletância da vitrinita no sentido da base para o topo do perfil, em direção à intrusão vulcânica, localizada acima do intervalo carbonoso (Fig. 4A e 4B), o qual apresenta uma alta correlação de incremento exponencial ao longo do perfil (Fig. 6).

Todas as camadas mostram uma significativa variação em nível da refletância, mostrando um decréscimo dos valores do topo para a base das camadas como consequência da intrusão vulcânica sobreposta (Tab. 2).

Segundo Filho *et al.*, (2008), o efeito de intrusões vulcânicas nas rochas encaixantes é equivalente a espessura do corpo intrusivo, esse processo pode sofrer alterações em função da profundidade em que se implantou a intrusão, sendo maior o calor transmitido quando as rochas encontram-se em maior profundidade. Levandowski (2013), trabalhando na Jazida de Chico-Lomã, encontrou uma relação de equivalência entre a espessura da intrusão vulcânica e espessura de intervalo carbonoso afetado.

No que concerne ao poço exploratório CBM 001-MO-RS, a intrusão vulcânica sotoposta ao intervalo carbonoso apresenta uma espessura de 19,11m, a qual gerou uma auréola de influência térmica que atinge, em diferentes níveis, toda a plenitude do intervalo carbonoso de 19,47m (Fig. 6), corroborando a relação de equivalência entre espessura da intrusão e intervalo carbonoso afetado preconizado por Filho *et al.*, (2008) e Levandowski (2013).

Os valores de refletância da vitrinita das 27 amostras são apresentados na tabela 2, assim como o respectivo grau de carbonificação (*rank*) conforme (ISO 7405-5/2009).

Tabela 2. Identificação das camadas e as respectivas amostras, resultados da reflectância da vitrinite das amostras de carvão analisadas. Rr (%) – *Rrandom* (%); Rr (%) variação – *Rrandom* (%) máximo e mínimo por camada de carvão, Rr (%) médio – reflectância média calcula para camada.

Table 2. Identification of sets and samples, results of vitrinite reflectance of the coal samples analyzed. Rr (%) – *Rrandom* (%); Rr (%) range – *Rrandom* (%) minimum and maximum for coalbed, Rr (%) médio - calculated for average reflectance for coalbed.

CBM 001-MO-RS					
Camada	Amostra	Rr (%)	Grau de carbonificação (rank)	Rr (%) variação	Rr (%) médio
B	12-092	4,42	Antracito	4,42-4,32	4,384
	12-093	4,32	Antracito		
L1	12-094	4,52	Antracito	4,52	4,520
	12-103	4,00	Antracito	4,00-2,89	3,480
C	12-104	3,62	Antracito		
	12-105	3,19	Antracito		
D	12-106	2,89	Semi Antracito	2,67-2,44	2,537
	12-107	2,67	Semi Antracito		
E	12-108	2,44	Semi Antracito	2,20-1,54	1,818
	12-109	2,20	Semi Antracito		
	12-110	2,11	Semi Antracito		
	12-111	1,87	Betuminoso Baixo Volátil		
	12-112	1,84	Betuminoso Baixo Volátil		
	12-113	1,77	Betuminoso Baixo Volátil		
	12-114	1,63	Betuminoso Baixo Volátil		
	12-115	1,54	Betuminoso Baixo Volátil		
F	12-116	1,31	Betuminoso Médio Volátil	1,31-0,61	0,995
	12-117	1,27	Betuminoso Médio Volátil		
	12-118	1,18	Betuminoso Médio Volátil		
	12-119	1,07	Betuminoso Alto Volátil A		
	12-120	0,97	Betuminoso Alto Volátil A		
	12-121	0,87	Betuminoso Alto Volátil A		
	12-122	0,78	Betuminoso Alto Volátil A		
	12-123	0,73	Betuminoso Alto Volátil A		
	12-124	0,70	Betuminoso Alto Volátil B		
	12-125	0,71	Betuminoso Alto Volátil B		
12-126	0,61	Betuminoso Alto Volátil B			

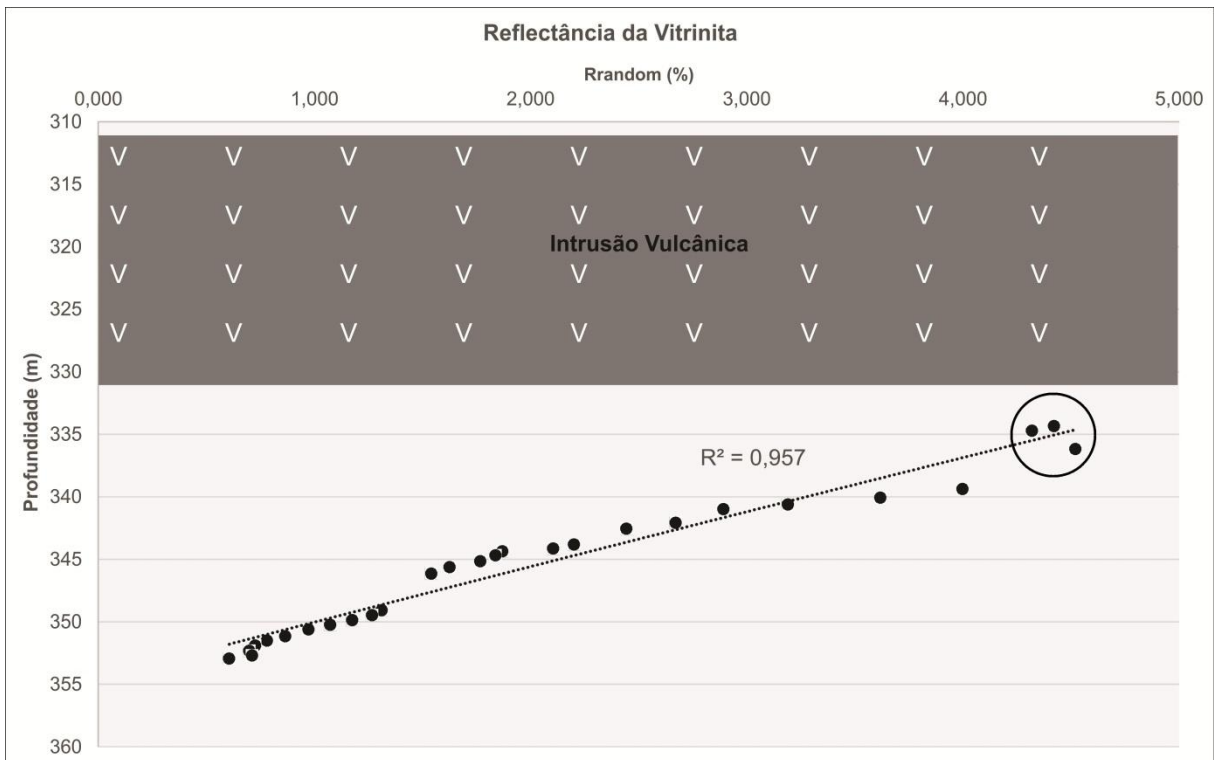


Figura 6. Relação dos valores de Refletância da vitrinita vs profundidade das amostras, destacado por círculo preto as amostras que apresentaram coque, linha tracejada representando a linha de tendência exponencial, a qual apresentam um $R^2 = 0,957$.

Figure 6. Relationships of vitrinite reflectances values and sample depth, in the red circle the samples with coke, blue dashed line representing the exponential trendline, which feature a $R^2 = 0.957$.

3.5 Análise de Macerais

Na análise quantitativa dos constituintes microscópicos das amostras, o grupo da vitrinita apresenta um *range* de 0,2 a 62,8% (Tab. 3), liptinita apresenta uma variação de 0,0 a 4,0% e inertinita apresenta uma variação de 12,2 a 38,6%. A matéria mineral determinada na análise petrográfica, apresenta um *range* de 17,4 a 81,0 % (Tab. 3). Dentre os constituintes da matéria mineral, os argilomineirais são os mais abundantes, com valores variando de 11,6 a 73,2% e secundariamente ocorrem quartzo, pirita e carbonato. Convém salientar a presença de coque natural nas amostras 12-092, 12-093 e 12-094, com teores indo de 0,2 a 2,0% (Tab. 3).

Conforme mostra a figura 7, na porção superior do intervalo carbonoso ocorre predomínio de inertinita, já na porção inferior, composta pela camada F, há predomínio do maceral vitrinita, sendo que a vitrinita apresenta para a camada F uma tendência de aumento do seu volume no sentido topo para base da camada. Para a camada F, inertinita apresenta um comportamento inversamente proporcional a vitrinita.

O grupo da Liptinita ocorre de forma significativa somente na camada F. Segundo Mastalerz *et al.*, (2009), a liptinita sofre desvolatilização em temperaturas superiores a 300°C, o que pode indicar que a ausência deste maceral na porção superior do intervalo tenha relação com temperaturas superiores a 300°C. Na porção superior do perfil, a liptinita foi identificada por sua morfologia, não apresentando fluorescência devido ao efeito térmico causada pela intrusão.

O conteúdo de matéria mineral apresenta-se elevado (Tab. 3), tendo uma leve tendência de aumento da base para o topo do intervalo carbonoso, em uma relação inversamente proporcional aos volumes de inertinita e vitrinita (Fig. 7). Faz-se interessante notar que, o conteúdo de matéria mineral na camada F, apresenta um comportamento que se assemelha ao comportamento dos teores de pirita e de liptinita, apresentando valores mais altos na base e no topo da camada (Fig. 7), reduzindo-se gradativamente em direção à porção média. Este comportamento, na porção pouco afetada termicamente do perfil (camada F), pode estar relacionado a pulsos transgressivos-regressivos, que causaram entrada de água salina e sedimentos siliciclásticos no ambiente de turfeira. Nas porções mais próximas a intrusão, o efeito térmico causado pela mesma pode ter mascarado tais informações, não permitindo uma interpretação.

A pirita é identificada somente na porção inferior do intervalo carbonoso, sendo observada até a camada D. Na porção superior e mais próxima a intrusão, essa ausência do mineral pirita pode ter relação com a influência térmica causada pela intrusão, dada a baixa temperatura de volatilização de tal mineral.

A composição petrográfica no que se refere aos grupos macerais (vitrinita + liptinita + inertinita = 100%), nas 27 amostras de carvão é altamente variável. O grupo da vitrinita apresenta uma variação de 0,9 a 79,9%, o grupo da liptinita varia de 0,0 a 10,2%, e o grupo da inertinita apresenta variação de 17,2 a 99,1% (Tab. 4). Dentro do grupo vitrinita predominam os macerais colotelinita e colodetrinita; dentro do grupo liptinita predominam os macerais liptodetrinita e esporinita e dentro do grupo da inertinita predominam os macerais inertodetrinita e fusinita (Tab. 3).

Tabela 3. Resultados da análise de macerais mostrando a composição maceral e mineral e de macerais recalculados (sem matéria mineral) por amostra e calculo por camada. Total– matéria mineral inclusa, S/MM – sem matéria mineral.

Table 3. Results from maceral analyses showing mineral and maceral composition and maceral recalculated (mineral matter-free) for each sample and recalculation for layers. Total– matéria mineral matter included, S/MM – mineral matter-free.

CBM 001-MO-RS													
Camada	Amostra	Vitrinita		Liptinita		Inertinita		Coque		Matéria Mineral			
		Total	S/MM	Total	S/MM	Total	S/MM	Total	S/MM	Argila	Qtzo	Pirita	Carb.
B	12-092	19,6	41,7	0,0	0,0	25,4	54,0	2,0	4,3	47,6	1,8	0,0	3,6
	12-093	21,4	41,6	0,0	0,0	28,4	55,3	1,6	3,1	40,8	3,2	0,0	4,6
	Camada*	20,3	41,7	0,0	0,0	26,5	54,5	1,9	3,8	45,1	2,3	0,0	4,0
L1	12-094	22,8	50,2	0,0	0,0	22,4	49,3	0,2	0,4	45,2	3,2	0,0	6,2
C	12-103	12,6	27,9	0,8	1,8	31,8	70,4	0,0	0,0	45,0	7,0	0,0	2,8
	12-104	15,8	34,5	0,4	0,9	29,6	64,6	0,0	0,0	49,2	3,4	0,0	1,6
	12-105	30,4	45,2	0,0	0,0	36,8	54,8	0,0	0,0	30,0	1,4	0,0	1,4
	12-106	30,4	54,9	0,0	0,0	25,0	45,1	0,0	0,0	37,0	1,6	0,0	6,0
	Camada*	21,5	39,1	0,3	0,7	31,4	60,1	0,0	0,0	40,6	3,5	0,0	2,6
D	12-107	0,2	0,9	0,0	0,0	21,4	99,1	0,0	0,0	71,6	5,4	0,0	1,4
	12-108	4,2	10,6	0,6	1,5	35,0	87,9	0,0	0,0	53,2	3,8	0,6	2,6
	Camada*	2,6	6,6	0,4	0,9	29,4	92,5	0,0	0,0	60,7	4,5	0,4	2,1
E	12-109	3,8	20,0	0,0	0,0	15,2	80,0	0,0	0,0	70,6	3,8	1,0	5,6
	12-110	9,6	20,3	0,2	0,4	37,6	79,3	0,0	0,0	47,2	4,0	0,2	1,2
	12-111	12,4	24,1	0,4	0,8	38,6	75,1	0,0	0,0	44,0	3,6	0,0	1,0
	12-112	19,4	34,9	0,2	0,4	36,0	64,7	0,0	0,0	38,2	4,4	0,0	1,8
	12-113	10,2	23,6	0,0	0,0	33,0	76,4	0,0	0,0	51,8	2,2	0,0	2,8
	12-114	1,2	5,5	0,0	0,0	20,6	94,5	0,0	0,0	73,2	2,0	0,0	3,0
	12-115	6,0	14,9	0,2	0,5	34,0	84,6	0,0	0,0	56,0	1,8	0,0	2,0
	Camada*	8,4	19,9	0,1	0,2	29,4	79,9	0,0	0,0	56,2	3,0	0,2	2,7
F	12-116	24,8	52,1	0,0	0,0	22,8	47,9	0,0	0,0	39,2	3,4	3,6	6,2
	12-117	25,0	46,8	0,0	0,0	28,4	53,2	0,0	0,0	39,6	3,6	3,0	0,4
	12-118	13,6	34,7	4,0	10,2	21,6	55,1	0,0	0,0	55,0	4,2	0,0	1,6
	12-119	26,0	43,0	0,0	0,0	34,4	57,0	0,0	0,0	34,2	3,0	0,6	1,8
	12-120	54,8	76,5	0,2	0,3	16,6	23,2	0,0	0,0	25,6	0,0	0,4	2,4
	12-121	54,0	68,2	1,0	1,3	24,2	30,6	0,0	0,0	14,4	0,4	0,4	5,6
	12-122	56,4	68,3	0,8	1,0	25,4	30,8	0,0	0,0	11,6	0,6	0,2	5,0
	12-123	47,0	58,9	1,2	1,5	31,6	39,6	0,0	0,0	15,8	1,2	0,6	2,6
	12-124	62,8	79,9	0,2	0,3	15,6	19,8	0,0	0,0	18,8	0,0	0,6	2,0
	12-125	38,4	65,1	3,6	6,1	17,0	28,8	0,0	0,0	33,8	1,8	0,8	4,6
	12-126	56,6	79,9	2,0	2,8	12,2	17,2	0,0	0,0	17,6	2,2	4,6	4,8
Camada*	41,9	60,6	1,1	2,0	23,4	37,4	0,0	0,0	27,6	1,8	1,2	3,0	

S/MM – Sem matéria mineral, valores recalculados livres de material mineral

* Valores médios recalculados para camada total, Qtzo = Quartzo, Carb. = Carbonatos.

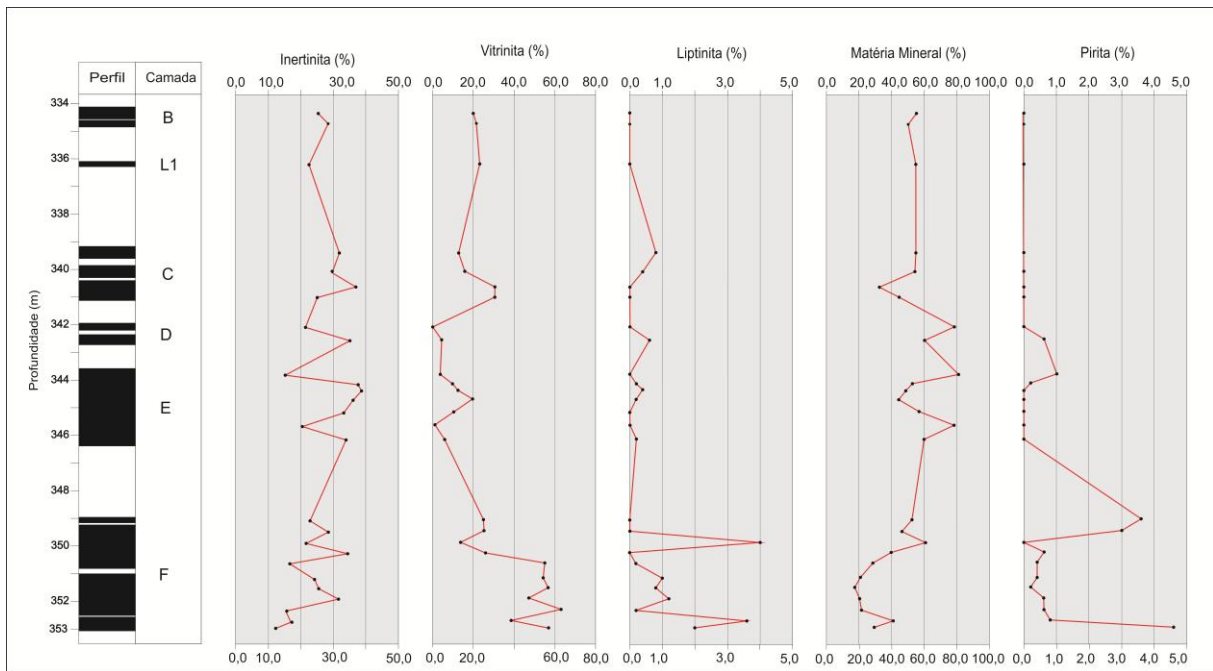


Figura 7. Perfil esquemático mostrando a variação do conteúdo de macerais e matéria mineral (vol.%), individualizando-se a presença de pirita dentro das camadas de carvão.

Figure 7. Schematic profile showing the variation of the macerals and mineral matter contents (vol. %) showing the presence of pyrite in the each coalbed.

3.6 Análises Imediatas e Mineralógicas

Os resultados das análises imediatas, em base seca, estão detalhados na tabela 4. O teor de cinzas mostrou uma variação de 39,66 a 81,82% (Tab. 4), ao recalcular os teores de cinza levando-se em conta as correlações de camada, obteve-se uma variação de valores entre 69,20% na camada D até 50,10% para a camada F.

A figura 8A, mostra que, segundo a norma internacional da Comissão Econômica da Europa para as Nações Unidas, 33% das amostras do poço CBM 001 MO-RS, podem ser classificadas como carvão de categoria muito inferior, enquanto 67% podem ser classificados como rocha carbonosa.

Na figura 8B são apresentados os resultados recalculados levando-se em conta as camadas totais, onde 16,7% das camadas (camada F) podem ser classificadas como carvão de categoria muito inferior, enquanto 83,3% (camadas B, C, D, E e leito 1) podem ser classificados como rocha carbonosa (Tab. 4).

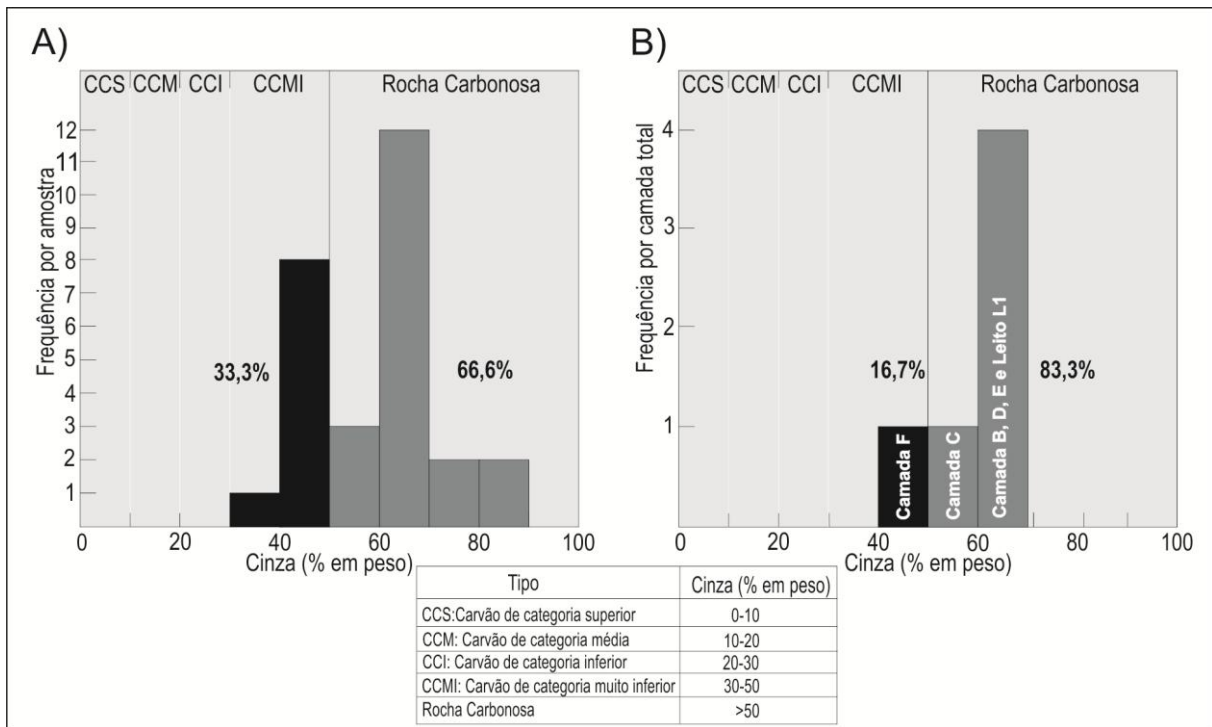


Figura 8. Classificação do carvão segundo o percentual de cinzas. A - Valores das amostras e B - recalculados para as camadas. Modificado de *International Classification of in-coal seams*, (CEE-NU, 1998).

Figure 8. Coal samples classification based on ash yields. A- Sample values; B- calculated values for layers. Modified from *International Classification of in-coals seam*, (CEE-NU, 1998).

O conteúdo de matéria volátil em base seca apresentou variação de 5,76 a 30,69% (Tab. 4), sendo que, em geral apresentou uma correlação inversa com os valores de refletância da vitrinita (Fig. 9), onde as amostras mais próximas à intrusão e de maior poder refletor (Fig. 6), apresentaram os menores valores de matéria volátil, em conformidade com os resultados observados por Levandowski (2013) na análise do poço CBM 001-CL-RS, da Jazida de Chico Lomã.

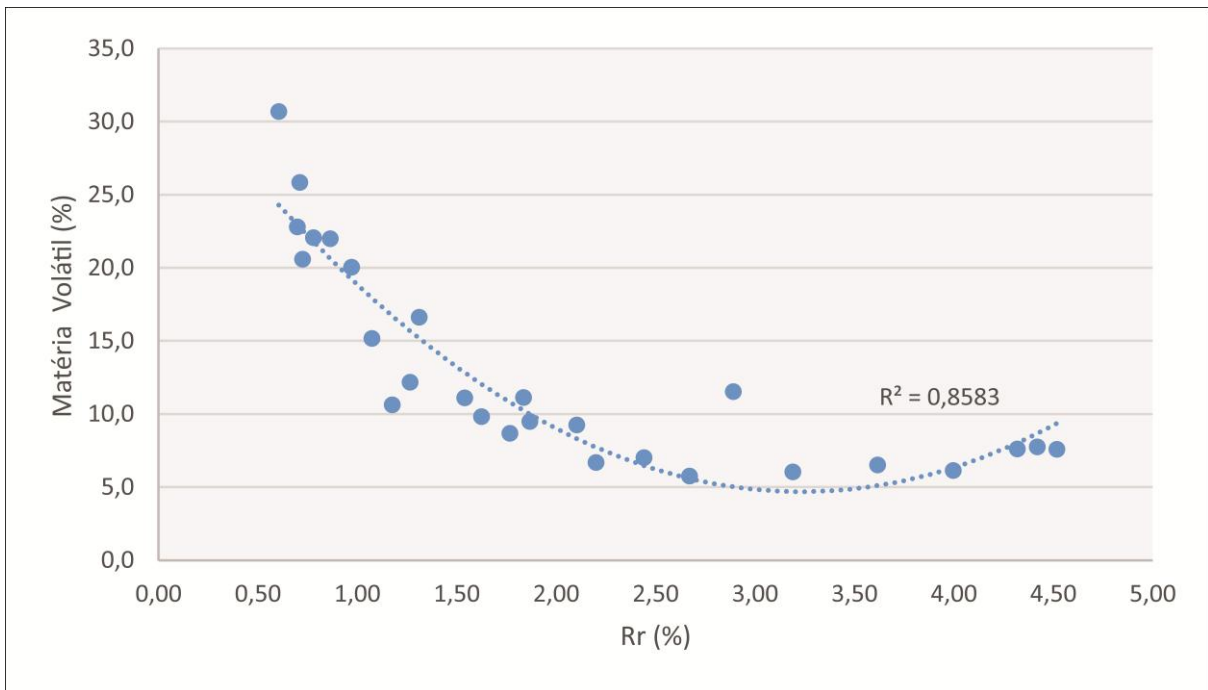


Figura 9. Relação dos teores de matéria volátil versus valores de refletância da vitrinita, com linha de correlação exponencial para as amostras do poço exploratório CBM 001-MO-RS.

Figure 9. Relationship of volatile matter content and vitrinite reflectance, with exponential line of the correlation for samples samples from exploration well CBM 001-MO-RS.

O teor de enxofre das amostras exibiu variação de 0,20 até 2,88% (Tab. 4), apresentando valores mais elevados nas amostras da base do perfil carbonoso, podendo sugerir influência marinha nas camadas E e F, porém, faz-se importante destacar a possibilidade de o efeito térmico sobre os carvões ter mascarado essa influência nas camadas superiores.

O poder calorífico superior apresentou uma grande variação, tendo como valor mínimo 777Kcal/Kg (17,9 MJ/Kg) até o valor máximo de 4.732Kcal/Kg (32,8MJ/Kg) (Tab. 4).

Como pode ser visto na figura 10, existe uma boa correlação, com valores de R próximos a 1,0, entre os valores de poder calorífico superior e teor de cinzas, onde a amostra 12-109, que exibiu o menor valor de poder calorífico, tem o maior conteúdo de cinzas (81,82%), e a amostra 12-120, que apresentou o maior valor de poder calorífico, tem o menor conteúdo de cinzas (39,66%) (Tab. 4).

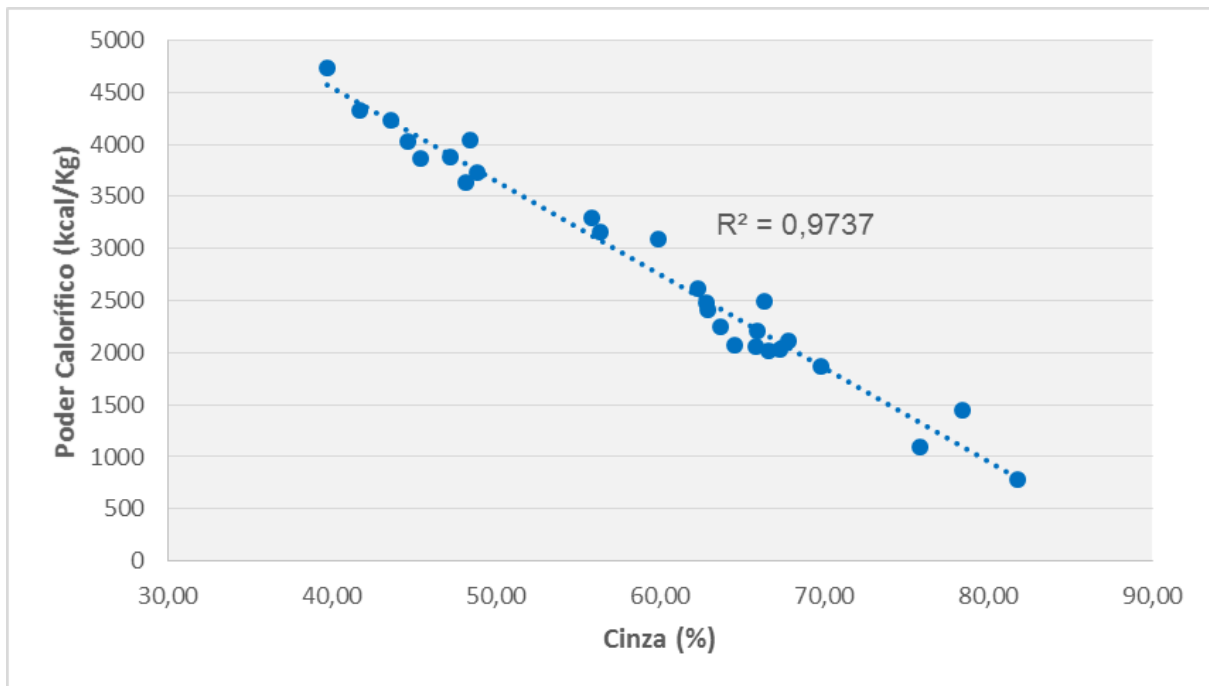


Figura 10. Relação entre os valores de Poder Calorífico Superior versus teores de cinza para as amostras do poço exploratório CBM 001-MO-RS.

Figure 10. Relationship of Upper calorific values and content samples ash from exploration well CBM 001-MO-RS.

Tabela 4. Resultados da análise imediata em base seca, enxofre e poder calorífico superior por amostra e recálculo para camadas: % Mat. Vol – matéria volátil; % Carbono – Carbono Fixo, PCS - Poder calorífico superior.

Table 4. Results of the immediate analysis on a dry basis, sulfur and upper calorific value for each sample and recalculation for layers. % V.M. – volatile matter; F.C. fixed carbon, U.C.V. Upper calorific value.

CBM 001-MO-RS							
Camada	Amostra	Cinzas	Mat. Vol.	% Carbono	S	PCS	
		(% em massa bs. ¹)	% massa (bs.sc. ²)		(% massa)	(KCal/Kg)	(MJ/Kg sc. ³)
B	12-092	66,36	7,76	25,88	0,41	2493	31,0
	12-093	63,64	7,61	28,75	0,67	2244	25,8
	Camada	65,37	7,71	26,92	0,50	2403	29,1
L1	12-094	67,82	7,59	24,59	0,45	2110	27,5
	12-103	65,85	6,15	28,00	0,32	2055	25,2
	12-104	67,26	6,52	26,22	0,41	2029	25,9
C	12-105	43,54	6,04	50,42	0,62	4228	31,4
	12-106	56,35	11,55	32,10	0,46	3154	30,3
	Camada	58,45	7,15	34,40	0,45	2837	28,6

CBM 001-MO-RS							
Camada	Amostra	Cinzas	Mat. Vol.	% Carbono	S	PCS	
		(% em massa bs. ¹)	% massa (bs.sc. ²)		(% massa)	(KCal/Kg)	(MJ/Kg sc. ³)
D	12-107	78,46	5,76	15,78	0,34	1442	28,0
	12-108	62,79	7,02	30,19	0,32	2485	28,0
	Camada	69,20	6,50	24,30	0,33	2058	28,0
E	12-109	81,82	6,70	11,48	0,80	777	17,9
	12-110	66,62	9,26	24,12	0,38	2022	25,4
	12-111	62,91	9,49	27,60	0,35	2407	27,2
	12-112	59,87	11,14	28,99	2,33	3092	32,3
	12-113	62,30	8,70	29,00	0,25	2609	29,0
	12-114	75,83	9,82	14,35	0,20	1097	19,0
	12-115	65,90	11,11	22,99	0,23	2202	27,0
	Camada	68,47	9,51	22,02	0,68	1989	26,4
F	12-116	64,55	16,63	18,82	1,66	2072	24,5
	12-117	55,85	12,18	31,97	1,16	3296	31,3
	12-118	69,78	10,65	19,57	0,27	1874	26,0
	12-119	48,38	15,18	36,44	0,63	4042	32,8
	12-120	39,66	20,06	40,28	0,61	4732	32,8
	12-121	47,21	22,00	30,79	0,67	3885	30,8
	12-122	45,36	22,07	32,57	0,62	3867	29,6
	12-123	48,12	20,60	31,28	0,82	3636	29,3
	12-124	44,61	22,80	32,59	1,13	4033	30,5
	12-125	48,80	25,84	25,36	0,92	3723	30,4
	12-126	41,71	30,69	27,60	2,88	4332	31,1
Camada	50,10	19,33	30,57	0,95	3629	30,4	

Obs: ¹ bs. = base seca, ² bs.sc = base seca e livre de cinza, ³sc.= base úmida e livre de cinza.

A mineralogia identificada através das análises de difratometria de Raios-X, apresentou um predomínio das fases minerais quartzo, caulinita, illita e plagioclásio, ocorrendo secundariamente, ankerita, calcita, dolomita e pirita (Tab. 5).

Tabela 5. Resultados da análise de difratometria de raios-x para determinação da composição mineral da fração inorgânica do carvão. Presença de mineral na amostra indicado por X.

Table 5. X-ray diffraction Results to determine mineral composition in the inorganic fraction of the coal. Presence of mineral in the sample indicated by X.

CBM 001-MO-RS									
Camada	Amostra	Minerais (Difratometria de Raios-X)							
		Quartzo	Caulinita	Ilita	Plagioclásio	Ankerita	Calcita	Dolomita	Pirita
B	12-092	X	X			X			
	12-093	X	X						X
L1	12-094	X	X			X			
C	12-103	X	X						
	12-104	X	X						
	12-105	X	X		X	X			
	12-106	X	X		X	X			
D	12-107	X	X						
	12-108	X	X						
E	12-109	X	X						
	12-110	X	X		X				
	12-111	X	X		X				
	12-112	X	X		X				
	12-113	X	X						X
	12-114	X	X						
	12-115	X	X		X				
	12-116	X					X	X	
F	12-117	X	X						
	12-118	X	X		X				
	12-119	X	X		X				
	12-120	X	X					X	
	12-121	X	X		X	X		X	
	12-122	X	X		X	X			
	12-123	X	X		X			X	
	12-124	X	X		X			X	
	12-125	X	X		X	X		X	
	12-126	X	X				X	X	

Na figura 11, os resultados das análises petrográficas e químicas são apresentados segundo a proposta internacional de classificação do carvão apresentada pela Comunidade Econômica para Europa, Nações Unidas (CEE-NU, 1998). O método empregado tem a vantagem de usar de modo simultâneo, os três principais parâmetros empregados na caracterização do carvão (composição, grade e grau de carbonificação ou *rank*). Os dados das análises necessários para essa classificação foram apresentados nas tabelas 2, tabela 3 e tabela 4, sendo que, foram

utilizados para fins de classificação os valores médios calculados para as cinco camadas e um leito carbonoso existentes no perfil do poço CBM 001-MO-RS.

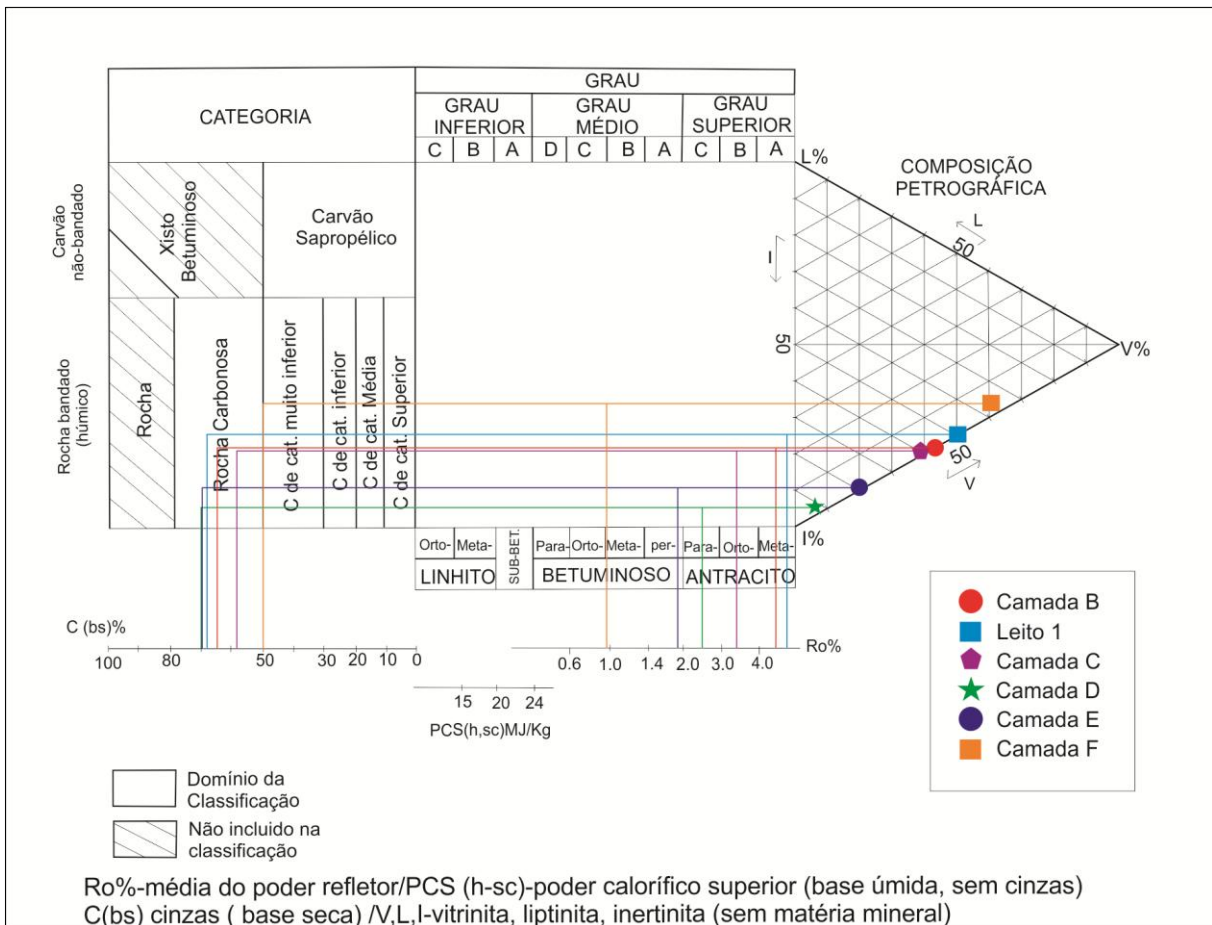


Figura 11. Classificação Internacional das camadas de carvão obtidas no poço exploratório CBM 001-MO-RS da Jazida de Morungava, RS, segundo normas CEE, NU (1998). PCS (h, sc) - poder calorífico superior, base úmida, sem cinzas; L – liptinita, V- vitrinita, I – inertinita, Ra – poder refletor da vitrinita, modificado de Silva (2012).

Figure 11. International Classification of the coal bearing interval, in the exploration well CBM 001-MO-RS in the Morungava coalfield based on CEE, NU (1998).UCV upper calorific value, wet bases, ash free, L - Liptinite, V-vitrinite, I- inertinite, R -vitrinite reflectance. modified Silva (2012).

Segundo a normativa empregada, a camada F foi classificada como carvão de grau médio B, de categoria muito inferior (Fig.11). As demais camadas foram classificadas como; rocha carbonosa de grau superior A para a camada B e Leito 1; rocha carbonosa de grau superior B para

a camada C e rocha carbonosa de grau superior C; para a camada D. A camada E foi classificada como rocha carbonosa de grau médio A (Fig. 11).

3.7 Ensaios de Beneficiamento Gravimétrico (afunda-flutua)

Para fins de caracterização da porção dos testemunhos de sondagem destinada aos testes de afunda-flutua, as seis amostras de camada total de carvão (B, C, D, E, F superior e F inferior) (Fig. 4B) foram analisadas por refletância da vitrinita e análises imediatas (Tab. 6), onde foi possível de se observar que os resultados estão condizentes com os valores médios calculados para as análises de detalhe (Tab. 2 e Tab. 4).

Tabela 6. Resultados da caracterização Petrográfica (refletância da vitrinita) e química (Cinzas, Mat.Vol. – Matéria volátil, Carb. – Carbono Fixo e PCS – Poder Calorífico Superior) das amostras de camada total do poço exploratório CBM 001-MO-RS. Rr (%) – Refletância Rrandom (%).

Table 6. Results from petrographic analysis (vitrinite reflectance) and chemical (ash, Mat. Vol. – volatile matter, Carb. – fixed carbon, PCS – upper calorific value) in coal samples of the exploration well CBM 001-MO-RS. Rr (%) – Rrandom Reflectance (%).

CBM 001-MO-RS							
Petrografia				Análises Químicas			
Camada	Amostra	Rr (%)	rank ¹	Cinzas	Mat. Vol.	Carb.	PCS
				%m.(bs.) ²	%m. (bs.sc.) ³	(KCal/Kg)	
B	12-086	4,75	Meta Antracito	60,2	15,8	23,9	1227
C	12-087	3,18	Antracito	65,7	10,3	24,1	2207
D	12-088	2,45	Semi Antracito	67,9	11,8	20,3	1855
E	12-089	2,00	Semi Antracito	70,1	10,4	19,5	1869
F superior	12-090	0,91	Betuminoso Alto Volátil A	61,0	15,2	23,8	2611
F inferior	12-091	0,71	Betuminoso Alto Volátil B	58,4	18,6	23,0	2667

Obs:¹ Grau de carbonificação (ISO 7405-5/2009), ² %m. (bs.) = Porcentagem em massa em base seca, ³ %m. (bs.sc) = Porcentagem em massa em base seca e livre de cinza.

A partir dos ensaios de afunda-flutua, munidos dos valores de massa das frações afundadas e flutuadas das amostras das camadas e dos teores de cinza destas frações (Tab. 8), foram elaboradas as curvas de lavabilidade e densimétrica para as camadas (Fig. 12).

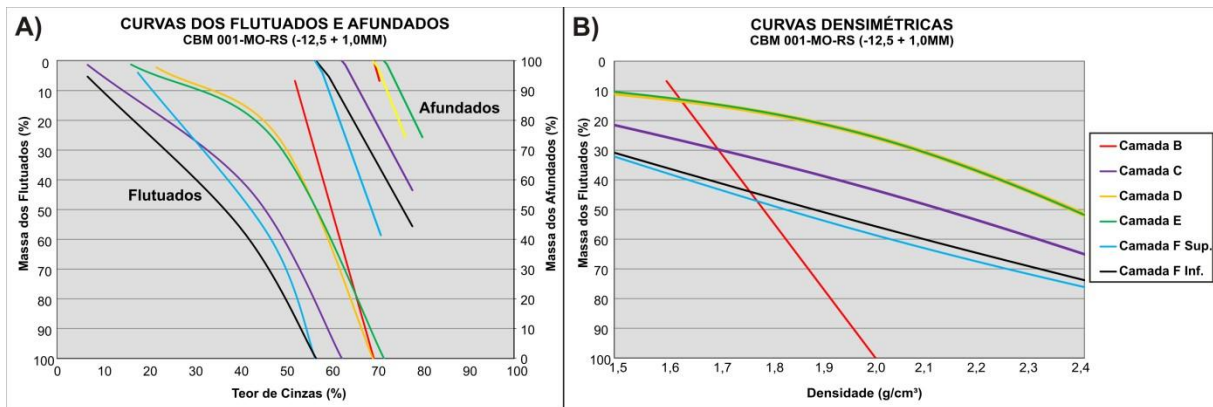


Figura 12. Curvas de Lavabilidade dos ensaios de afunda flutua, realizados nas amostras de camada do poço exploratório CBM 001-MO-RS: A – Curvas de flutuados e afundados e B – Curvas densimétrica modificado de Sampaio & Tavares (2005).

Figure 12. Washability curves of the sink float testing performed on samples layer of the exploratory well CBM-001 OM-RS: A - sunk floated curves and B - the gravity curves modified Sampaio & Tavares (2005).

O mais baixo teor de cinza obtido foi de 6,7%, encontrado na fração com densidade menor de 1,5 g/cm³ da camada C, com um rendimento de 1,3% da massa total, o maior valor de poder calorífico superior foi de 7.659Kcal/Kg, obtido nesta mesma amostra (Tab. 7).

Tabela 7. Resultados dos ensaios de afunda flutua realizados nas amostras de carvão do poço CBM 001-MO-RS.

Table 7. Sink and float tests results performed in coal samples from the well CBM 001-MO-RS.

CBM 001-MO-RS				
Camada	Densidade	Rendimento (%massa)	Cinza (% em massa, bs.)	PCS (Kcal/Kg)
B	Bruta		60,2	1.227
	1,6-2,0	6,7	52,1	2.341
	>2,0	93,3	70,6	1.269
C	Bruta		64,7	2.207
	<1,5	1,3	6,7	7.659
	1,5-2,0	42,1	43,4	2.728
	>2,0	56,5	77,8	1.019
D	Bruta		67,6	1.855
	<1,6	2,2	21,8	6.134
	1,6-2,0	23,4	51	3.619
	>2,0	74,3	76,3	920
E	Bruta		69,4	1.869
	<1,6	1,2	16,2	6.805
	1,6-2,0	24,4	48,7	3.106
	>2,0	74,3	80	843
F superior	Bruta		59,8	2.611
	<1,5	3,9	17,7	6.659
	1,5-2,0	54,7	48,4	3.413
	>2,0	41,4	70,9	1.480
F inferior	Bruta		57,8	2.667
	<1,5	5,3	13,4	6.834
	1,5-2,0	50,3	45,2	3.946
	>2,0	44,4	73,9	1.319

No comportamento das curvas de flutuados (Fig. 12A), observa-se que as amostras das camadas F inf., F sup. e C, são as que apresentam melhor resposta ao beneficiamento, tendo como resultado um produto de mais baixo teor de cinza e com maior rendimento. A camada com pior resposta ao beneficiamento é a camada B, que de acordo com os resultados, teve suas características alteradas devido a influência da intrusão vulcânica.

Quanto às curvas de afundados (Fig. 12A), pode ser observado nas curvas contidas na figura 12 A, que as frações afundadas das amostras apresentam teores de cinza entre 60 a 80%, mostrando que tais amostras ainda contem de 20 a 40% de matéria orgânica em sua composição, indicativo de um grau médio de eficiência na liberação entre o carvão e as partículas minerais.

As curvas densimétricas (Fig. 12B), que servem para estimar a densidade do líquido denso à ser utilizado para se obter uma separação eficiente entre componentes orgânicos e

inorgânicos do carvão, mostram que as camadas que apresentaram produtos flutuados com menor teor de cinzas (Fig. 12A), apresentam valores menores de densidade nas curvas densimétricas (Fig. 12B), como é o caso das camadas F inferior, F superior e C. Enquanto as camadas que apresentam os valores mais altos de densidade (Fig. 12B), foram as mesmas que apresentam os maiores valores de cinza nos produtos flutuados (Fig. 12A), como é o caso das camadas B, D e E. Fato este que confirma que as camadas F inferior, F superior e C apresentam um grau de liberação da matéria orgânica muito superior as camadas B, D e E.

4. Conclusões

O poço exploratório CBM 001-MO-RS, foi empreendido até a profundidade de 387,30m. A perfuração ao longo de seu desenvolvimento interceptou sedimentos inconsolidados recentes e o substrato rochoso composto pelas rochas das Formações: Botucatu, Rio do Rasto, Estrada Nova, Irati, Palermo e Rio Bonito, a qual foi encontrada entre as profundidades de 300,00 a 385,76m, além de rochas graníticas do embasamento cristalino, sob o qual encontram-se empilhadas as litologias da Bacia do Paraná citadas.

Foram identificadas 5 camadas de carvão e um leito carbonoso na Formação Rio Bonito, totalizando 9,77m de carvão, onde predominam litotipos do tipo carvão fosco e carvão fosco bandado. Sotoposto ao intervalo carbonoso, foi identificada uma intrusão vulcânica de aproximadamente 18m de espessura, que alterou termicamente todas as camadas de carvão do perfil, como ficou evidente nos resultados de refletância da vitrinita, os quais indicaram uma tendência de correlação exponencial entre proximidade da intrusão e aumento dos valores de refletância da vitrinita, variando de 0,61 a 4,52Rr (%).

Além disto, pode-se possivelmente creditar a inexistência da camada A no perfil, a influência causada pela intrusão vulcânica, que ao intrudir o perfil carbonoso, consumiu por completo a mesma, tendo em vista que o local perfurado apresentava potencial para existência da camada A.

Na porção inferior do intervalo carbonoso ocorre um predomínio de vitrinita, composta pela camada F, já na porção superior, há uma preponderância do maceral inertinita.

A vitrinita apresenta para a camada F, um *trend* de diminuição dos seus volumes no sentido base para topo da camada, e a inertinita exibe um comportamento inversamente

proporcional. Liptinita ocorre de forma significativa somente na camada F, a ausência desse maceral na porção superior do intervalo tem relação com as altas temperaturas da intrusiva. Dentro dos constituintes da matéria mineral, a argila é o mais abundante, secundariamente ocorrem, quartzo, pirita e carbonato. Importante destacar a presença de coque natural nas amostras próximas a intrusão.

Faz-se interessante notar o comportamento do conteúdo de matéria mineral na camada F, que apresenta uma correlação positiva com os teores de pirita e de liptinita, comportamento que pode estar relacionado a pulsos transgressivos, que causaram entrada de água salina e sedimento siliciclástico no ambiente de turfeira, tais interpretações não são passíveis de serem realizadas na porção superior do perfil, pois esta zona sofreu alteração térmica intensa da intrusão, como evidenciado nas medidas de refletância da vitrinita.

A pirita é identificada até a camada D, não sendo observável na parte superior do intervalo carbonoso, essa ausência do mineral pirita deve ter relação com a influência térmica causada pela intrusão, dada a baixa temperatura de volatilização de tal mineral.

Observou-se altos teores de cinzas na maioria das amostras, levando a se classificar 67% das amostras como rocha carbonosa, enquanto 33% podem ser classificadas como carvão de categoria muito inferior. No que se refere aos resultados, levando-se em consideração valores médios para as camadas, observou-se que a camada F é classificada como carvão de qualidade muito inferior, sendo que as outras 4 camadas e o leito carbonoso são classificados como rocha carbonosa.

O conteúdo de matéria volátil apresentou uma variação de 5,76 a 30,69% em peso, e tem uma correlação inversa com os valores de refletância da vitrinita. O poder calorífico superior apresentou uma grande variação desde o menor valor de 777Kcal/Kg até o valor máximo de 4.732Kcal/Kg, tendo uma relação inversa de proporcionalidade com o teor de cinzas. Na caracterização da mineralogia, foram encontrados sistematicamente quartzo, caulinita, illita e plagioclásio e de forma esporádica, ankerita, calcita, dolomita e pirita.

Nos ensaios de afunda-flutua, as amostras não demonstram uma boa separação entre componentes orgânicos e inorgânicos no beneficiamento gravimétrico. É observado um baixíssimo rendimento na obtenção de produtos com baixo teor cinza. Para produtos menos nobres, com teor de cinza na faixa dos 45%, é passível de se obter um rendimento de até 50% de volume nas camadas F superior e inferior e na camada C, sendo estas três, as camadas que melhor se portaram nos testes de beneficiamento e apresentam viabilidade comercial.

Agradecimentos. Ao CNPq e a FAPERGS, pelo suporte financeiro através do projeto (CNPq 551239/2010-7), pela bolsa de mestrado (CNPq 130006/2013-0) e pela bolsa de produtividade em pesquisa (302238_2014-0) e a FAPERGS através do projeto de pesquisa (PRONEX 10/0025-9).

A Carbonífera Metropolitana S.A., por ter disponibilizado auxílio financeiro, logístico e apoio técnico na execução do poço exploratório para obtenção das amostras de carvão, assim como ter realizado parte das análises do presente trabalho, o qual é parte principal da dissertação de mestrado do autor.

Referências

- Aboarrage, A.M. & Lopes, R. da C. 1986. *Projeto a borda leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica*. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 18 v
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Amostragem de carvão mineral bruto e/ou beneficiado*. Rio de Janeiro, ABNT, 30p. (NBR 8291).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1985. *Ensaio densimétrico*. Rio de Janeiro, ABNT, 9p. (NBR 8738).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. *Carvão mineral: determinação do poder calorífico superior e do poder calorífico inferior - método de ensaio*. Rio de Janeiro, ABNT, 9p. (NBR 8628).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Carvão mineral: determinação do enxofre total pelo processo de combustão*. Rio de Janeiro, ABNT, 7p. (NBR 8295).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Carvão mineral: determinação de umidade*. Rio de Janeiro, ABNT, 6p. (NBR 8293).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Carvão mineral: determinação do teor de cinzas*. Rio de Janeiro, ABNT, 7p. (NBR 8289).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Carvão mineral: determinação do teor de matéria voláteis*. Rio de Janeiro, ABNT, 6p. (NBR 8290).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. *Preparação de amostra de carvão mineral para análise e ensaios*. Rio de Janeiro, ABNT, 8p. (NBR 8292).
- ASTM. American Society for Testing and Materials. 2007. *Standard practice for preparing coal samples for analysis*. Philadelphia, PA. Annual Book of ASTM Standards. Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, V. 05.06: Gaseous Fuels; Coal and Coke, p. 11. (D 2013).

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília, ANEEL, 236p.
- Bortoluzzi, C.A., Picoli, A.E.M., Corrêa da Silva, Z.C., Cazzulo-Klepzig, M., Dias-Fabrizio, M.E., Silva Filho, B.C. da, Guerra-Sommer, M., Marques-Tiogo, M., Bossi, G.E., Andreis, R.S. 1980. Estudo geológico da bacia carbonífera de Gravataí-Morungava, RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31., 1980, Camboriú. Anais... Camboriú, SBG, v. 1, p. 266-282.
- Bossi, G.E & Picoli, A.E.M., 1980. Estudo de seqüências sedimentares, formação Rio Bonito, área de Gravataí-Morungava, RS. *Pesquisas. Instituto de Geociências - UFRGS*, Porto Alegre, 13:63-89.
- Bossi, G.E. & Piccoli, A.E.M. 1979. Interpretações paleogeográficas na Bacia do Paraná, nordeste do Rio Grande do Sul. Grupo Itararé. *In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 1979, Rio Claro, São Paulo. Resumos, p. 26-27.
- Bustin, R.M., Cameron, A., Grieve, D., Kalkreuth, W. 1983. *Coal petrology – its principles, methods and applications. 3rd Ed.* Victoria, British Columbia, Geological Association of Canada, Short Course Notes, 230p.
- Diessel, C. 1965. Correlation of macro-and micropetrography of some New South Wales coals. Proceedings. *In: 8th COMMONWEALTH MINING AND METALLURGICAL CONGRESS*, vol. 6, 1965, Australia and New Zealand, p. 669-677.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). 2015. *Balanço energético nacional*. Rio de Janeiro, EPE, 155p.
- Ferreira, J.A.F.; Santos, A.P.E Süffert, T., 1978. *Projeto Carvão no Rio Grande do Sul, Relatório final*. Porto Alegre, Convênio DNPM/CPRM, vol. I a IX.
- Filho, A.T., Mizusaki, A.M.P., Antonioli, L. 2008. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, [S.I]. 38(2): 128-137.
- Gomes, A.P., Ferreira, A.A.F., Albuquerque, L.F. de., Suffert, T. Carvão Fóssil. *Estudos Avançados*, Porto Alegre. 12(33) p. 89-106.
- ICCP. International Committee for Coal and Organic Petrology. 1971. *International handbook of coal petrography, 2ª ed.*, Paris, ICCP, Centre National de La Recherche Scientifique. Supplement, 494p.

- ICCP. International Committee for Coal and Organic and Petrology. 1998. The new vitrinita classification, ICCP System, *Fuel*, 77: 349–358.
- ICCP. International Committee for Organic and Coal Petrology. 2001. The new inertinita classification, ICCP System, *Fuel* 80: 459–471.
- ISO-7404/3. International Organization for Standardization. 2009. *Methods for the Petrographic Analysis of coals*. Part 3. Methods of determining maceral group composition. p8.
- ISO-7404/5. International Organization for Standardization. 2009. *Methods for the Petrographic Analysis of coals*. Part 5: Method of determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite. International Organization for Standardization. p14.
- Kalkreuth, W., Holz, M.I Kern, M.L., Machado, G., Mexias, A., Silva, M.B., Willet, 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, Brasil. *International Journal of Coal Geology*, 68: 79-116.
- Kalkreuth, W., Holz, M., Mexias, A., Balbinot, M., Levandowski, J., Willet, 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.
- Levandowski, J.H. 2013. *Características petrográficas e geoquímicas das camadas de carvão do poço CBM 001-CL-RS, jazida Chico Lomã, e sua relação com Coalbed Methane associado*. Porto Alegre, 167p. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Marchioni, D. & Kalkreuth, W. 1991. Coal facies interpretations based on lithotype and maceral variations in Lower Cretaceous (Gates Formation) coals of Western Canada. *International Journal of Coal Geology*, v. 18, p.125-162.
- Mastalerz, M., Drobnik, A., Schimmelmann, A. 2009. Changes in optical properties chemistry and micropore and mesopore characteristics of bituminous coal at the contact with dikes in the Illinois Basin. *International Journal of Coal Geology*, v. 77, p.310-319.
- Milani, E.J., França, A.B., Schneider, R.L. 2007. Bacia do Paraná. In: Feijó, F.J. (Ed.). *Boletim de Geociências da Petrobras: Cartas estratigráficas das Bacias Sedimentares Brasileiras*. Rio de Janeiro, p. 68-82.

- Milani, E.J. 2000. Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. *In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Eds.) Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 275-302.
- Sampaio, C. H. & Tavares, L. M. M. 2005. *Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade*. Porto Alegre: Editora UFRGS. 603p.
- Schneider, 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, v.1, p. 41-66.
- Simão, G., 2012. *O carvão da camada Bonito, Jazida Sul Catarinense: uma contribuição para a caracterização petrográfica, química e tecnológica*. Porto Alegre, 92p. Monografia de conclusão de curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Simão, G., Kalkreuth, W., 2015. Petrographic and chemical characterization of the Bonito Seam and its beneficiation products, South Santa Catarina Coalfield – Brazil. *Energy Exploration & Exploitation*, 33 (1): 75-90
- Silva, M.B. 2012. Classificação internacional do carvão (CEE-NU) da Camada Inferior, Mina do Leão, RS, Brasil. *Revista Escola de Minas*, 65(1), p. 29-33.
- Silva, Z.C.C. da, 2004. Coal facies studies in Brazil: a short review. *International Journal of Coal Geology*, 58:119-124.
- Stopes, M. C. 1919. *On the four visible ingredients in banded bituminous coals*. Proceedings of the Royal Society Bull, London, v. 90, p. 470-487.
- Süffert, T., 1997. *Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Porto Alegre CPRM, 40p. (Relatório interno).
- Taylor, G.H., Teichmüller, Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R & Robert, P. 1998. *Organic Petrology*. Berlin, Springer-Verlag, 704p.
- UN. United Nations. 1998. *International Classification of in-seam coals*. Geneva, Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, United Nations, 41p.
- Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C.J., Marques, A., Astolfi, M.A., Vieira, I.S., Appi, C.J. & Zanoto, O.A. 1990. Bacia do Paraná. *In: Cabaglia, G.P.R. & Milani, E.J. (Ed.). Origem e evolução das bacias sedimentares*. Rio de Janeiro, Petrobrás. p. 135-168.

Zanini, L.F.P. & Pimentel, G.B. 2006. *Mapa das Jazidas de Carvão Mineral*. Porto Alegre, Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre – PDM,– Porto Alegre, CPRM. Escala 1:250.000.

7 Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Amostragem de carvão mineral bruto e/ou beneficiado. Rio de Janeiro, ABNT, 30p. (NBR 8291).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1985. Ensaio densimétrico. Rio de Janeiro, ABNT, 9p. (NBR 8738).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Carvão mineral: determinação do poder calorífico superior e do poder calorífico inferior - método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 9p. (NBR 8628).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Carvão mineral: determinação do enxofre total pelo processo de combustão. Rio de Janeiro, ABNT, 7p. (NBR 8295).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Carvão mineral: determinação de umidade. Rio de Janeiro, ABNT, 6p. (NBR 8293).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Carvão mineral: determinação do teor de cinzas. Rio de Janeiro, ABNT, 7p. (NBR 8289).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Carvão mineral: determinação do teor de matéria voláteis. Rio de Janeiro, ABNT, 6p. (NBR 8290).
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1983. Preparação de amostra de carvão mineral para análise e ensaios. Rio de Janeiro, ABNT, 8p. (NBR 8292).
- Aboarrage, A.M. & Lopes, R. da C. 1986. Projeto a borda leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 18 v
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília, ANEEL, 236p.
- Diessel, C. 1965. Correlation of macro-and micropetrography of some New South Wales coals. Proceedings. In: 8th COMMONWEALTH MINING AND METALLURGICAL CONGRESS, vol. 6, 1965, Australia and New Zealand, p. 669-677.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). 2015. Balanço energético nacional. Rio de Janeiro, EPE, 155p.
- Hagemann, H.W.; Hollerbach, A. 1979. Relationship Between the Macropetrographic and Organic Geochemical Composition of Lignites. In: Douglas, A. G. (Ed.) Advances in Organic Geochemistry. Pergamon Press: p.631-638.
- Hower, J.C., Taulbee, D.N., Rimmer, S.M., and Morrell, L.G., 1994. Petrographic and geochemical anatomy of lithotypes from the Blue Gem coal bed, southeastern Kentucky. Energy Fuels, 8, 719-728.

- ICCP. International Committee for Coal and Organic Petrology. 1971. International handbook of coal petrography. 2 ed. Paris, Centre National de La Recherche Scientifique. Supplement.
- ICCP, 1998. The new vitrinite classification. International Committee for Coal and Organic and Petrology (ICCP System 1994). Fuel 77, p. 349–358.
- ICCP, 2001. The new inertinite classification. International Committee for Organic and Coal Petrology, ICCP System, Fuel 80, p. 459–471.
- IEA. International Energy Agency. 2010. Projected Costs of generating electricity. Paris, France, IEA, 2018.
- Ika Werke, 2000. Manual IKA Calorimeter System, C2000 basic/ C2000 control. Operating instructions. USA. Disponível em: <www.ika.net>. Acesso em: 10 set. 2011.
- ISO-7404/3. 1984. Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite. Part 3. Methods of determining maceral group composition. 4p.
- ISO-11760, 2005. Classification of Coals. (First Edition). Disponível em: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38898 acessado em: mar.2009.
- ISO-7404/2, 2009. Methods for the Petrographic Analysis of Coal. Part 2: Methods of Preparing Coal Samples. 12p.
- ISO-7404/5, 2009. Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite. Part 5: Method of determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite. 11p.
- Kalkreuth, W. and Leckie, D.A. (1989): Sedimentological and petrographical characteristics of Cretaceous strand plain coals: a model for coal accumulation from the North American western interior sea way. In: , Lyons, P.C. and Alpern, B., (Ed) Peat and Coal: Origin, Facies and Depositional Models; International Journal of Coal Geology, Vol. 12, p. 381–424.
- KSG - Kentucky Geological survey. Disponível em: <http://www.uky.edu/KGS/coal/coal_information.htm> Acesso: 05 dez. 2012.
- Marchioni, D.L., 1980. Petrography and depositional environment of the Liddell Seam, Upper Hunter Valley, New South Wales. International Journal of Coal Geology, 1: p.35-61.
- Marchioni, D. L. 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: p.125-162.

- McClung, J.D., Geer, M.R., 1979. Properties of Coal and coal impurities. In: Leonard, J.W. Coal Preparation. New York: The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, INC, 1-19p.
- Ruiz, A. S. 2009. Flotação do Carvão Contido no Rejeito da Barragem El Cantor, São Paulo, 94 p. Dissertação de Mestrado, Departamento de engenharia de minas e de petróleo/USP São Paulo.
- Sampaio, C. H. ; Tavares, L. M. M. 2005. Beneficiamento Gravimétrico: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS. 603 p.
- Schopf, J.M. 1956. A definition of coal. *Economic Geology*, 51: 521-527.
- Sibilia, J.P., A guide to materials characterization and chemical analysis. Morristown: VCH Publishers, 1988.
- Silva, M.B. 2012. Classificação internacional do carvão (CEE-NU) da Camada Inferior, Mina do Leão, RS, Brasil. *Revista Escola de Minas*, 65(1), p. 29-33.
- Simão, G., 2012. O carvão da camada Bonito, Jazida Sul Catarinense: uma contribuição para a caracterização petrográfica, química e tecnológica. Porto Alegre, 92p. Monografia de conclusão de curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Suárez-Ruiz, I., Crelling, J.C. 2008. *Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization*. London: Elsevier, 388 p.,.
- Süffert, T., 1997. Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre CPRM, 40p. (Relatório interno).
- Stach, E., Mackowsky, M.Th., Teichmüller, M., Taylor, G., Chandra, G., Teichmüller, R. 1982. *Coal Petrology*, 3.ed. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. 535p.
- Stopes, M. C. 1919. On the four visible ingredients in banded bituminous coals. *Proceedings of the Royal Society Bull.*, v. 90, p. 470-487.,.
- Taylor, G.H., Teichmüller, Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R & Robert, P. 1998. *Organic Petrology*. Berlin, 704p.
- UN. United Nations. 1998. *International Classification of in-seam coals*. Geneva, Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, United Nations, 41p.