

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

**O POTENCIAL DE GERAÇÃO CBM (*COALBED METHANE*) NA JAZIDA SUL  
CATARINENSE DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL: CARACTERÍSTICAS  
PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DAS CAMADAS BARRO BRANCO, IRAPUÁ E  
BONITO**

PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI

ORIENTADOR: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

Porto Alegre - 2014

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

**O POTENCIAL DE GERAÇÃO CBM (*COALBED METHANE*) NA JAZIDA SUL  
CATARINENSE DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL: CARACTERÍSTICAS  
PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DAS CAMADAS BARRO BRANCO, IRAPUÁ E  
BONITO**

PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI

ORIENTADOR: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Osório  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maristela Bagatin Silva  
Dr<sup>a</sup>. Marleny Blanco González

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

Porto Alegre - 2014

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à UFRGS e ao Instituto de Geociências pelo ensino de qualidade e infra-estrutura e ao CNPq pela bolsa de mestrado.

Agradeço a Maracajá Mineração Ltda. e a Carbonífera Criciúma por disponibilizar a coleta de amostras durante a perfuração dos poços CBM-SC-2011, CBM-SC-2012 e CBM-SC-2013 utilizados nesse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Kalkreuth, pelos ensinamentos, paciência e por sempre me indicar o caminho correto a seguir.

Ao pessoal do Laboratório de Análise de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo, Gustavo Collares, Thaysa, Marleny, Simone, Gustavo Simão, Mara e Caroline pelas infinitas colaborações e salvamentos.

Aos meus pais, Renato e Dóris pelo amor, suporte, carinho, atenção, dedicação e compreensão durante todo o trabalho, por serem sempre meu porto seguro.

Aos meus amigos pela paciência e por entenderem todas as minhas ausências, em especial a Lela que esteve do meu lado em todos os momentos, me dando apoio sempre que precisei.

Ao meu namorado Diego pela super paciência e por estar sempre do meu lado me ajudando.

E em especial a minha afilhada Laura por sempre me receber com carinho e de braços abertos todos os dias em que eu chego cansada em casa, por sempre me alegrar e fazer sorrir independente de como tenha sido o dia.

Obrigada a todos!

## RESUMO

Atualmente, o *CBM* (*coalbed methane*) representa uma importante fonte de energia alternativa. A mais importante sucessão sedimentar portadora de carvão ocorre na Bacia do Paraná. Este trabalho tem por objetivo analisar as características químicas e petrológicas das camadas de carvão de três furos de sondagens, realizados recentemente na jazida Sul Catarinense no estado de Santa Catarina, com o intuito de avaliar a capacidade de geração de gás metano associado. As sondagens realizadas (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012 e CBM-SC-2013) localizam-se no município de Araranguá e Treviso (SC). A metodologia utilizada teve início com a coleta de amostras de carvão que foram preparadas e submetidas à análise petrográfica e química. Foram amostradas sete camadas de carvão da Formação Rio Bonito: Barro Branco, Irapuá, camada A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior. A descrição de litotipos mostrou um predomínio de carvão fosco bandado (BD) no furo CBM-SC-2012 e carvão fosco (D) no furo CBM-SC-2013. Os resultados petrográficos obtidos indicaram valores médios de 0,60 a 1,26% Rrandom nas camadas analisadas, classificando as camadas segundo o *rank* desde betuminoso alto volátil C até betuminoso médio volátil. A análise de macerais mostra variação na composição das camadas, com predomínio de vitrinita e inertinita. Quanto a análise imediata, as amostras apresentaram uma variação de 34,93 a 65,70% em peso de cinza, já o poder calorífico superior varia de 1858,0 a 5074,8 cal/g. O conteúdo de carbono varia de 4,15 a 65,81 % em peso, e o enxofre varia de 0,22 a 12,43 % em peso. De acordo com os parâmetros analisados, as camadas Barro Branco e Irapuá apresentam as condições necessárias para a geração de gás natural.

**Palavras-chave:** carvão, CBM, jazida Sul Catarinense, Bacia do Paraná

## ABSTRACT

Currently, CBM (coalbed methane) is an important source of alternative energy. The most important coal bearing sedimentary succession in Brazil occurs in the Paraná Basin, with major coal reserves occurring in the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina. The objectives of this study are to determine the chemical and petrological characteristics of coal seams from three boreholes (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012 and CBM-SC-2013), conducted recently in South Santa Catarina coalfield located in the areas of Treviso and Araranguá (SC), in order to assess the capacity of the coal seams to generate and store methane. From these boreholes seven coal seams of the Rio Bonito Formation were sampled: Barro Branco, Irapuá, seam A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior and Pré-Bonito Inferior and were prepared for petrographical and chemical analyses. The description of lithotypes showed a predominance of banded dull (BD) in hole CBM-SC-2012 and dull (D) in hole CBM-SC-2013. Petrographic results indicated average vitrinite reflectance values from 0.60 to 1.26 % R<sub>random</sub>, classifying the seams according to rank ranging from high volatile bituminous C to medium volatile bituminous. Maceral analysis shows significant variations in maceral composition of the seams, with a predominance of vitrinite and inertinite. Results from proximate analysis showed a variation from 34.93 to 65.70 wt% in ash yields, whereas the gross calorific value varied from 1858.0 to 5074.8 cal /g. The carbon content ranged from 4.15 to 65.81 wt%, and sulfur content ranged from 0.22 to 12.43 wt%. According to petrographical and chemical characteristics the Barro Branco and Irapuá seams are considered to have good gas generation and storage capacity, whereas the Bonito seam has less potential because of its richness in mineral matter (ash yield).

**Keywords:** coal, CBM, South Santa Catarina coalfield, Paraná basin

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Microscópio utilizado nas análises petrográficas..... 16
- Figura 2.** (A) Bomba Calorimétrica com o cilindro acoplado e (B) partes do cilindro. Modificado do Manual IKA WERKE C2000 basic/control.....20
- Figura 3.** A) Equipamento utilizado para análise elementar, modelo Vario MACRO. B) Carrocel com capacidade para análise de 60 amostras. ....21
- Figura 4.** Esquema ilustrando a formação de carvão, com mudanças de alguns parâmetros principais usados na determinação do rank: matéria volátil (M.V.%), reflectância da vitrinita (R%) e poder calorífico (PC).....24
- Figura 5.** Mapa geológico da Bacia do Paraná. (modificado de Milani, 2000). ....30
- Figura 6.** Localização da Bacia do Paraná ressaltando a distribuição das jazidas de carvão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; no quadro interno destaca-se a Litoestratigrafia, da Formação Rio Bonito. (modificado de Kalkreuth et al., 2003). ....35
- Figura 7.** Localização dos três furos de sondagens (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012, CBM-SC-2013) na jazida Sul Catarinense (SC).....36
- Figura 8.** Perfil esquemático correlacionando as camadas de carvão dos três furos de sondagem utilizados. B.B – Barro Branco; I – Irapuá; A – Camada A; B.S – Bonito Superior; B.I – Bonito Inferior; P.B.S – Pré-Bonito Superior; P.B.I – Pré-Bonito Inferior. ....38
- Figura 9.** Descrição dos litotipos por camada no furo CBM-SC-2012. B – brilhante; BB – bandado brilhante; BC – carvão bandado; BD – carvão fosco bandado; D – carvão fosco; R – rocha. ....42

<b>Figura 10.</b> Descrição dos litotipos por camada no furo CBM-SC-2013. B – brilhante; BB – bandado brilhante; BC – carvão bandado; BD – carvão fosco bandado; D – carvão fosco; R – rocha. ....	43
<b>Figura 11.</b> Perfil esquemático mostrando a variação do conteúdo de cinzas e dos valores da reflectância da vitrinita dentro das camadas de carvão. ....	46
<b>Figura 12.</b> Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais (sem matéria mineral) das amostras das camadas de carvão dos três furos. ....	50
<b>Figura 13.</b> Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais (sem matéria mineral) das camadas totais de carvão dos três furos. ....	51
<b>Figura 14.</b> Perfil esquemático mostrando a distribuição dos grupos de macerais e matéria mineral.....	53
<b>Figura 15.</b> Classificação do carvão segundo o percentual de cinzas. Modificado de International Classification of in-coal seams, 1998.....	55
<b>Figura 16.</b> Gráfico dos valores de poder calorífico superior relacionado com o conteúdo de cinzas. ....	56

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Número, profundidade e espessura das amostras e a camada a que pertencem. B.B – Barro Branco, I – Irapuá, A – Camada A, B.S – Bonito Superior, B.I – Bonito Inferior, P.B.S – Pré-Bonito Superior, P.B.I – Pré-Bonito Inferior. ....39

**Tabela 2.** Resultados da reflectância da vitrinita das camadas de carvão analisadas. Rr (%) – Rrandom (%); Rr (%) médio – Rrandom (%) por camada; BAV A – Betuminoso alto volátil A; BAV B – Betuminoso alto volátil B; BAV C – Betuminoso alto volátil C; BMV – Betuminoso médio volátil. ....44

**Tabela 3.** Resultados da análise de macerais mostrando a composição maceral e mineral e macerais recalculados (sem matéria mineral) por amostra e por camada total. M.M – matéria mineral, S/MM – sem matéria mineral; Esp. – espessura, B.B – Barro Branco, I – Irapuá, A – Camada A, B.S – Bonito Superior, B.I – Bonito Inferior, P.B.S – Pré-Bonito Superior, P.B.I – Pré-Bonito Inferior. ....48

**Tabela 4.** Resultados da análise imediata e poder calorífico superior por camada: Cz (%) – cinza; Umd (%) – percentual de umidade em amostras como recebidas; MV (%) – matéria volátil; MV(d.a.f) – matéria volátil dry ash free (seco e livre de cinzas); CF – carbono fixo; PCS – poder calorífico superior. ....54

**Tabela 5.** Resultados da análise elementar onde N – nitrogênio, C – carbono, H – hidrogênio, S – enxofre, O – oxigênio, expressos na forma de % em peso. ....57



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Classificação dos litotipos (Stopes, 1919) e (Diessel, 1965). .....	25
<b>Quadro 2.</b> Classificação dos macerais adotada nesse estudo (ICCP, 1971, 1998, 2001, modificado).....	26
<b>Quadro 3.</b> Litoestratigrafia do intervalo de interesse desse estudo e delimitação da Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, (Modificado de Kalkreuth et al., 2010). .....	31
<b>Quadro 4.</b> Coordenadas UTM dos poços. ....	35
<b>Quadro 5.</b> Classificação dos litotipos (Stopes, 1919) e (Diessel, 1965). .....	40

## LISTA DE ABREVIações

CBM – *Coalbed methane*

D.A.F – *dry ash free* (base seca e livre de cinzas)

Rr (%) – Rrandom (%) – reflectância da vitrinita

M.M – matéria mineral

B.B – Barro Branco

I – Irapuá

A – camada A

B.S – Bonito Superior

B.I – Bonito Inferior

P.B.S – Pré-Bonito Superior

P.B.I – Pré-Bonito Inferior

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 Estrutura da Dissertação.....	13
1.2 Objetivos .....	14
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>
2.1 Preparação das Amostras.....	14
2.2 Análises Petrográficas.....	15
2.2.1 Reflectância da vitrinita.....	15
2.2.2 Análise de Macerais .....	16
2.3 Análises Químicas.....	17
2.3.1 Análise Imediata.....	17
2.3.1.1 Porcentagem de Umidade.....	17
2.3.1.2 Porcentagem de Cinzas .....	18
2.3.1.3 Porcentagem de Matéria Volátil.....	18
2.3.1.4 Carbono Fixo .....	19
2.3.2 Poder Calorífico.....	19
2.3.3 Análise Elementar .....	21
<b>3. ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>22</b>
3.1 Formação do Carvão .....	22
3.2 <i>Rank</i> do Carvão.....	23
3.3 Constituintes macroscópicos do Carvão.....	24
3.4 Constituintes microscópicos do Carvão .....	25
3.5 Gás natural associado com as camadas de carvão ( <i>CBM</i> ) .....	27
3.5.1 Fatores que influenciam o <i>CBM</i> .....	27
3.5.2 Composição do gás natural.....	27
3.5.3 Geração .....	28
<b>4. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>29</b>
4.1 Geologia Regional.....	29

2.2 Geologia Local.....	30
<b>5. ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>33</b>
<b>Metodologia .....</b>	<b>37</b>
<b>Resultados e Discussões .....</b>	<b>41</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>59</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>60</b>
<b>6. REFERÊNCIAS (CAPÍTULOS 1 – 4).....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a principal e de longe mais importante sucessão sedimentar portadora de carvão ocorre na Bacia do Paraná, que é uma vasta bacia paleozóica sul-americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Ordoviciano e o Cretáceo (Zalán *et al.*, 1990; Milani *et al.*, 2007). As camadas de carvão em questão pertencem à Formação Rio Bonito, que teve sua gênese durante o Eopermiano da Bacia do Paraná em pântanos associados a um paleoambiente parálico. O *rank* desses carvões varia desde sub-betuminoso na jazida de Candiota (RS) até betuminoso alto volátil A e antracita (em contato com diques vulcânicos) na jazida de Santa Terezinha (RS) e na jazida Sul Catarinense (SC) (Kalkreuth *et al.*, 2010).

Com a diminuição dos recursos mundiais de petróleo e gás natural em reservatórios convencionais, o interesse por outras fontes de energia alternativa como o metano em camadas de carvão (*CBM*), vem se intensificando nos últimos anos. Para avaliar o potencial de *CBM* no Brasil, como fonte regional de energia é necessário aumentar os estudos sobre o conteúdo de gás e o *rank* e a composição do carvão em diferentes níveis de profundidade dos possíveis reservatórios, com a finalidade de avaliar a capacidade de geração de metano nas camadas do depósito. O termo *CBM* (*coalbed methane*) é a nomenclatura utilizada para se referir ao gás metano gerado e armazenado nas camadas de carvão.

### 1.1 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de artigos publicados em periódicos ou publicações equivalentes. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, metodologia utilizada para a obtenção dos resultados;
- b) Estado da arte sobre o tema da pesquisa;
- c) Artigo submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, ou publicações equivalentes (capítulo de livro de publicação

nacional ou internacional com corpo de revisores independentes), escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado.

## **1.2 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo analisar as características químicas e petrológicas das camadas de carvão de três furos de sondagens, realizados na jazida Sul Catarinense no estado de Santa Catarina, com o intuito de avaliar a capacidade de geração e armazenagem de gás metano associado com as camadas de carvão. Para isso foram coletadas amostras de carvão em três furos de sondagens nas camadas de carvão da Formação Rio Bonito na jazida Sul Catarinense, que foram submetidas a análises.

Posteriormente serão publicados os resultados das análises de desorção e adsorção realizadas nas mesmas camadas de carvão da jazida Sul Catarinense, com o objetivo de determinar o conteúdo de gás contido nas camadas de carvão, bem como a capacidade de adsorção para verificar o potencial de armazenamento de gás da jazida.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Preparação das Amostras**

O processo de preparação das amostras de carvão consiste na secagem em estufa com temperatura  $\leq 40^{\circ}\text{C}$ , após isso as amostras são passadas por um triturador de mandíbulas e homogeneizadas em uma peneira de malha  $< 4,5$  mm. São então quarteadas e reduzidas a sub-amostras. Uma parte dessas sub-amostras é pulverizada até a fração  $< 200$  mesh e posteriormente acondicionadas em potes com 20 gramas destinadas a cada uma das análises químicas.

Cerca de 20 gramas de amostra com tamanho de grão entre 0,25-0,80 mm são utilizadas para o embutimento na confecção de seções polidas em grão, de acordo com as normas estabelecidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM D2013/2013M-12, 2012).

As seções polidas em grão foram confeccionadas a partir da colocação das 20 gramas de amostra no fundo de uma forma de plástico, untada com vaselina. A amostra é misturada com uma resina do tipo Epóxi (Araldite GY279) e Aradur

endurecedor (HY951) a um volume de 20% do conteúdo de araldite. Nesta fase, já é colocado o número da amostra dentro do embutimento. As seções polidas ficam secando e endurecendo por 24 horas em temperatura ambiente dentro de uma capela fechada, com exaustor, para evitar a absorção de umidade. Após o endurecimento a amostra é removida das formas plásticas e submetidas ao desgaste de uma das faces em lixadeira manual da marca Prazis APL- 4D, utilizando lixas de granulometria 400  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  e 1200  $\mu\text{m}$ , respectivamente, durante dois minutos em cada lixa.

Após o lixamento, as amostras são submetidas a um banho de ultra-som na *Ultrasonic Cleaner* da marca Unique por dois minutos e são polidas em politrizes DP-10 na marca Panambra com aluminas Teclago de 0,3  $\mu\text{m}$  e 0,05  $\mu\text{m}$ , respectivamente, por dois minutos com cada alumina e com um banho de ultra-som entre elas e outro após a utilização da alumina 0,05  $\mu\text{m}$  para a eliminação de cada tipo de alumina. Depois disso, a seção polida está pronta para ser analisada em microscópio.

## 2.2 Análises Petrográficas

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, foram realizadas análises petrográficas para definir a composição e o *rank* do carvão das camadas coletadas nas sondagens, em termos de constituintes orgânicos. Além de identificar os componentes que formam a matéria orgânica e seu aspecto interior em cada amostra coletada, permitem ainda avaliar certas características genéticas de carvão. Estas características podem nos revelar importantes informações para definirmos o potencial de estocagem e produção de metano *in situ* do carvão analisado. Foram feitas análises quantitativas dos grupos de macerais e a determinação do grau de carbonificação (*rank*) do carvão, utilizando a técnica da reflectância da vitrinita em seções polidas das amostras.

### 2.2.1 Reflectância da vitrinita

Para se determinar o grau de carbonificação ou *rank* de uma amostra de carvão, é feita uma média aritmética das reflectâncias encontradas. São feitas 100 medidas em partículas de vitrinita (colotelinitas) em cada uma das seções polidas. Esse resultado é então comparado com padrões de reflectância conhecidos e o grau de carbonificação (*rank*) da amostra analisada é determinado.

O equipamento utilizado é um Microscópio *Leica DM6000 M* (Fig. 1) com câmera acoplada e monitor de resolução de 256 pixels, em Luz refletida, objetiva de 20X, em óleo de imersão *Immersol 518 F* e oculares de 20X. As análises foram realizadas no Laboratório de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo do Instituto de Geociências da UFRGS utilizando-se o padrão Yttrium-Alumínio-Granada, com reflectância nominal de 0,895 Rrandom (%) (ISO 7404/5, 2009).

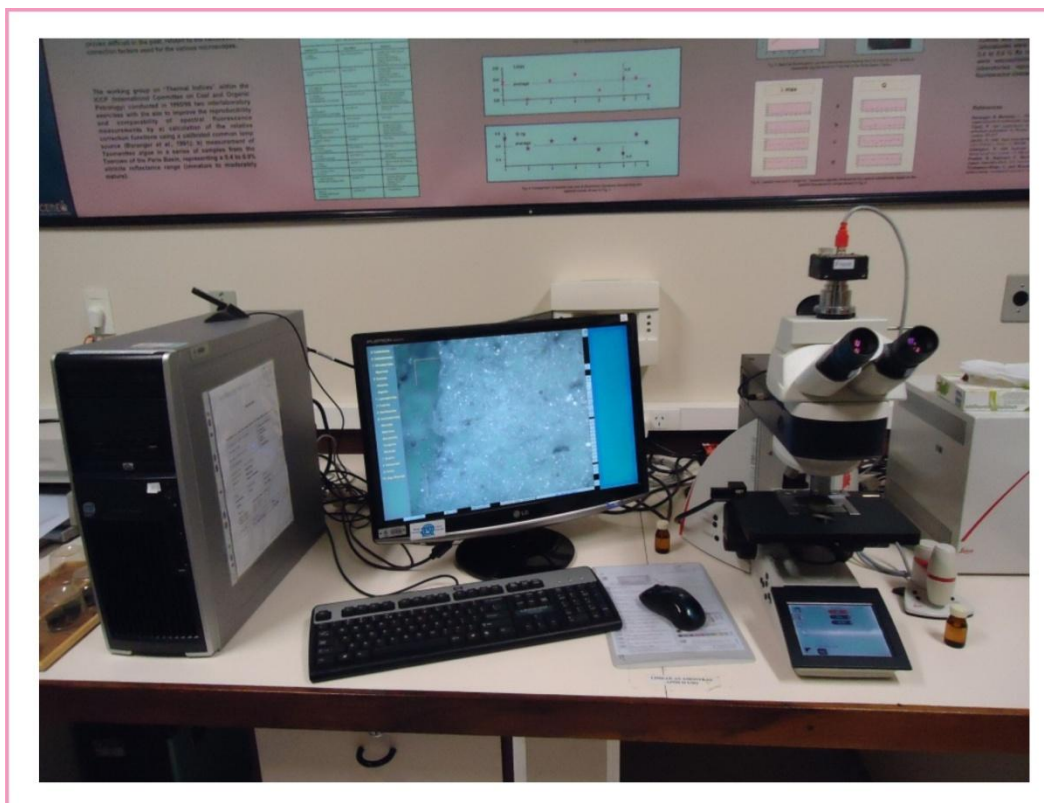


Figura 1. Microscópio utilizado nas análises petrográficas.

### 2.2.2 *Análise de Macerais*

O equipamento utilizado é o mesmo microscópio descrito anteriormente. É baseada na contagem de 500 pontos (ISO-7404/3, 2009), realizada em linhas regulares e espaços pré-definidos (distância aproximadamente igual à metade do tamanho da partícula) para evitar que mais de um ponto na mesma partícula seja contado. É analisada em luz branca refletida e em luz de fluorescência através de excitação usando uma lâmpada de Hg e um filtro azul, que ajuda na identificação dos macerais do grupo liptinita. A análise petrográfica é expressa em vol% e foi



realizada no Laboratório de Análise de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo, no Instituto de Geociências da UFRGS.

### 2.3 Análises Químicas

Foram realizadas as seguintes análises químicas: análises imediatas, poder calorífico e análise elementar.

#### 2.3.1 Análise Imediata

É composta por quatro tipos de análises: % de umidade, % de cinzas, % de matéria volátil e de carbono fixo, que serão detalhadas nos tópicos seguintes. Com a análise imediata se obtém a quantidade relativa dos compostos orgânicos leves (matéria volátil) em oposição à matéria orgânica não volátil (carbono fixo). Além disso, é possível determinar a quantidade de umidade no carvão e dos compostos inorgânicos na forma de resíduos ou cinzas deixados quando este é submetido à combustão. Sendo que, os resultados são expressos normalmente em uma base seca. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo do Instituto de Geociências da UFRGS.

##### 2.3.1.1 Porcentagem de Umidade

É determinada de acordo com a norma ASTM D 3173-87 (1991) e fornece o percentual de umidade na amostra de carvão. A análise baseia-se no cálculo da perda de peso da amostra quando esta é submetida a um aquecimento sob condições rígidas de controle de temperatura, tempo e atmosfera.

O procedimento consiste em queimar em um forno pré-aquecido com temperatura entre 104°C-110°C, 1,0 g de amostra condicionada em um cadinho de vidro por uma hora, aplicando-se um fluxo de ar seco. No fim, pesa-se a amostra novamente e calcula-se o teor de umidade através da equação:

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

Onde:

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

B = massa da amostra após o aquecimento

### 2.3.1.2 Porcentagem de Cinzas

As cinzas são os resíduos inorgânicos que permanecem após a ignição da combustão do carvão. Segundo a norma ASTM D 3174 (1991) o teor de cinza é determinado pela pesagem dos resíduos após a queima do carvão sob condições rígidas de controle de peso da amostra, temperatura, tempo e atmosfera. O procedimento consiste em levar a um forno de mufla da marca *Quimis*, inicialmente em temperatura ambiente, 1,0 g de amostra em um cadinho de porcelana, iniciando o aquecimento do forno gradualmente, até atingir uma temperatura de 500°C durante uma hora e 750°C no final da segunda hora, mantendo a essa temperatura por mais duas horas. Durante o aquecimento se mantém uma taxa de fluxo de ar de 2-4 mudanças por minuto do volume relativo do forno. Após isso, a amostra é resfriada e pesada novamente. A porcentagem de cinzas é calculada conforme a equação:

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

Onde:

A = massa do cadinho com tampa + resíduos de cinza (peso depois do aquecimento)

B = massa do cadinho com tampa vazio

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

### 2.3.1.3 Porcentagem de Matéria Volátil

Conforme a norma ASTM D 3175 (1991), esse método determina o percentual de produtos gasosos do carvão, que são liberados sob condições controladas de aquecimento. O conteúdo de matéria volátil é estabelecido pela perda de peso da amostra corrigida para o conteúdo de umidade.

O procedimento consiste em levar 1,0 g de amostra de carvão em um cadinho de platina com tampa a um forno de mufla pré-aquecido a 950°C durante 7 minutos. Durante o aquecimento se mantém uma taxa de fluxo de ar de 2-4 mudanças por

minuto. Após isso, deixa-se o cadinho resfriar até atingir a temperatura ambiente e pesa-se novamente a amostra.

A porcentagem de matéria volátil é calculada em duas etapas de acordo com as seguintes equações:

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

Onde:

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

B = massa da amostra após o aquecimento

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

Onde:

C = % de perda de peso

D = % de umidade (descrito anteriormente, conforme a norma ASTM D 3173-87).

#### 2.3.1.4 Carbono Fixo

Esse método expressa a quantidade de matéria orgânica não volátil presente no carvão. É calculado pela soma das porcentagens de umidade, cinza e matéria volátil, subtraído de 100, conforme a seguinte equação:

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

#### 2.3.2 Poder Calorífico

De acordo com a norma ASTM D 2015 (1991), esse método determina o calor produzido pela combustão de uma quantidade unitária de uma substância sob condições específicas. A análise baseia-se na combustão de uma amostra sob atmosfera de oxigênio em uma Bomba Adiabática Calorimétrica (Fig. 2). O procedimento consiste em colocar um cilindro dentro de uma quantidade de água conhecida e com uma temperatura pré-definida. O acréscimo da temperatura dessa água causado pela combustão é monitorado. O valor real é então comparado com uma amostra de referência (ácido benzóico). Para otimizar o processo de combustão, o cilindro é preenchido com oxigênio puro (99,95%) em uma pressão de 30 bar. O valor do poder calorífico de uma determinada amostra é dado pelo cálculo

do acréscimo da temperatura da água no interior da bomba depois que a ignição da combustão da amostra ocorre dentro do cilindro.

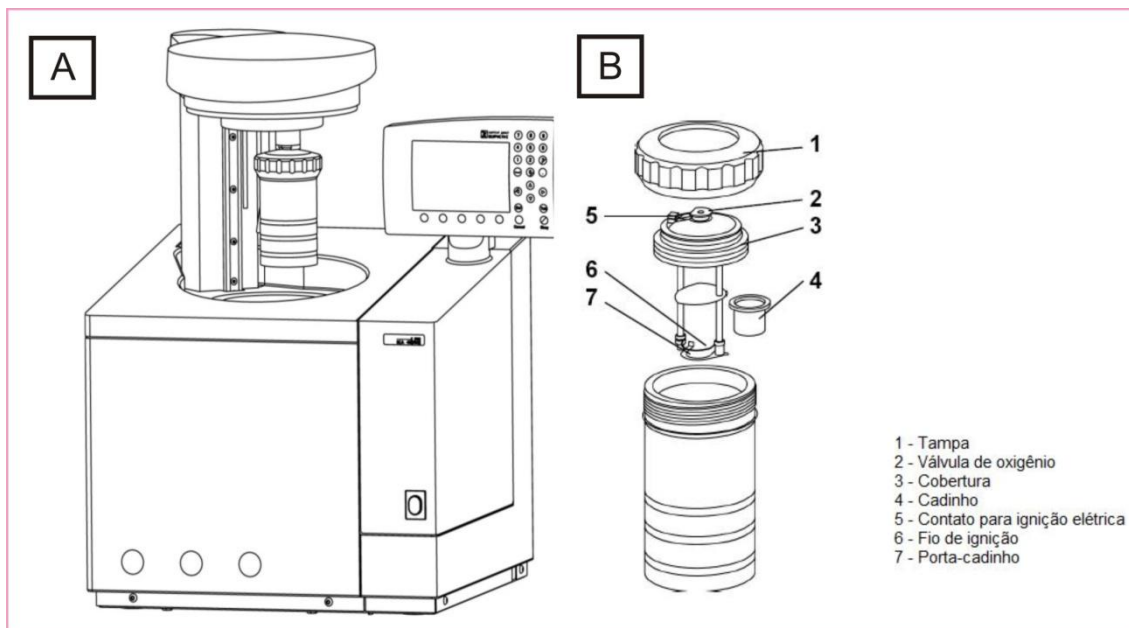


Figura 2. (A) Bomba Calorimétrica com o cilindro acoplado e (B) partes do cilindro. Modificado do Manual IKA WERKE C2000 basic/control.

O valor do poder calorífico da amostra é calculado pela seguinte equação:

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

Onde:

C = Poder Calorífico da amostra.

H<sub>ob</sub> = Poder calorífico do ácido benzóico.

m = massa da amostra.

ΔT = Aumento da temperatura durante a combustão da amostra.

O equipamento utilizado nessa análise foi uma Bomba Calorimétrica da marca *IKA* modelo *C2000 Basic* do Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo, no Instituto de Geociências da UFRGS.

### 2.3.3 Análise Elementar

Os elementos principais, tais como: carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre, presentes na matéria orgânica do carvão, são determinados através da análise elementar. O carbono inorgânico (carbonatos) foi removido antes da análise, através da lavagem com ácido clorídrico e água destilada. Baseada na norma ASTM 5373-93, onde cada amostra de carvão é individualmente queimada em ambiente oxidante ao passar por dois fornos, sendo um de combustão e o outro de oxidação, que atingem temperaturas de 1150°C e 850°C respectivamente. Os gases produzidos na combustão são levados através de uma corrente de gás hélio até um terceiro forno de redução, onde se formam os gases  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $SO_2$  que podem ser quantificados. Essa mistura de gases formada é direcionada para três colunas, onde são detectados os valores de condutividade térmica (TCD). Os resultados são dados em porcentagem dos elementos C,H,N e S, e o teor de oxigênio é dado pela soma desses elementos mais o teor de cinzas, subtraído de 100.

A análise elementar foi realizada em um equipamento da marca *Elementar* modelo *Vario MACRO* (Fig. 3), no Laboratório de Análise de carvão e Rochas Geradoras de Petróleo, Instituto de Geociências, UFRGS.

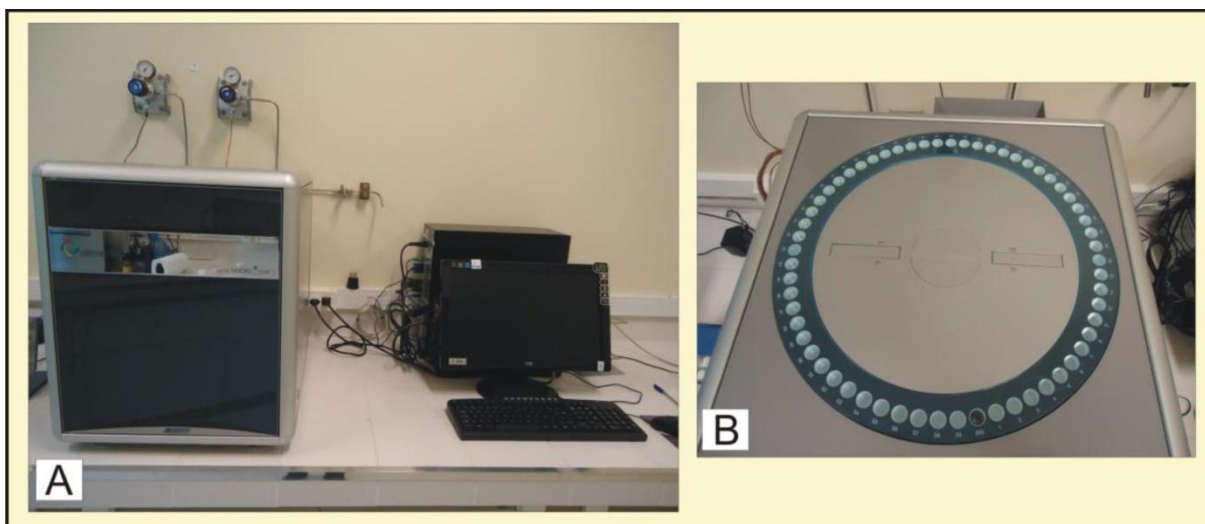


Figura 3. . A) Equipamento utilizado para análise elementar, modelo Vario MACRO. B) Carroucel com capacidade para análise de 60 amostras.

### 3. ESTADO DA ARTE

De acordo com Schopf (1956) o carvão é uma rocha combustível que contém mais de 50 por cento de peso e mais de 70 por cento do volume de material carbonoso. É formado por compactação ou endurecimento de plantas remanescentes, similar aos depósitos de turfa. As diferenças nos tipos de plantas, no grau de diagênese ou catagênese e escala de impureza são características das variedades de carvão.

#### 3.1 Formação do Carvão

De acordo com a origem da matéria orgânica, formam-se dois tipos diferentes de carvão: carvão sapropélico e carvão húmico.

O carvão sapropélico é caracterizado pelo enriquecimento em esporos e algas. São chamados de carvão do tipo *channel* quando são ricos em esporos e carvão tipo *boghead*, quando são ricos em algas.

O carvão húmico se origina de restos de plantas terrestres superiores depositadas em áreas alagadas (pântanos). A matéria vegetal fica protegida da ação do oxigênio do ar e assim sofre decomposição parcial, seguida de ação bacteriana. A pressão exercida pelas camadas sobrepostas, processos de subsidência bem como o efeito da temperatura e tempo, também são fatores que atuam na formação do carvão.

O processo de carbonificação é responsável pela transformação da matéria vegetal em carvão, decorrente de processos bioquímicos e geoquímicos (MINEROPAR, 1980). O processo de carbonificação pode ser descrito como um enriquecimento relativo de carbono fixo a custo de outros elementos, como hidrogênio e oxigênio, que são expulsos sob a forma de água, dióxido de carbono e metano. A carbonificação desenvolve-se sob condições de temperatura e pressão que são consideradas como equivalentes aos estágios diagenéticos e epimetamórficos das rochas sedimentares inorgânicas. Essa transformação gradual da matéria vegetal em carvão, ou *rank* do carvão, dá origem aos estágios de turfa, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso até antracita e grafite.

### 3.2 Rank do Carvão

O *Rank* ou grau de carbonificação do carvão é determinado pelo grau de diagênese e/ou catagênese que o carvão foi submetido pelo soterramento e efeitos tectônicos. Refere-se ao nível de maturação térmica do carvão, decorrente do processo de carbonificação. O avanço da carbonificação leva a mudanças químicas, bioquímicas e físicas, tais como: decréscimo no conteúdo de água e porosidade; aumento da densidade; condensação de moléculas orgânicas; polimerização; aromatização e perda de grupos funcionais.

Os principais parâmetros para a determinação do grau de carbonificação do carvão são: umidade, poder calorífico, matéria volátil, carbono fixo total, teor de hidrogênio e reflectância da vitrinita (Fig. 4).

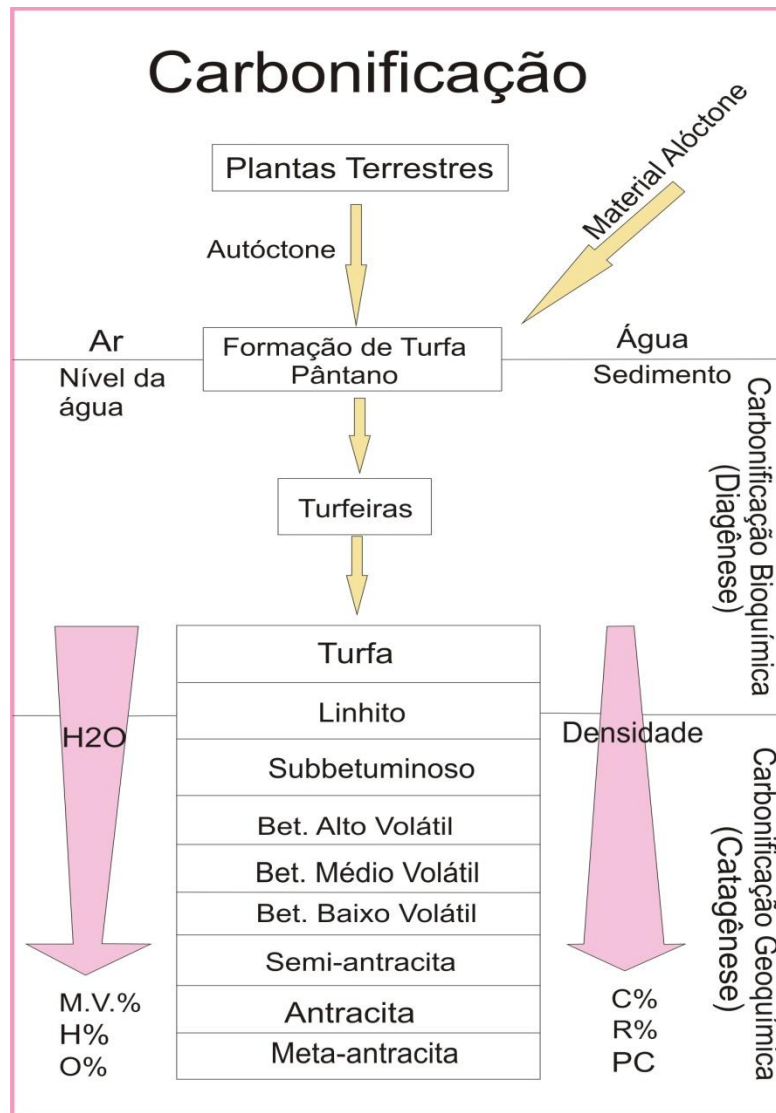


Figura 4. Esquema ilustrando a formação de carvão, com mudanças de alguns parâmetros principais usados na determinação do rank: matéria volátil (M.V.%), reflectância da vitrinita (R%) e poder calorífico (PC).

### 3.3 Constituintes macroscópicos do Carvão

De acordo com o Comitê Internacional de Petrologia Orgânica e do Carvão – ICCP (1971), litotipos são bandas que podem ser identificadas macroscopicamente no carvão, principalmente pelo brilho (Stach, 1982), tendo espessura mínima de 1 cm, que podem refletir o tipo de contribuição da matéria orgânica e inorgânica, bem como as variações químicas e físicas sofridas durante a acumulação em turfeiras (Kalkreuth e Leckie, 1989). Marchioni e Kalkreuth (1991) demonstraram que em geral o conteúdo de vitrinita tende a diminuir gradualmente e os conteúdos de inertinita, liptinita e matéria mineral tendem a aumentar conforme a diminuição dos



componentes brilhantes. Neste trabalho, foi adotada a classificação contida em Diessel (1965) (Quadro 1).

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

<b>ICCP- Stopes</b>	<b>Diessel (1965)</b>	<b>Descrição</b>
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.

### 3.4 Constituintes microscópicos do Carvão

O carvão é composto, microscopicamente, por uma mistura complexa de componentes orgânicos chamados macerais e de material inorgânico. Os macerais são remanescentes de plantas carbonificadas, que apresentam forma e/ou estrutura preservada no 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).

Os macerais são divididos em três grupos de origens distintas: vitrinita, liptinita e inertinita. 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 plantas relativamente ricas em hidrogênio, tais como esporopolenina, resinas, ceras e graxas. A inertinita é derivada das mesmas substâncias que formam a vitrinita, mas submetidas a um processo de oxidação antes da deposição em ambiente pantanoso, esse maceral é relativamente inerte a queima. O material inorgânico associado é constituído principalmente por silicatos, argilominerais, carbonatos e sulfetos (ICCP, 1971).

Neste trabalho foi adotada a nomenclatura da norma editada pelo Comitê Internacional para Petrologia Orgânica e do Carvão (ICCP, 1971), que está detalhada no quadro 2.

Quadro 2. Classificação dos macerais adotada nesse estudo (ICCP, 1971, 1998, 2001, modificado).

Grupos de Macerais	Subgrupo de Macerais	Maceral	Origem
Vitrinita	Telovitrinita	Telinita	Paredes celulares de tecidos lenhosos e parênquimáticos
		Colotelinita	Tecidos lenhosos parênquimáticos do caule, folhas e raízes.
	Detrovitrinita	Vitrodetrinita	Produto da decomposição dos tecidos lenhosos e parênquimáticos
		Colodetrinita	Produto da decomposição dos tecidos lenhosos e parênquimáticos
	Gelovitrinita	Corpogelinita	Primária de estruturas de dentro das células (tanino, secreções) ou secundária como produto da precipitação de géis húmicos
		Gelinita	Formado a partir de colóides húmicos durante a diagênese precoce seguido de precipitação com gel coloidal
Liptinita		Esporinita	Pólen e esporos
		Cutininita	Cutículas e folhas
		Resinita	Resinas e graxas
		Algininita	Algas ou bactérias
		Liptodetrinita	Fragmentos de outros macerais deste grupo

Inertinita	Fusinita	Paredes celulares ligno-celulósicas
	Semifusinita	Parênquimas e xilênquimas de troncos e folhas
	Micrinita	Forte fragmentação de outros macerais deste grupo
	Macrinita	Alteração de substâncias húmicas
	Secretinita	Oxidação de resinas e géis húmicos
	Funginita	Esporos de fungos e tecidos
	Inertodetrinita	Material fitogenético sujeito a fusinização

### 3.5 Gás natural associado com as camadas de carvão (*CBM*)

#### 3.5.1 Fatores que influenciam o *CBM*

Existem muitos fatores condicionantes para a ocorrência e geração e armazenagem de *CBM*. Os mais importantes são a composição maceral do carvão, conteúdo de cinza, *rank*, porosidade, permeabilidade, além da espessura do pacote rochoso sobre as camadas carvão (para não haver escape de gás), a ocorrência de intrusões ígneas e falhamentos.

#### 3.5.2 Composição do gás natural

O gás natural associado às camadas de carvão é composto por hidrocarbonetos leves (metano, etano, propano, butano e n-propano) e gases não-hidrocarbonetos, como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He e outros. O metano é o componente dominante, seguido do etano e hidrocarbonetos mais pesados, em geral com uma pequena quantidade de CO<sub>2</sub>, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e hélio (Rice, 1993 *apud*

Butland, 2006; Clayton, 1998)<sup>1</sup>. Estudos recentes no Brasil, na jazida de Santa Terezinha (RS), mostram que de fato o metano é o principal componente (variando de 94 a 99%) do gás natural associado às camadas de carvão (Kalkreuth *et. al*, 2013).

### 3.5.3 Geração

A geração de gás natural a partir do carvão é controlada por dois processos (Rice, 1993 *apud* Butland, 2006) e pode ser:

1 – Geração biogênica: gás composto principalmente por metano e CO<sub>2</sub> que tenham sido produzidos pela decomposição da matéria orgânica por microorganismos, comumente em turfeiras de pântanos. Para a geração e preservação de gás biogênico são necessárias algumas condições específicas, tais como ambiente anóxico, baixa concentração de sulfatos, baixa temperatura, abundância de matéria orgânica, elevado pH, porosidade adequada e rápida sedimentação.

2 – Geração termogênica: forma gases em temperaturas elevadas, associadas com o aumento da carbonificação. Os gases gerados, principalmente o metano, são provenientes do craqueamento das moléculas de carvão. O início da geração de quantidades significativas de hidrocarbonetos gasosos termogênicos ocorre a partir da entrada na catagênese (reflectância da vitrinita entre 0,6 e 2%). A quantidade de gás tende a aumentar com a evolução térmica.

Durante a carbonificação os hidrocarbonetos são liberados juntamente com outros gases (tais como nitrogênio), carbono e água. Uma porção significativa dos gases é armazenada por adsorção física em microporos ou fraturas nas camadas de carvão ou de sedimentos associados, devido às forças de Van der Waals (Butland, 2006).

De acordo com Kalkreuth *et al*, (2013), estudos na jazida de Santa Terezinha (RS) através da determinação de isótopos de carbono e hidrogênio sugerem que o gás é gerado de ambas formas: biogênica e termogênica, sugerindo uma mistura de gases.

---

<sup>1</sup> Rice, D. D. 1993. Composition and Origins of Coalbed Gas. **AAPG Special Publication**, Studies in Geology, 38(7): 159-184.

## 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

### 4.1 Geologia Regional

A área de estudo está inserida no contexto geológico da borda sul-sudeste da Bacia do Paraná (Fig. 5), a qual se localiza na porção centro-leste da Plataforma Sul-Americana. Com uma área total de 1.500.000 km<sup>2</sup> (Milani *et al.*, 2007), a bacia ocupa cerca de 1.000.000 km<sup>2</sup> na região brasileira (Schneider *et al.*, 1974), abrangendo os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Inclui porções territoriais do Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai. A Bacia tem uma forma ovalada com eixo maior N-S, sendo seu contorno atual definido por limites erosivos (Milani, 2007). Apresenta aproximadamente 1.750 km de comprimento e 900 km de largura, é a maior bacia Paleozóica da América do Sul e registra um intervalo de tempo de sedimentação de 450 a 65 Ma, (Milani & Ramos, 1998). O registro estratigráfico da bacia do Paraná compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno de 7 mil metros no seu depocentro (Milani *et al.*, 2007).

O conjunto de rochas sedimentares e vulcânicas que constitui a Bacia do Paraná foi originado pela superposição de seqüências depositadas em diferentes ambientes tectônicos, decorrentes da dinâmica de placas atuante na evolução do Gondwana, (Zalán *et al.*, 1990).

Milani (1997) reconheceu no registro estratigráfico da Bacia do Paraná seis unidades de ampla escala ou supersequências, materializando cada uma delas intervalos temporais com algumas dezenas de milhões de anos de duração e envelopados por superfícies de discordância de caráter inter-regional: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo), (Fig. 5).

De acordo com Milani (1997), as três primeiras supersequências são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivos-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico, ao passo que as demais correspondem a pacotes de sedimentitos continentais com rochas ígneas associadas.

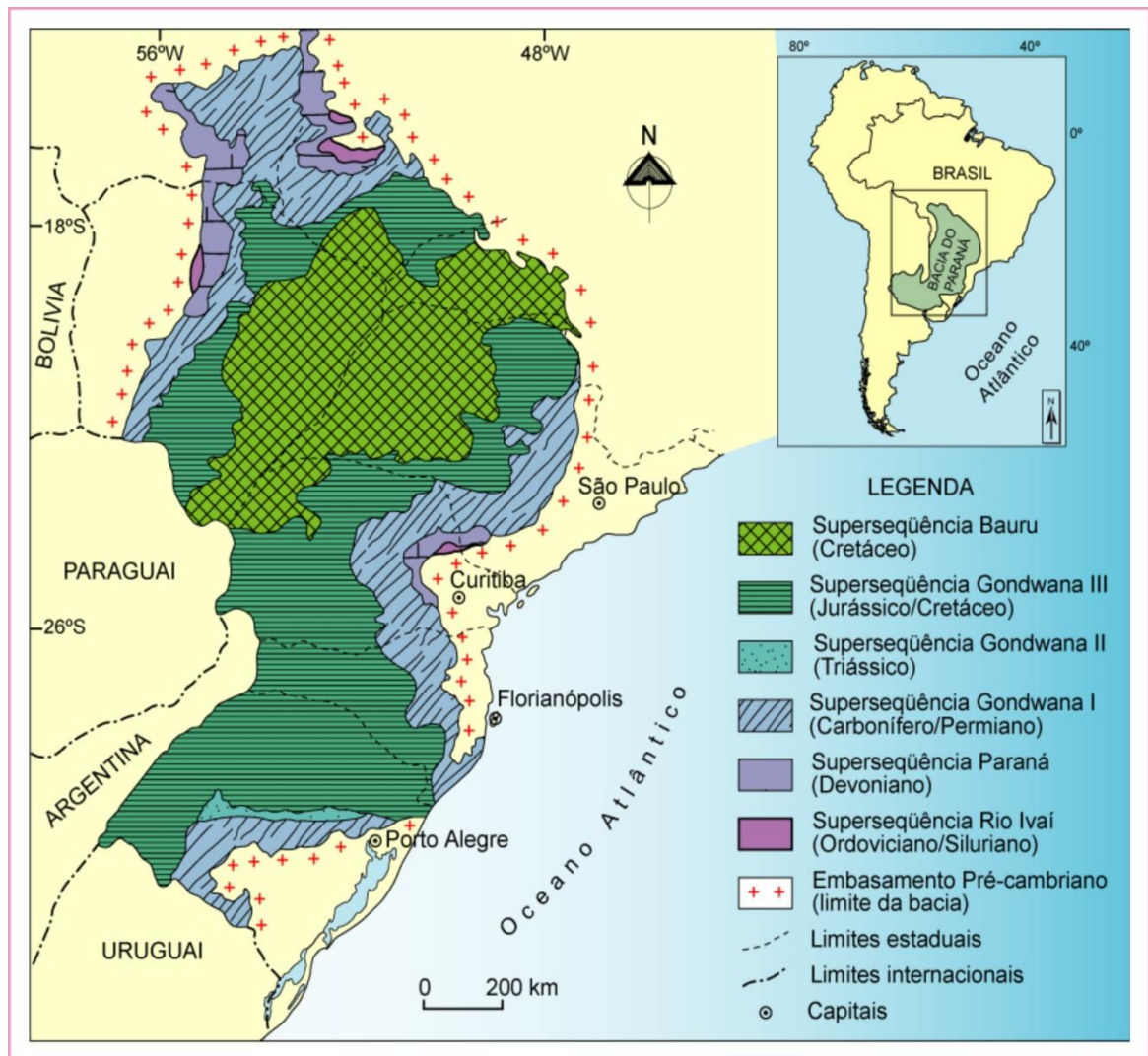


Figura 5. Mapa geológico da Bacia do Paraná. (modificado de Milani, 2000).

## 2.2 Geologia Local

A área de estudo encontra-se inserida na superseqüência Gondwana I (quadro 3), que segundo Milani (1997) engloba o maior volume sedimentar da Bacia do Paraná, aflorando numa faixa contínua ao longo do perímetro da sinéclise e exibindo, em subsuperfície, uma espessura total máxima da ordem de 2.500 metros.

Esta unidade registra um ciclo transgressivo-regressivo completo, que reflete uma grande variedade de condições deposicionais sucedendo-se no tempo e evoluindo entre um contexto Neocarbonífero de sedimentação, com marcada influência glacial, até um amplo e árido interior continental, com domínio de campos de dunas eólicas já no início do Mesozóico.

Quadro 3. Litoestratigrafia do intervalo de interesse desse estudo e delimitação da Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, (Modificado de Kalkreuth et al., 2010).

<b>PERÍODO</b>	<b>SEQUÊNCIA</b>	<b>GRUPO</b>	<b>FORMAÇÃO</b>	<b>MEMBRO</b>	<b>SISTEMA DEPOSICIONAL</b>
Permiano	Gondwana I	Grupo Guatá	Palermo		
			Rio Bonito	Siderópolis	Estuarino/ laguna-barreira/ flúvio-deltaico
				Paraguaçu	Marinho raso
				Triunfo	Estuarino/ laguna-barreira/ flúvio-deltaico

O carvão em estudo pertence ao Membro Siderópolis, da Formação Rio Bonito, que faz parte do Grupo Guatá, da supersequência Gondwana I (Quadro 3).

## 5. ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS

### **O potencial de geração *CBM* (*Coalbed Methane*) na jazida Sul Catarinense da Bacia do Paraná, Brasil: Características Petrográficas e Químicas das camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito**

#### **Resumo**

Atualmente, o *CBM* (*coalbed methane*) representa uma importante fonte de energia alternativa. A mais importante sucessão sedimentar portadora de carvão ocorre na Bacia do Paraná, com as maiores reservas localizadas nas jazidas do RS e SC. Este trabalho tem por objetivo analisar as características químicas e petrológicas das camadas de carvão de três poços, realizados recentemente na jazida Sul Catarinense (SC), com o intuito de avaliar a capacidade de geração de gás metano associado. As sondagens realizadas (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012 e CBM-SC-2013) localizam-se nos municípios de Araranguá e Treviso (SC). A metodologia teve início com a coleta de amostras de carvão que foram submetidas à análise petrográfica e química. Foram amostradas sete camadas de carvão da Formação Rio Bonito: Barro Branco, Irapuá, A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior. A descrição de litotipos mostrou um predomínio de carvão fosco bandado (BD) no CBM-SC-2012 e carvão fosco (D) no CBM-SC-2013. Os resultados petrográficos indicaram valores de 0,60 a 1,26% Rrandom, classificando as camadas analisadas segundo o *rank* desde betuminoso alto volátil C até betuminoso médio volátil. A análise de macerais mostra variação na composição das camadas, com predomínio de vitrinita e inertinita. Quanto a análise imediata, as amostras variaram de 34,93 a 65,70% em peso de cinza, o poder calorífico varia de 1858,0 a 5074,8 cal/g. O conteúdo de carbono varia de 4,15 a 65,81 %, o enxofre varia de 0,22 a 12,43 %. De acordo com os parâmetros analisados, as camadas Barro Branco e Irapuá apresentam condições necessárias para geração e armazenagem de gás natural, enquanto que a camada Bonito apresenta baixo potencial devido ao alto conteúdo de matéria mineral.

Palavras-chave: carvão, gás natural, Formação Rio Bonito

#### **Abstract**

Currently, the *CBM* (*coalbed methane*) is an important source of alternative energy. The most important coal bearing sedimentary succession occurs in the Paraná Basin. This work aims to analyze the chemical and petrological characteristics of coal seams from three boreholes, conducted recently in South Santa Catarina coalfield in the state of Santa Catarina, in order to assess the capacity to generate methane gas associated. Surveys carried out (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012 and CBM-SC-2013) located in the city of Treviso and Araranguá (SC). The methodology began with the collection of coal samples that have been prepared and submitted for petrographic and chemical analysis. Seven coal seams of the Rio Bonito Formation were sampled: Barro Branco, Irapuá, seam A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior and Pré-Bonito Inferior. The description of lithotypes showed a prevalence of banded dull (BD) in hole CBM-SC-2012 and dull (D) in hole CBM-SC-2013. Petrographic



results indicated average values from 0.60 to 1.26 % Rrandom layers analyzed, classifying the layers according to rank from high volatile bituminous C to medium volatile bituminous . The analysis shows variation in maceral composition of layers, with a predominance of vitrinite and inertinita. As for immediate analysis, samples showed a variation from 34.93 to 65.70 wt% ash, since the gross calorific value varies from 1858.0 to 5074.8 cal/g. The carbon content ranges from 4.15 to 65.81 wt%, and sulfur ranges from 0.22 to 12.43 % by weight. According to the parameters analyzed, Barro Branco and Irapuá layers present suitable for the generation of natural gas conditions.

Keywords: coal, natural gas, Rio Bonito Formation

## Introdução

No Brasil, a principal e de longe mais importante sucessão sedimentar portadora de carvão ocorre na Bacia do Paraná, que é uma vasta bacia paleozóica sul-americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Ordoviciano e o Cretáceo (Zalán *et al.*, 1990; Milani *et al.*, 2007). As camadas de carvão em questão pertencem à Formação Rio Bonito, que teve sua gênese durante o Eopermiano da Bacia do Paraná em pântanos associados a um paleoambiente parálico. O *rank* desses carvões varia desde sub-betuminoso na jazida de Candiota (RS) até betuminoso alto volátil A e antracita (em contato com diques vulcânicos) na jazida de Santa Terezinha (RS) e na jazida Sul Catarinense (SC) (Kalkreuth *et al.*, 2010).

Com a diminuição dos recursos mundiais de petróleo e gás natural em reservatórios convencionais, o interesse por outras fontes de energia alternativa como o metano em camadas de carvão (*CBM*), vem se intensificando nos últimos anos. Para avaliar o potencial de *CBM* no Brasil, como fonte regional de energia é necessário aumentar os estudos sobre o conteúdo de gás e o *rank* do carvão em diferentes níveis de profundidade dos possíveis reservatórios, com a finalidade de avaliar a capacidade de geração de metano nas camadas do depósito. O termo *CBM* (*coalbed methane*) é a nomenclatura utilizada para se referir ao gás metano gerado e armazenado nas camadas de carvão.

As camadas de carvão da jazida Sul Catarinense são de idade Permiana inferior e ocorrem na Formação Rio Bonito, é o depósito de carvão brasileiro mais intensamente explorado nas últimas décadas, com reservas na ordem de 3348,81 Milhões de toneladas (Informativo Anual da Indústria Carbonífera, 2000). A jazida contém 10 camadas de carvão, sendo que as camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito são as mais importantes economicamente.

Este trabalho tem como objetivo analisar as características químicas e petrológicas das camadas de carvão de três furos de sondagens, realizados recentemente na jazida Sul Catarinense no estado de Santa Catarina, com o intuito de avaliar a capacidade de geração de gás metano associado com as camadas de carvão baseado nas características petrográficas e químicas. Para isso foram coletadas amostras de carvão nos três furos de sondagens realizados, nas camadas de carvão da Formação Rio Bonito na jazida Sul Catarinense, que foram submetidas a análises.

#### *Localização da Área de Estudo*

A jazida Sul Catarinense está localizada na margem atlântica do território brasileiro, na parte sudeste do estado de Santa Catarina (Fig. 6). Em planta, a Jazida Sul Catarinense possui a forma alongada formando um arco cuja convexidade aponta para leste. Seus limites sul-sudeste estão indeterminados, sendo que sondagens sob lâmina d'água na plataforma continental certamente constatariam a continuidade das camadas em sub-superfície (Aramis *et al.*, 2003). A porção norte do arco é aquela que tem sido intensamente pesquisada e explorada, apresenta um comprimento que ultrapassa os 85 km e uma largura variável entre 5 e 20 km (Fig. 6).

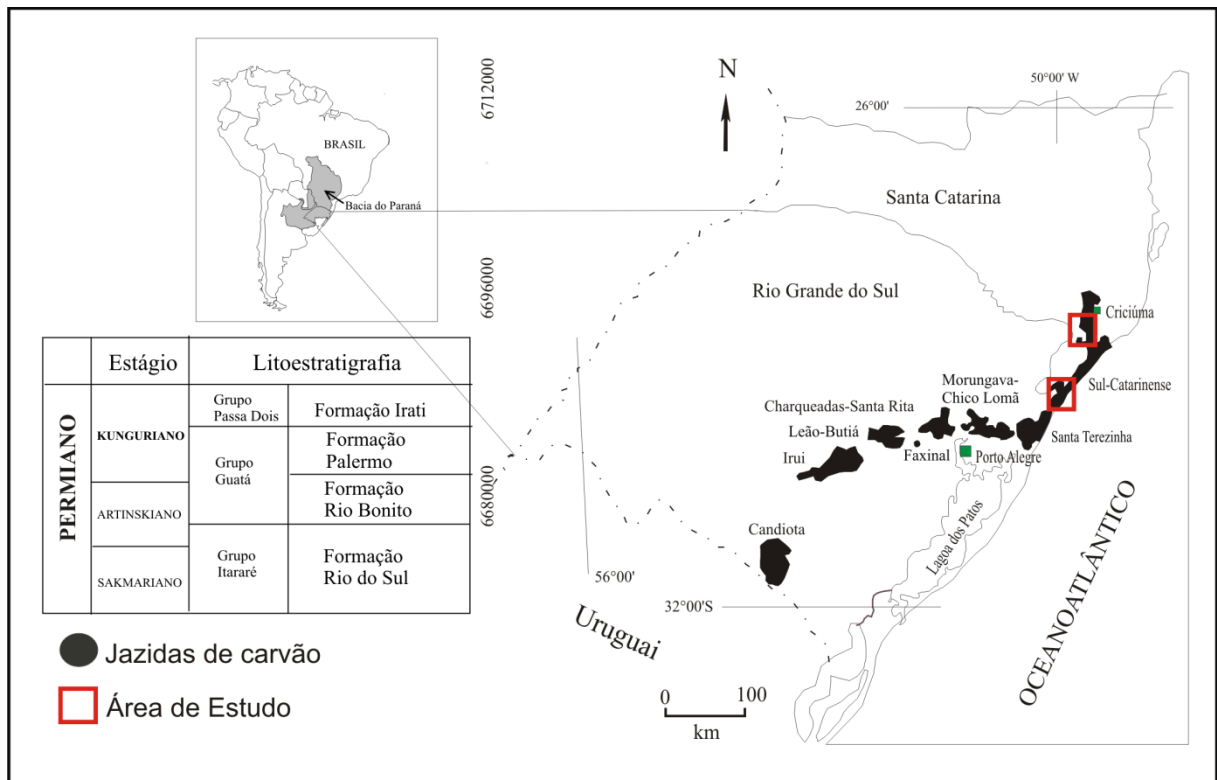


Figura 6. Localização da Bacia do Paraná ressaltando a distribuição das jazidas de carvão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; no quadro interno destaca-se a Litoestratigrafia, da Formação Rio Bonito. (modificado de Kalkreuth et al., 2003).

Foram realizados três furos de sondagem (Quadro 4), os dois primeiros estão localizados perto do litoral no município de Araranguá (SC) e foram denominados de CBM-SC-2011 e CBM-SC-2012, o terceiro furo está localizado mais ao norte da jazida, no município de Treviso (SC) e foi denominado de CBM-SC-2013 (Fig. 7).

Quadro 4. Coordenadas UTM dos poços.

Poço	Coordenadas UTM	
	E	N
CBM-SC-2011	665226	6804697
CBM-SC-2012	663901	6803741
CBM-SC-2013	646061	6844225

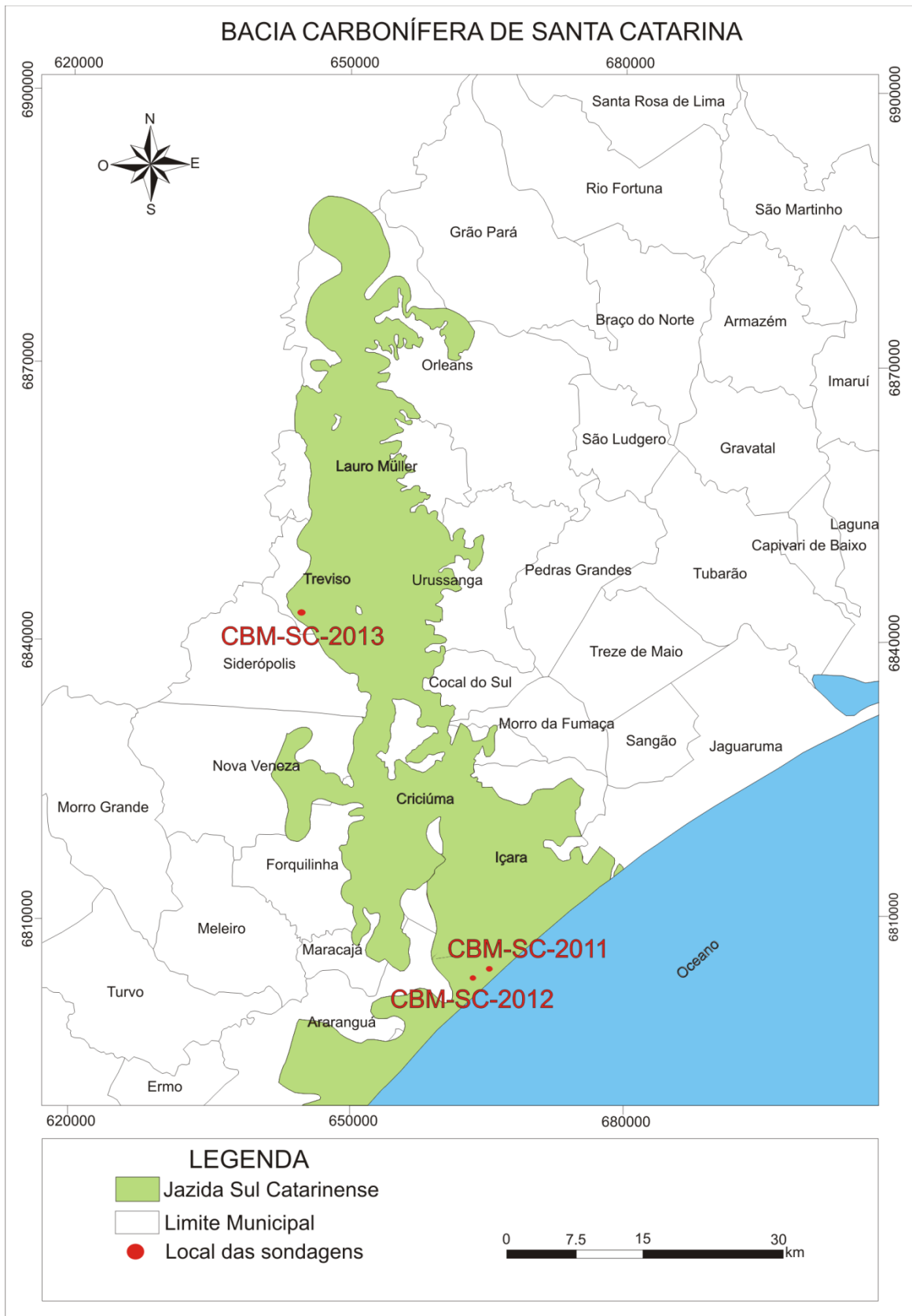


Figura 7. Localização dos três furos de sondagens (CBM-SC-2011, CBM-SC-2012, CBM-SC-2013) na jazida Sul Catarinense (SC).

## **Metodologia**

### *Amostragem e Preparação*

O primeiro furo (CBM-SC-2011) teve uma profundidade total de 327,15 m (Fig. 8). A Formação Rio Bonito encontra-se a partir da profundidade 239 m, onde foram identificadas sete camadas de carvão (Barro Branco, Irapuá, A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior) e 18 amostras foram coletadas (Tab. 1). O segundo furo (CBM-SC-2012) teve uma profundidade total de 341m (Fig. 8) e a Formação Rio Bonito encontra-se a partir da profundidade 190,90 m, onde cinco camadas de carvão foram identificadas (Barro Branco, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior) e 21 amostras foram coletadas (Tab. 1). O terceiro furo (CBM-SC-2013) teve uma profundidade total de 249,30 m (Fig. 8) e a Formação Rio Bonito encontra-se a partir da profundidade 141,75 m onde somente três camadas foram identificadas (Barro Branco, Irapuá e Bonito Inferior) e 22 amostras foram coletadas (Fig. 8). O número das amostras e sua profundidade, bem como a camada a que pertencem está detalhado na Tabela 1.

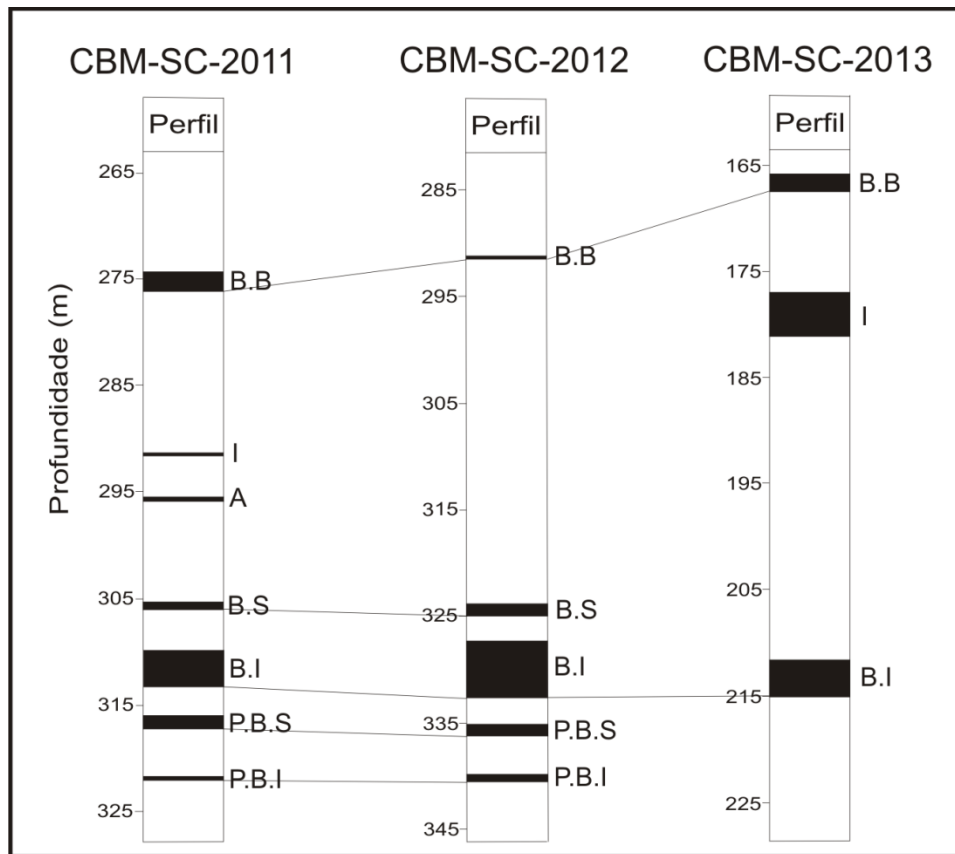


Figura 8. Perfil esquemático correlacionando as camadas de carvão dos três furos de sondagem utilizados. B.B – Barro Branco; I – Irapuá; A – Camada A; B.S – Bonito Superior; B.I – Bonito Inferior; P.B.S – Pré-Bonito Superior; P.B.I – Pré-Bonito Inferior.

Tabela 1. Número, profundidade e espessura das amostras e a camada a que pertencem. B.B – Barro Branco, I – Irapuá, A – Camada A, B.S – Bonito Superior, B.I – Bonito Inferior, P.B.S – Pré-Bonito Superior, P.B.I – Pré-Bonito Inferior.

CBM-SC-2011				CBM-SC-2012				CBM-SC-2013			
Amostras	Profundidade (m)	Espes. (m)	Camada	Amostras	Profundidade (m)	Espes. (m)	Camada	Amostras	Profundidade (m)	Espes. (m)	Camada
11-001	274,54 - 275,26	0,25	B.B	13-010	292,00 - 292,36	0,20	B.B	13-101	166,14 - 167,13	0,41	B.B
11-002	275,26 - 275,62	0,10	B.B	13-011	324,30 - 324,66	0,17	B.S	13-102	167,13 - 167,50	0,37	B.B
11-003	275,62 - 275,98	0,23	B.B	13-012	324,66 - 325,02	0,26	B.S	13-103	167,50 - 167,87	0,26	B.B
11-004	275,98 - 276,34	0,34	B.B	13-013	327,73 - 328,09	0,30	B.I	13-104	177,19 - 177,93	0,48	I
11-005	276,34 - 276,70	0,18	B.B	13-014	328,09 - 328,46	0,13	B.I	13-105	177,93 - 178,35	0,42	I
11-006	292,60 - 292,96	0,12	I	13-015	328,46 - 328,83	0,17	B.I	13-106	178,35 - 178,70	0,35	I
11-007	295,64 - 296,00	0,70	A	13-016	328,83 - 329,20	0,37	B.I	13-107	178,70 - 179,05	0,35	I
11-008	305,65 - 306,01	0,25	B.S	13-017	329,20 - 329,56	0,19	B.I	13-108	179,05 - 179,40	0,35	I
11-009	306,01 - 306,37	0,24	B.S	13-018	329,56 - 329,93	0,37	B.I	13-109	179,40 - 179,75	0,35	I
11-010	310,35 - 310,71	0,22	B.I	13-019	329,93 - 330,29	0,14	B.I	13-110	179,75 - 180,10	0,35	I
11-011	310,71 - 311,07	0,18	B.I	13-020	330,38 - 330,73	0,29	B.I	13-111	180,10 - 180,45	0,35	I
11-012	311,07 - 311,43	0,10	B.I	13-021	330,73 - 331,09	0,36	B.I	13-112	180,95 - 181,30	0,21	I
11-013	311,95 - 313,03	0,96	B.I	13-022	331,11 - 331,47	0,25	B.I	13-113	180,95 - 181,30	0,14	I
11-014	313,03 - 313,75	0,54	B.I	13-023	331,60 - 331,97	0,37	B.I	13-114	212,60 - 212,96	0,18	B.I
11-015	313,75 - 314,11	0,13	B.I	13-024	331,97 - 332,33	0,36	B.I	13-115	212,60 - 212,96	0,18	B.I
11-016	313,97 - 317,69	0,72	P.B.S	13-025	335,11 - 335,47	0,16	P.B.S	13-116	212,96 - 213,32	0,36	B.I
11-017	317,69 - 318,05	0,30	P.B.S	13-026	335,47 - 335,86	0,39	P.B.S	13-117	213,32 - 213,68	0,36	B.I
11-018	321,13 - 321,49	0,16	P.B.I	13-027	335,86 - 336,22	0,36	P.B.S	13-118	213,68 - 214,04	0,36	B.I
				13-028	336,22 - 336,57	0,35	P.B.S	13-119	214,04 - 214,40	0,36	B.I
				13-029	339,12 - 339,47	0,35	P.B.I	13-120	214,40 - 214,76	0,36	B.I
				13-030	339,47 - 339,83	0,29	P.B.I	13-121	214,76 - 215,12	0,15	B.I
								13-122	214,76 - 215,12	0,21	B.I

As amostras de carvão foram preparadas de acordo com o processo que consiste na secagem em estufa com temperatura  $\leq 40^{\circ}\text{C}$ , após isso as amostras são passadas por um triturador de mandíbulas e homogeneizadas em uma peneira de malha  $< 4,5$  mm. São então quarteadas e reduzidas a sub-amostras. Uma parte dessas sub-amostras é pulverizada até a fração  $< 200$  mesh e posteriormente acondicionadas em potes com 20 gramas, destinadas as análises químicas: análise imediata, análise elementar e poder calorífico superior.

Cerca de 20 gramas de amostra com tamanho de grão entre 0,25-0,80 mm são utilizadas para o embutimento na confecção de seções polidas em grão, de acordo com as normas estabelecidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM D2013/2013M-12, 2012), que são usadas na análise petrográfica (reflectância da vitrinita e análise de macerais).

#### *Análise Petrológica do carvão*

Descrição de Litotipos – neste trabalho foi adotada a classificação de litotipos segundo Diessel (1965), conforme detalhado no Quadro 5.

Quadro 5. Classificação dos litotipos (Stopes, 1919) e (Diessel, 1965).

<b>ICCP-Stopes</b>	<b>Diessel (1965)</b>	<b>Descrição</b>
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.

Reflectância da vitrinita (Rrandom %) – o método para a determinação do *rank* dos carvões consiste na realização de 100 medidas do poder refletor das partículas de vitrinita em cada amostra, a média aritmética dessas medidas gera o valor do grau de carbonificação (*rank*) do carvão analisado (ISO-7404/5, 2009).



Análise de Macerais – foi realizada de acordo com a norma (ISO-7404/3, 2009), baseia-se na contagem de 500 pontos, realizados em linhas com intervalos pré-definidos. Os resultados obtidos são expressos em Vol.%.

### *Análises Químicas*

Análise Imediata – compõe-se de quatro diferentes tipos de análises: % de Umidade (ASTM D3173-87), % de Cinzas (ASTM D3174), % de Matéria Volátil (ASTM D3175). Carbono Fixo é um valor calculado pela soma dos percentuais de umidade, cinza e matéria volátil subtraído de 100. Os resultados obtidos são expressos como % em peso.

Poder Calorífico Superior – é determinado em uma Bomba Adiabática Calorimétrica segundo a norma ASTM D 2015 (1991) e apresenta o calor (cal/g) produzido pela combustão da matéria orgânica.

Análise Elementar – é usada para determinar os principais elementos presentes na matéria orgânica do carvão: carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre, segundo a norma ASTM 5373-93. Os resultados são expressos na forma de % em peso.

## **Resultados e Discussões**

### *Descrição de Litotipos*

Após a coleta das amostras de carvão, foi realizada a descrição dos litotipos do carvão nos furos CBM-SC-2012 e CBM-SC-2013. Carvão fosco bandado (BD) é o litotipo dominante no perfil de carvão do primeiro furo com 53,4% (Fig. 9), seguido de carvão fosco (D) com 33,1%, carvão bandado (BC) com 11,4%, bandado brilhante (BB) com 1,4%, brilhante (B) com somente 0,7%, e apresenta poucas lâminas de pirita ao longo do perfil. Em geral, o litotipo fosco (D) aumenta em direção à base do perfil.

No furo CBM-SC-2013 (Fig. 10) o litotipo dominante é o carvão fosco (D) com 51,9%, seguido do carvão fosco bandado (BD) com 31,1%, carvão bandado (BC) com 14,7%, bandado brilhante (BB) com 2,1% e brilhante (B), com somente 0,2%. As camadas de carvão frequentemente apresentam lâminas de pirita e algumas fraturas preenchidas por carbonato.

Segundo Marchioni e Kalkreuth (1991), estudos em carvões betuminosos têm mostrado que o conteúdo de vitrinita tende a diminuir e os conteúdos de inertinita e matéria mineral tendem a aumentar com a diminuição dos componentes brilhosos. Isso pode ser observado na camada Bonito em ambos os furos, onde há um

enriquecimento de carvão fosco em direção a base da camada, que pode ser relacionado com o alto teor de inertinita e matéria mineral observado na petrografia.

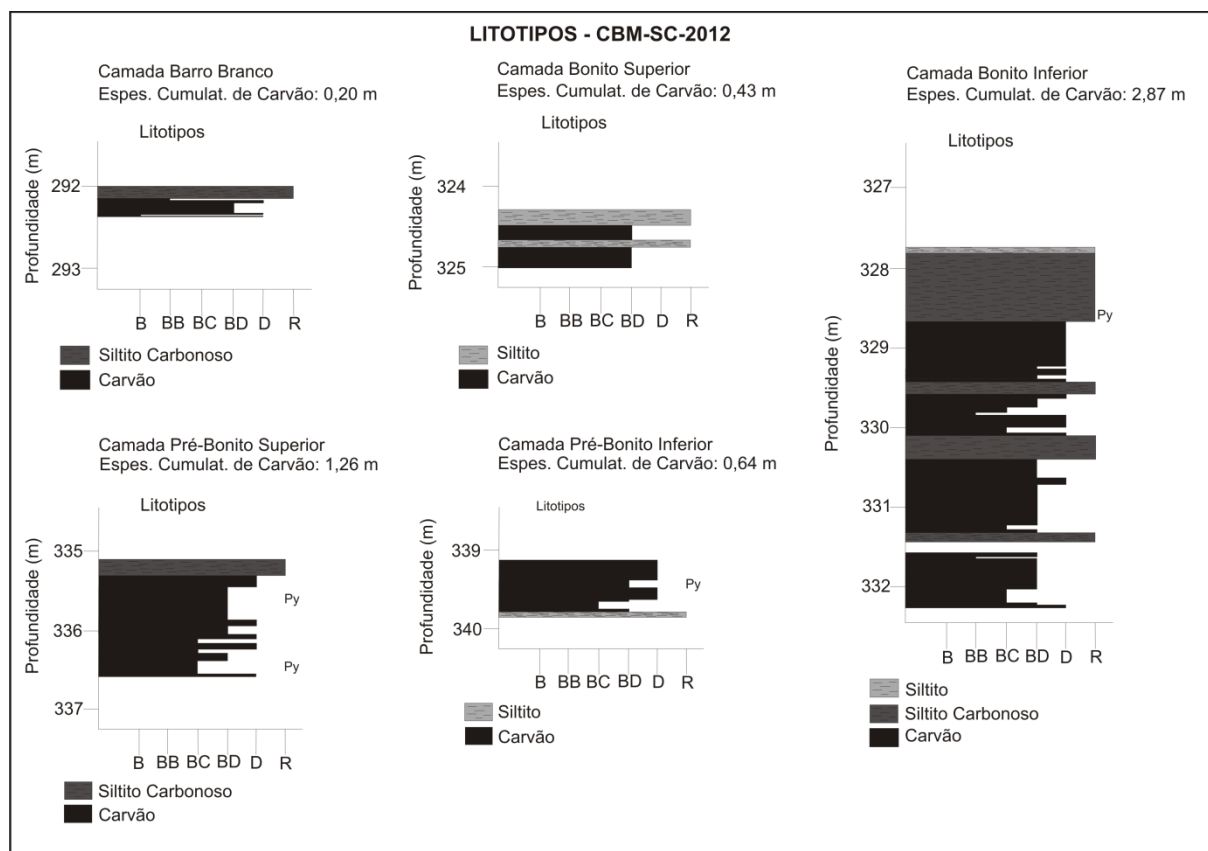


Figura 9. Descrição dos litotipos por camada no furo CBM-SC-2012. B – brilhante; BB – bandado brilhante; BC – carvão bandado; BD – carvão fosco bandado; D – carvão fosco; R – rocha.

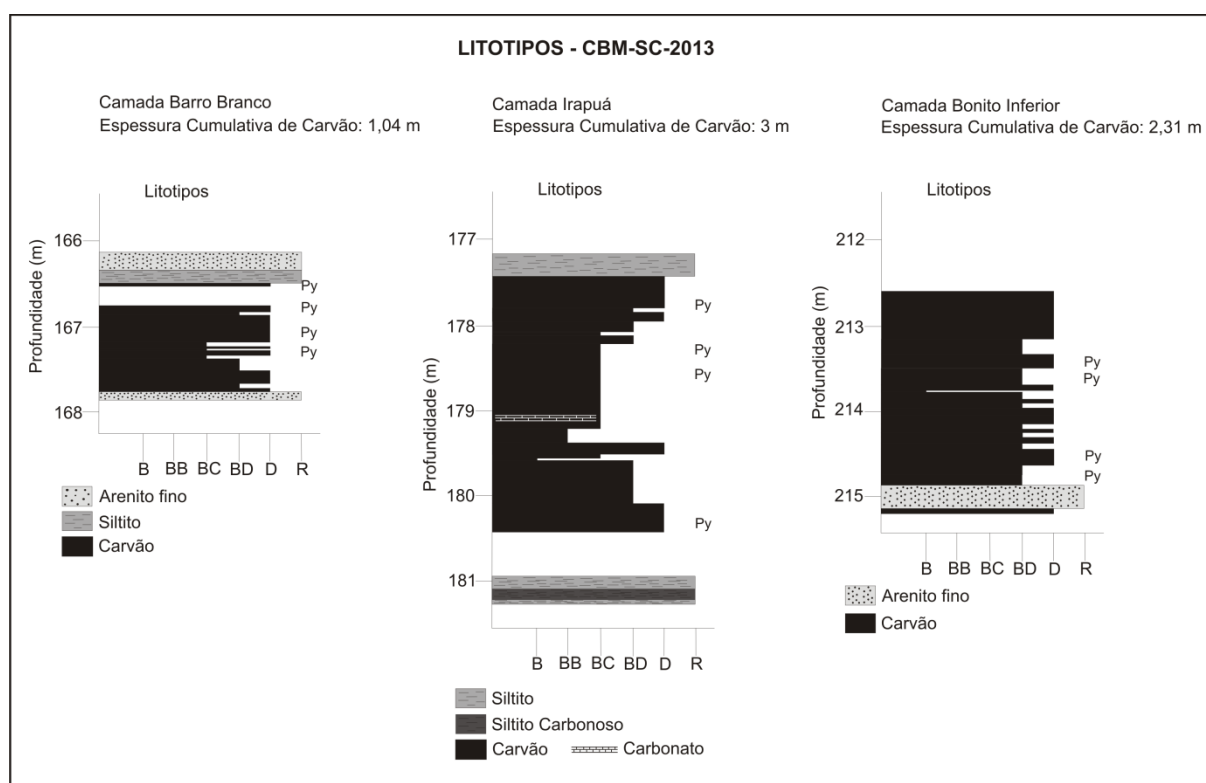


Figura 10. Descrição dos litotipos por camada no furo CBM-SC-2013. B – brilhante; BB – bandado brilhante; BC – carvão bandado; BD – carvão fosco bandado; D – carvão fosco; R – rocha.

### Reflectância da Vitrinita

Os resultados mostrados na Tabela 2 revelam para o furo CBM-SC-2011 uma variação entre 0,60 e 0,87 Rrandom (%) nas amostras individuais, já nos valores médios por camada, as camadas Irapuá e A apresentaram valores relativamente baixos se comparadas com os valores obtidos nas demais camadas. Os valores de reflectância da vitrinita obtidos por camada indicam um *rank* betuminoso alto volátil C para a camada Irapuá, betuminoso alto volátil B para a camada A e betuminoso alto volátil A, para as camadas Barro Branco, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior.

As amostras do furo CBM-SC-2012 apresentaram uma variação entre 0,82 e 0,95 Rrandom (%) (Tab. 2), os valores médios por camada variam de 0,84 a 0,88 Rrandom (%), indicando um *rank* betuminoso alto volátil A, para todas as camadas de carvão encontradas.

As amostras do furo CBM-SC-2013 mostraram uma variação entre 0,98 e 1,34 Rrandom (%) (Tab. 2), os valores médios por camada variam de 1,00 a 1,26 Rrandom (%). Os valores médios obtidos por camada indicam um *rank* betuminoso

alto volátil A para a camada Barro Branco e betuminoso médio volátil para as camadas Irapuá e Bonito Inferior. O aumento nos valores da reflectância da vitrinita das camadas Irapuá e Bonito Inferior nesse último poço sugere a presença de intrusões ígneas nas proximidades das camadas de carvão estudadas, pois a diferença de profundidade entre as camadas não é o suficiente para explicar o aumento do *rank* entre a camada Barro Branco e as camadas Irapuá e Bonito Inferior. Segundo Filho *et al.* (2008) o efeito de uma intrusão na encaixante é equivalente à espessura do corpo intrusivo, no caso de intrusões múltiplas, supõe-se que o efeito possa ser potencializado. Esse processo pode variar em suas dimensões em função da profundidade da intrusão, sendo maior o calor transmitido quanto maior for a profundidade. Estudos recentes (Levandowski, 2013) na jazida de Chico-Lomã (RS) mostraram que o efeito das rochas ígneas sobre o carvão pode alcançar até o dobro da espessura da intrusão, afetando as camadas de carvão acima e abaixo da intrusão.

Tabela 2. Resultados da reflectância da vitrinita das camadas de carvão analisadas. Rr (%) – Rrandom (%); Rr (%) médio – Rrandom (%) por camada; BAV A – Betuminoso alto volátil A; BAV B – Betuminoso alto volátil B; BAV C – Betuminoso alto volátil C; BMV – Betuminoso médio volátil.

CBM-SC-2011				CBM-SC-2012				CBM-SC-2013			
Amostra/ Camada	Rr(%)	Rr(%) médio	Classif.	Amostra/ Camada	Rr(%)	Rr (%) médio	Classif.	Amostra/ Camada	Rr(%)	Rr (%) médio	Classif.
11-001 / B.B	0,83	0,79	BAV A	13-010 / B.B	0,87	0,87	BAV A	13-101 / B.B	1,02	1,00	BAV A
11-002 / B.B	0,73			13-011 / B.S	0,88	0,91	BAV A	13-102 / B.B	0,99		
11-003 / B.B	0,80			13-012 / B.S	0,93			13-103 / B.B	0,98		
11-004 / B.B	0,80			13-013 / B.I	0,91	0,88	BAV A	13-104 / I	1,17	1,18	BMV
11-005 / B.B	0,79			13-014 / B.I	-			13-105 / I	1,23		
11-006 / I	0,60	0,60	BAV C	13-015 / B.I	0,95			13-106 / I	1,19		
11-007 / A	0,74	0,74	BAV B	13-016 / B.I	0,90			13-107 / I	1,21		
11-008 / B.S	0,82	0,85	BAV A	13-017 / B.I	0,95			13-108 / I	1,23		
11-009 / B.S	0,87			13-018 / B.I	0,89	13-109 / I	1,18				
11-010 / B.I	0,82	0,85	BAV A	13-019 / B.I	0,89	0,88	BAV A	13-110 / I	1,25	1,26	BMV
11-011 / B.I	0,86			13-020 / B.I	0,89			13-111 / I	1,19		
11-012 / B.I	0,85			13-021 / B.I	0,85			13-112 / I	1,03		
11-013 / B.I	0,87			13-022 / B.I	0,84			13-113 / I	1,09		
11-014 / B.I	0,81			13-023 / B.I	0,82			13-114 / B.I	1,25		
11-015 / B.I	0,87			13-024 / B.I	0,82			13-115 / B.I	1,25		
11-016 / P.B.S	0,83			0,85	BAV A			13-025 / P.B.S	0,88		
11-017 / P.B.S	0,86	13-026 / P.B.S	0,84			13-117 / B.I	1,32				
11-018 / P.B.I	0,86	0,86	BAV A	13-027 / P.B.S	0,85	0,84	BAV A	13-118 / B.I	1,34	1,26	BMV
				13-028 / P.B.S	0,86			13-119 / B.I	1,28		
				13-029 / P.B.I	0,84			13-120 / B.I	1,26		
				13-030 / P.B.I	0,85			13-121 / B.I	1,19		
								13-122 / B.I	1,23		

Na figura 11 podemos observar que os valores de reflectância da vitrinita obtidos no furo CBM-SC-2012 não mostraram nenhuma relação visível com o conteúdo de cinzas e com o aumento da profundidade. Os furos CBM-SC-2011 e CBM-SC-2013 mostram um pequeno aumento nos valores de Rrandom (%) com o aumento da profundidade, com exceção das camadas Irapuá e A do primeiro furo, que por apresentarem um alto conteúdo de matéria mineral (alto teor de cinzas), apresentam um valor de reflectância relativamente mais baixo. No furo CBM-SC-2013 é possível observar claramente a variação dos valores de reflectância dentro da camada Irapuá, conforme aumenta o conteúdo de cinzas, a reflectância diminui. Essas observações confirmam estudos feitos por Goodarzi *et al.* (1993), que mostram uma significativa diminuição nos valores de reflectância da vitrinita em intervalos ricos em matéria mineral.

Os valores relativamente baixos de reflectância da vitrinita das camadas Irapuá e A no furo CBM-SC-2011 podem ser explicados também de acordo com Leckie *et al.* (1988), onde os valores baixos de reflectância da vitrinita são influenciados pela espessura da camada de carvão, pois quanto mais espessa a camada, maior o tempo que o calor permanece em seu interior, aumentando assim o *rank*, já em camadas mais finas o calor passaria mais rápido pela camada e com isso o carvão não atinge o grau de carbonificação que camadas mais espessas atingem.

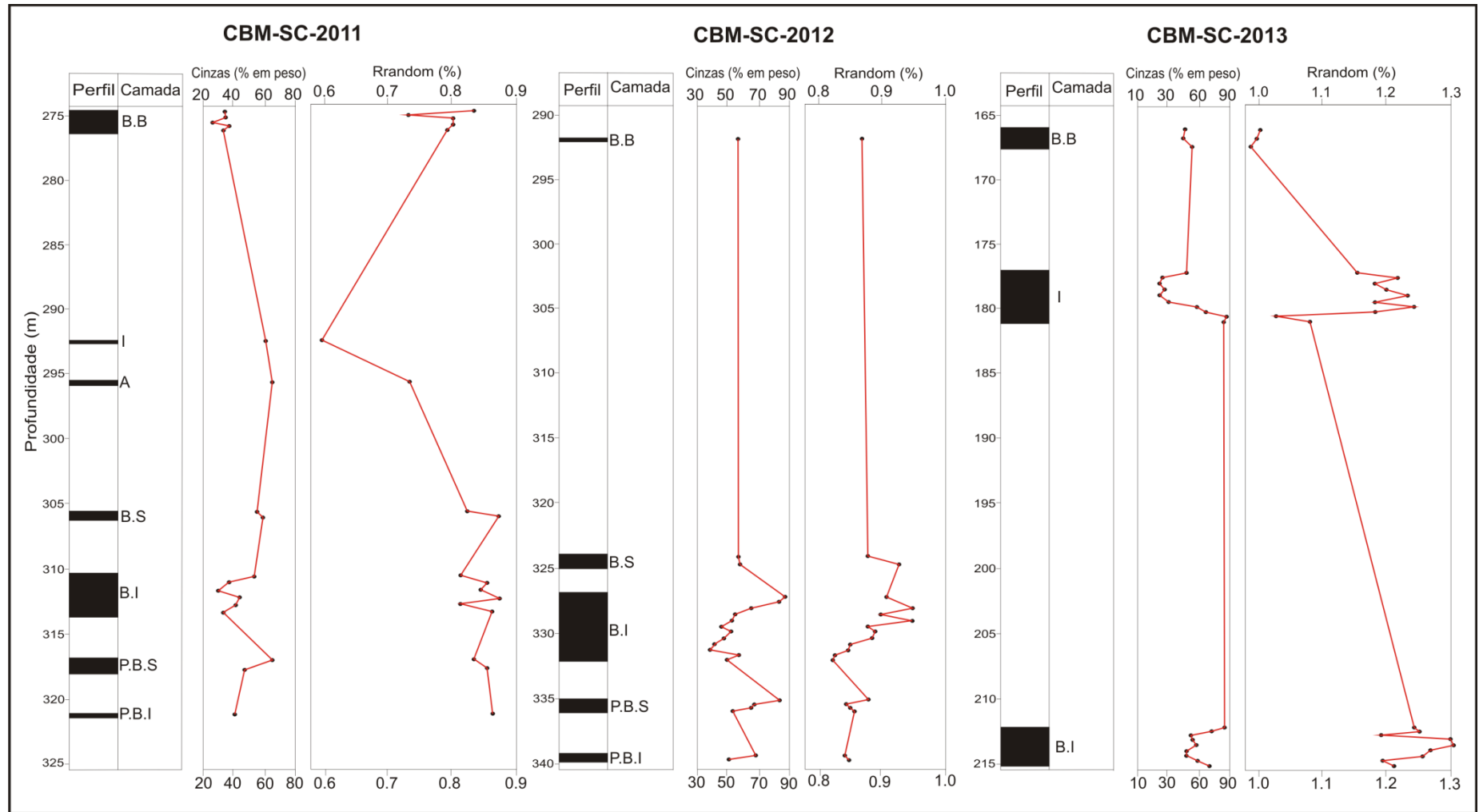


Figura 11. Perfil esquemático mostrando a variação do conteúdo de cinzas e dos valores da reflectância da vitrinite dentro das camadas de carvão.

### *Análise de Macerais*

A composição petrográfica sem contar a matéria mineral (vitritina + liptinita + inertinita = 100%) das amostras dos três furos é altamente variável. No furo CBM-SC-2011 a vitritina varia de 19,2 até 84,4% (Tab. 3), sendo o menor valor encontrado na camada Bonito Inferior e o maior valor na camada Barro Branco, a liptinita varia de 0 até 25,3%, a camada Barro Branco apresentou o menor valor e a camada Bonito Inferior o maior, e a inertinita varia de 13 até 55,5%, sendo que o menor valor foi encontrado na camada Pré-Bonito Inferior e o maior valor na camada Bonito Inferior. Pode-se dizer que há uma predominância de vitritina e inertinita em relação a liptinita nas amostras desse furo.

No furo CBM-SC-2012 a vitritina varia de 6,7 até 89,8% (Tab. 3), sendo que o menor valor foi encontrado nas amostras da camada Bonito Inferior e o maior valor na camada Barro Branco. A liptinita varia de 0 até 36,2% sendo que os dois extremos foram encontrados nas amostras da camada Bonito Inferior. A inertinita varia de 8,0 até 93,3%, sendo que o menor valor foi encontrado na camada Barro Branco e o maior valor na camada Bonito Inferior.

No furo CBM-SC-2013 a vitritina varia de 1,5% na camada Bonito Inferior até 75,1% na camada Irapuá (Tab. 3). A liptinita só foi encontrada em quantidades muito pequenas (0,3 até 2,5%), na camada Barro Branco. A ausência de liptinita nas outras camadas pode ser explicada pelo alto valor da reflectância da vitritina que foi encontrado nas camadas Irapuá e Bonito Inferior. Segundo Mastalerz *et al.* (2009), a ausência de macerais do grupo da liptinita pode indicar que a temperatura da possível intrusão próxima as camadas de carvão desse furo foi maior que 300°C, pois a liptinita sofre desvolatilização em temperaturas maiores que 300°C. A inertinita varia de 24,9% na camada Irapuá até 98,5% na camada Bonito Inferior.

Tabela 3. Resultados da análise de macerais mostrando a composição maceral e mineral e macerais recalculados (sem matéria mineral) por amostra e por camada total. M.M – matéria mineral, S/MM – sem matéria mineral; Esp. – espessura, B.B – Barro Branco, I – Irapuá, A – Camada A, B.S – Bonito Superior, B.I – Bonito Inferior, P.B.S – Pré-Bonito Superior, P.B.I – Pré-Bonito Inferior.

CBM-SC-2011									CBM-SC-2012									CBM-SC-2013								
Amostra/ Camada	Esp.(m)	Vitrinita		Liptinita		Inertinita		M.M. Total	Amostra/ Camada	Esp.(m)	Vitrinita		Liptinita		Inertinita		M.M. Total	Amostra/ Camada	Esp.(m)	Vitrinita		Liptinita		Inertinita		M.M. Total
		Total	S/MM	Total	S/MM	Total	S/MM				Total	S/MM	Total	S/MM	Total	S/MM				Total	S/MM	Total	S/MM	Total	S/MM	
11-001 / B.B	0,25	66,0	84,4	0,4	0,5	11,8	15,1	21,8	13-010 / B.B	0,20	65,4	89,8	1,6	2,2	5,8	8,0	27,2	13-101 / B.B	0,41	47,8	65,7	1,8	2,5	23,2	31,9	27,2
11-002 / B.B	0,10	53,6	78,6	0,0	0,0	14,6	21,4	31,8	13-011 / B.S	0,17	25,8	48,0	11,0	20,4	17,0	31,6	46,2	13-102 / B.B	0,37	37,2	57,2	0,8	1,2	27,0	41,5	35,0
11-003 / B.B	0,23	58,6	65,1	3,8	4,2	27,6	30,7	10,0	13-012 / B.S	0,26	17,2	34,0	9,6	19,0	23,8	47,0	49,4	13-103 / B.B	0,26	28,0	40,8	0,2	0,3	40,4	58,9	22,4
11-004 / B.B	0,34	41,0	49,8	7,4	9,0	34,0	41,3	17,6	<b>B.S - Total</b>	<b>0,43</b>	<b>20,6</b>	<b>39,5</b>	<b>10,2</b>	<b>19,6</b>	<b>21,1</b>	<b>40,9</b>	<b>48,1</b>	<b>B.B - Total</b>	<b>1,04</b>	<b>39,1</b>	<b>56,4</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>28,9</b>	<b>42,1</b>	<b>28,8</b>
11-005 / B.B	0,18	32,4	42,3	10,8	14,1	33,4	43,6	23,4	13-013 / B.I	0,30	0,4	8,7	0,0	0,0	4,2	91,3	95,4	13-104 / I	0,48	25,4	38,7	0,0	0,0	40,2	61,3	34,4
<b>B.B - Total</b>	<b>1,10</b>	<b>50,1</b>	<b>62,2</b>	<b>5,4</b>	<b>6,1</b>	<b>25,8</b>	<b>31,7</b>	<b>19,2</b>	13-014 / B.I	0,13	0,4	6,7	0,0	0,0	5,6	93,3	94,0	13-105 / I	0,42	55,6	67,3	0,0	0,0	27,0	32,7	17,4
11-006 / I	0,12	29,2	50,7	7,8	13,5	20,6	35,8	42,4	13-015 / B.I	0,17	2,2	8,0	10,0	36,2	15,4	55,8	72,4	13-106 / I	0,35	54,4	65,1	0,0	0,0	29,2	34,9	16,4
11-007 / A	0,70	20,6	36,4	6,0	10,6	30,0	53,0	43,4	13-016 / B.I	0,37	4,2	10,0	14,8	35,4	22,8	54,6	58,2	13-107 / I	0,35	48,6	59,3	0,0	0,0	33,4	40,7	18,0
11-008 / B.S	0,25	18,8	32,1	8,0	13,7	31,8	54,3	41,4	13-017 / B.I	0,19	19,0	39,3	10,4	21,5	19,0	39,2	51,6	13-108 / I	0,35	63,8	75,1	0,0	0,0	21,2	24,9	15,0
11-009 / B.S	0,24	19,2	32,2	14,6	24,5	25,8	43,3	40,4	13-018 / B.I	0,37	26,6	43,8	8,4	13,8	25,8	42,4	39,2	13-109 / I	0,35	52,2	66,9	0,0	0,0	25,8	33,1	22,0
<b>B.S - Total</b>	<b>0,49</b>	<b>19,0</b>	<b>32,1</b>	<b>11,2</b>	<b>19,0</b>	<b>28,9</b>	<b>48,9</b>	<b>40,9</b>	13-019 / B.I	0,14	43,0	66,4	7,6	11,7	14,2	21,9	35,2	13-110 / I	0,35	27,2	51,5	0,0	0,0	25,6	48,5	47,2
11-010 / B.I	0,22	14,0	19,2	18,4	25,3	40,4	55,5	27,2	13-020 / B.I	0,29	6,8	15,1	13,4	29,6	25,0	55,3	54,8	13-111 / I	0,35	15,8	44,4	0,0	0,0	19,8	55,6	64,4
11-011 / B.I	0,18	31,8	39,8	12,2	15,3	36,0	45,0	20,0	13-021 / B.I	0,36	15,8	22,0	21,6	30,2	34,2	47,8	28,4	13-112 / I	0,21	3,0	48,4	0,0	0,0	3,2	51,6	93,8
11-012 / B.I	0,10	47,2	50,8	14,8	15,9	31,0	33,3	7,0	13-022 / B.I	0,25	26,4	40,6	13,8	21,2	24,8	38,2	35,0	13-113 / I	0,14	0,2	3,7	0,0	0,0	5,2	96,3	94,6
11-013 / B.I	0,96	21,2	26,6	16,0	20,1	42,4	53,3	20,4	13-023 / B.I	0,37	18,8	45,6	7,4	18,0	15,0	36,4	58,8	<b>I - Total</b>	<b>3,00</b>	<b>42,6</b>	<b>59,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>28,8</b>	<b>40,4</b>	<b>28,6</b>
11-014 / B.I	0,54	43,0	49,4	13,6	15,6	30,4	34,9	13,0	13-024 / B.I	0,36	43,2	77,1	4,0	7,2	8,8	15,7	44,0	13-114 / B.I	0,18	0,2	1,5	0,0	0,0	13,4	98,5	86,4
11-015 / B.I	0,13	60,8	74,9	4,6	5,7	15,8	19,5	18,8	<b>B.I - Total</b>	<b>2,87</b>	<b>20,3</b>	<b>37,9</b>	<b>11,4</b>	<b>21,3</b>	<b>21,8</b>	<b>40,7</b>	<b>46,5</b>	13-115 / B.I	0,18	3,0	10,8	0,0	0,0	24,8	89,2	72,2
<b>B.I - Total</b>	<b>2,13</b>	<b>30,5</b>	<b>36,8</b>	<b>14,6</b>	<b>18,0</b>	<b>36,5</b>	<b>45,2</b>	<b>18,5</b>	13-025 / P.B.S	0,16	0,6	15,0	0,6	15,0	2,8	70,0	96,0	13-116 / B.I	0,36	20,8	43,2	0,0	0,0	27,4	56,8	51,8
11-016 / P.B.S	0,72	17,8	31,9	13,6	24,4	24,4	43,7	44,2	13-026 / P.B.S	0,39	12,0	41,1	7,2	24,7	10,0	34,2	70,8	13-117 / B.I	0,36	7,2	17,8	0,0	0,0	33,2	82,2	59,6
11-017 / P.B.S	0,30	45,4	61,2	8,6	11,6	20,2	27,2	25,8	13-027 / P.B.S	0,36	17,6	48,4	6,2	17,0	12,6	34,6	63,6	13-118 / B.I	0,36	32,4	56,8	0,0	0,0	24,6	43,2	43,0
<b>P.B.S - Total</b>	<b>1,02</b>	<b>25,9</b>	<b>40,5</b>	<b>12,1</b>	<b>20,6</b>	<b>23,2</b>	<b>38,9</b>	<b>38,8</b>	13-028 / P.B.S	0,35	21,4	59,1	5,0	13,8	9,8	27,1	63,8	13-119 / B.I	0,36	18,4	38,8	0,0	0,0	29,0	61,2	52,6
11-018 / P.B.I	0,16	66,0	72,7	13,0	14,3	11,8	13,0	9,2	<b>P.B.S - Total</b>	<b>1,26</b>	<b>14,8</b>	<b>44,9</b>	<b>5,5</b>	<b>18,2</b>	<b>9,8</b>	<b>36,9</b>	<b>70,0</b>	13-120 / B.I	0,36	23,6	43,5	0,0	0,0	30,6	56,5	45,8
									13-029 / P.B.I	0,35	5,6	20,6	4,2	15,4	17,4	64,0	72,8	13-121 / B.I	0,15	16,0	56,7	0,0	0,0	12,2	43,3	71,8
									13-030 / P.B.I	0,29	40,8	70,6	10,2	17,6	6,8	11,8	42,2	13-122 / B.I	0,21	0,2	50,0	0,0	0,0	0,2	50,0	99,6
									<b>P.B.I - Total</b>	<b>0,64</b>	<b>21,6</b>	<b>43,2</b>	<b>6,9</b>	<b>16,4</b>	<b>12,6</b>	<b>40,3</b>	<b>58,9</b>	<b>B.I - Total</b>	<b>2,31</b>	<b>17,3</b>	<b>39,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>26,4</b>	<b>60,4</b>	<b>56,3</b>



O diagrama ternário (Fig. 12) dos grupos de macerais mostra a composição petrográfica das camadas de carvão nos três furos estudados. Podemos observar que as amostras da camada Barro Branco, que está no topo do pacote carbonoso, apresentam uma variação interna na quantidade de vitrinita e inertinita (Fig. 12). As amostras do topo da camada mostram um alto conteúdo de vitrinita e baixo conteúdo de inertinita, já as amostras que estão mais perto da base da camada, apresentam um conteúdo menor de vitrinita e maior de inertinita. Como a camada Barro Branco foi depositada em um sistema de trato transgressivo (Kalkreuth *et al.*, 2010), o ambiente pantanoso com nível de água alto favorece a formação de vitrinita no topo da camada.

As amostras da camada Bonito Inferior também apresentam uma variação interna no conteúdo de vitrinita e inertinita, porém a quantidade de vitrinita aumenta do topo para a base (Fig. 12), enquanto que o conteúdo de inertinita apresenta um aumento significativo nas amostras de topo da camada. Essa camada foi depositada em um trato de sistema de nível alto (Kalkreuth *et al.*, 2010) e com isso a oxidação da matéria orgânica favoreceu a formação de inertinita no topo da camada.

Nas amostras da camada Pré-Bonito Superior observamos uma grande variação no conteúdo de vitrinita (Fig. 12), onde as amostras da base da camada apresentam um alto conteúdo de vitrinita e pouca inertinita, enquanto que as amostras do topo apresentam um baixo conteúdo de vitrinita e alto conteúdo de inertinita (tabela 3). Uma explicação para essa variação é o ambiente deposicional, pois a camada Pré-Bonito Superior foi depositada em um trato de sistema transgressivo (Kalkreuth *et al.*, 2010), onde o ambiente úmido favorece a formação da vitrinita. As camadas depositadas acima destas, foram depositadas em ambiente de trato de sistema de nível alto (camada Bonito Inferior e Superior), portanto o topo da camada Pré-Bonito Superior foi depositado em um ambiente instável, onde a matéria orgânica já estava sendo oxidada e com isso houve um aumento no conteúdo de inertinita no topo da camada.

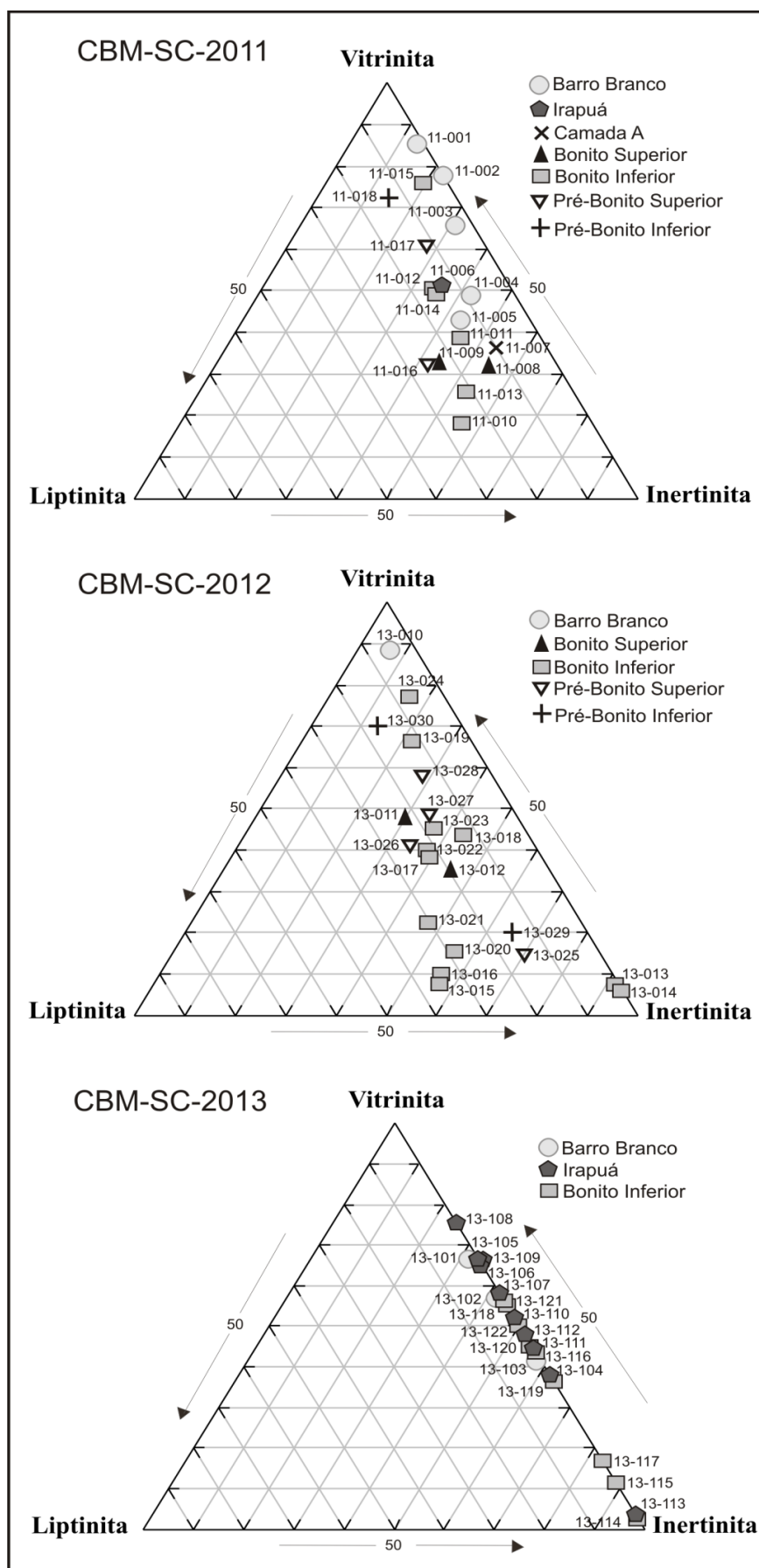


Figura 12. Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais (sem matéria mineral) das amostras das camadas de carvão dos três furos.

No diagrama ternário da figura 13 foram plotados os valores da composição maceral por camada para os três furos. No furo CBM-SC-2012 foi coletada somente uma amostra da camada Barro Branco, por isso não foi possível calcular uma média composicional por camada, essa amostra é bem do topo da camada, o que explica o alto conteúdo de vitrinita quando comparado com a média dos outros dois furos. A camada Pré-Bonito Inferior também mostrou uma grande variação no conteúdo de vitrinita entre os furos CBM-SC-2011 e CBM-SC-2012.

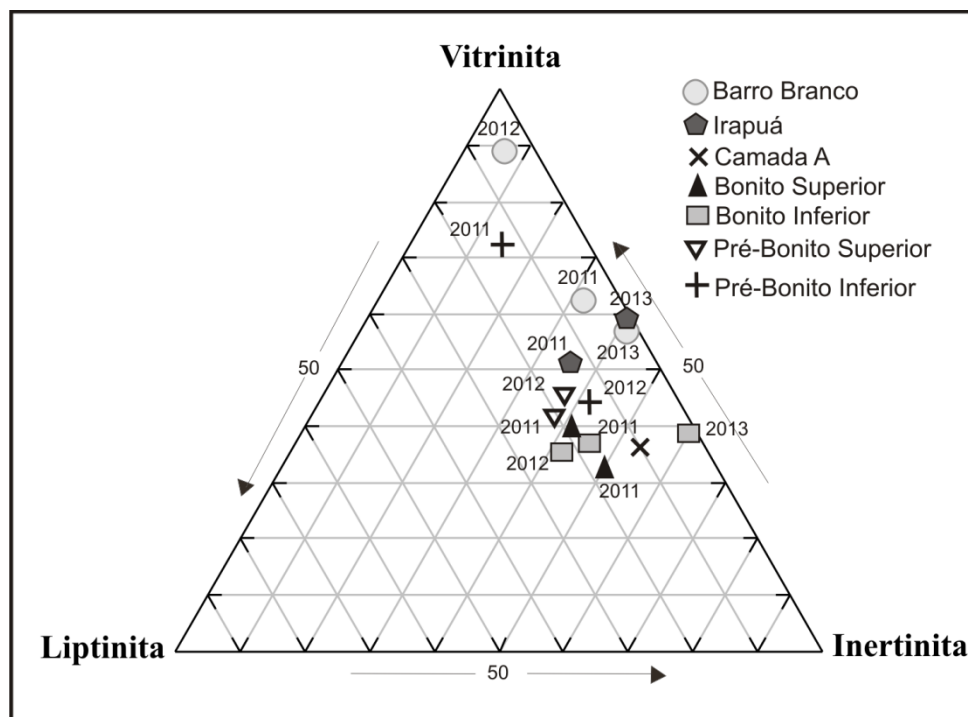


Figura 13. Diagrama ternário mostrando a composição petrográfica dos grupos de macerais (sem matéria mineral) das camadas totais de carvão dos três furos.

Incluindo a matéria mineral nos resultados das análises petrográficas, no furo CBM-SC-2011, a vitrinita apresenta uma variação de 14 até 66% (Tab. 3). A liptinita varia de 0 até 18,4% , a inertinita varia de 11,8 até 42,4% e a matéria mineral varia de 7 até 44,2%. Já no furo CBM-SC-2012 a vitrinita apresenta uma variação de 0,4 até 65,4%, a liptinita varia de 0 até 21,6%, a inertinita varia de 2,8 até 34,2% e a matéria mineral varia de 27,2 até 96,0%. No furo CBM-SC-2013 a vitrinita varia de 0,2 até 63,8%, a liptinita só está presente na camada Barro Branco e varia de 0,2 até 1,8%, a inertinita varia de 0,2 até 40,4% e a matéria mineral varia de 15 até 99,6%. Nos três furos foi observada a predominância de colotelinita seguida de colodetrinita e vitrodetrinita no grupo da vitrinita, esporinita e liptodetrinita no grupo da liptinita, com exceção do furo CBM-SC-2013 que apresentou raras esporinitas na camada

Barro Branco. No grupo da inertinita houve uma predominância de inertodetrinita seguida de semifusinita e fusinita. Já a matéria mineral é predominada por argila seguida de pirita, e apresenta predominâncias diferentes na quantidade de quartzo e carbonato em cada furo. A Figura 14 mostra a variação composicional das amostras dentro da camada de carvão nos três furos em relação ao posicionamento estratigráfico das mesmas.

Conforme mostra a figura 14, o conteúdo de vitrinita da camada Barro Branco, diminui conforme o conteúdo de inertinita aumenta. Na camada Irapuá o conteúdo de vitrinita diminui conforme o conteúdo de matéria mineral aumenta. Na camada Bonito Inferior observa-se um aumento no conteúdo de vitrinita em direção a base da camada, enquanto que o conteúdo de inertinita diminui.

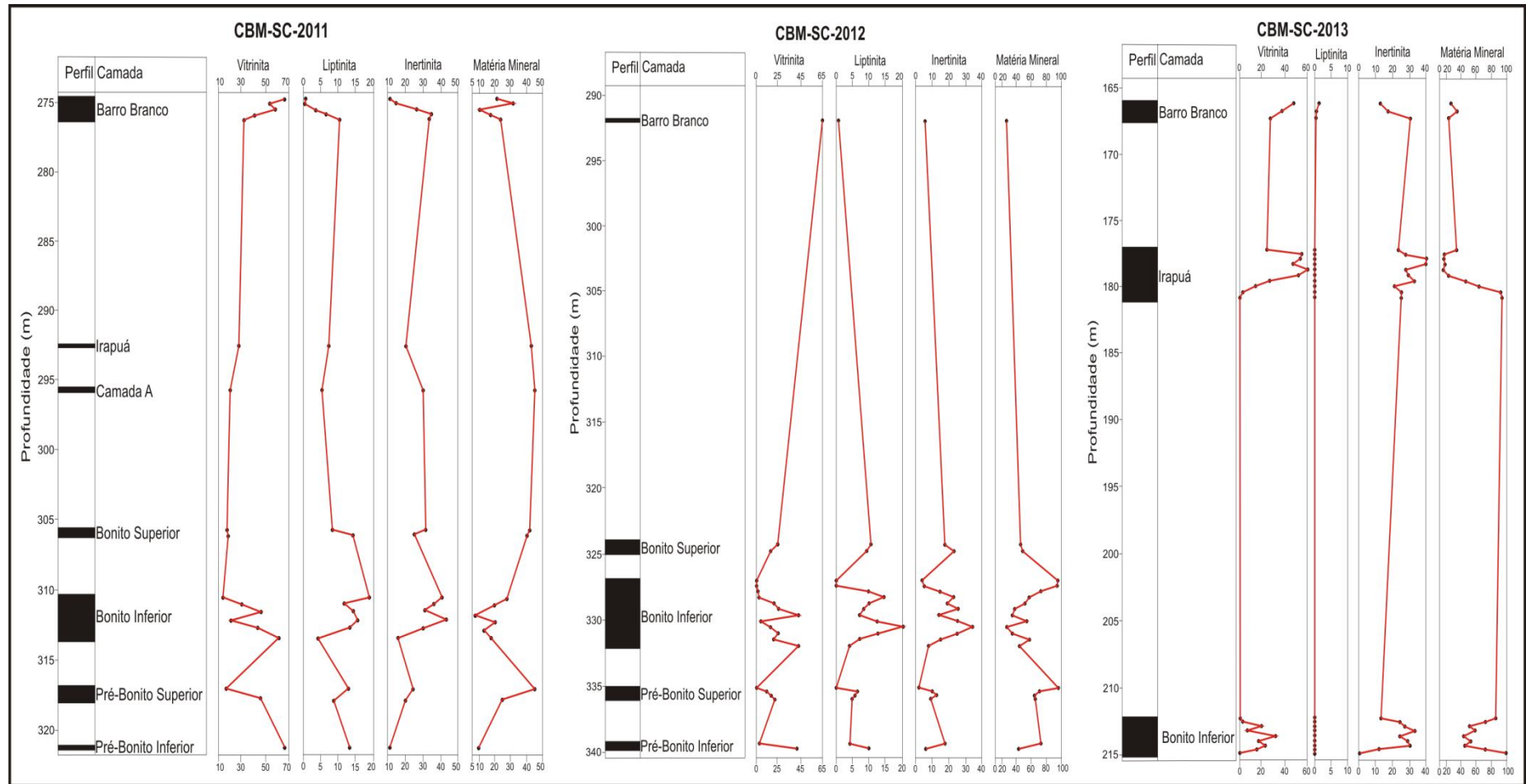


Figura 14. Perfil esquemático mostrando a distribuição dos grupos de macerais e matéria mineral.

### Análise Imediata

O percentual de cinzas das camadas de carvão analisadas mostrou valores de 34,93 a 65,70% (Tab. 4), sendo que o menor valor corresponde a camada Barro Branco e o maior valor à Camada A.

Quanto ao percentual de umidade das amostras como recebidas, a camada Barro Branco mostrou o menor valor (2,20%), enquanto que a camada Bonito Inferior apresentou o maior valor (3,37%).

A matéria volátil varia de 12,22 a 27,03% (Tab. 4), sendo a camada Bonito Inferior com o menor valor e a camada Barro Branco com o maior valor. Quando recalculadas em uma base seca e livre de cinzas (d.a.f – *dry ash free*) o percentual de matéria volátil variou de 30,83 a 54,07%, sendo que a camada que apresentou o menor valor foi a Bonito Superior e a Irapuá apresentou o maior valor. A análise de carbono fixo indicou uma variação de 14,40 a 43,43% em peso, com a camada A apresentando o menor valor.

Tabela 4. Resultados da análise imediata e poder calorífico superior por camada: Cz (%) – cinza; Umd (%) – percentual de umidade em amostras como recebidas; MV (%) – matéria volátil; MV(d.a.f) – matéria volátil dry ash free (seco e livre de cinzas); CF – carbono fixo; PCS – poder calorífico superior.

Camada	Esp.(m)	Cz (%)	Umd.(%)	MV(%)	MV(d.a.f)	CF(%)	PCS (cal/g)	PCS (cal/g) (d.a.f)
<b>CBM-SC-2011</b>								
Barro Branco	1,10	34,93	2,20	27,03	41,63	35,80	5074,8	7971,0
Irapuá	0,12	61,90	3,00	20,60	54,07	14,50	2074,0	5611,9
Camada A	0,70	65,70	2,80	17,10	49,85	14,40	1858,0	5573,0
Bonito Superior	0,49	58,06	2,40	16,12	38,40	23,41	2957,5	7229,0
Bonito Inferior	2,13	42,00	2,30	21,79	37,50	33,91	4377,2	7705,3
Pré-Bonito Superior	1,02	59,90	2,70	15,38	38,60	21,94	2816,1	7097,5
Pré-Bonito Inferior	0,16	41,20	2,60	22,50	38,27	33,70	4731,0	8260,7
<b>CBM-SC-2012</b>								
Barro Branco	0,20	57,53	2,70	15,50	36,49	24,27	2667,0	6453,6
Bonito Superior	0,43	58,23	2,46	12,88	30,83	30,83	3129,8	7682,2
Bonito Inferior	2,87	62,02	3,37	17,69	39,69	31,90	3898,3	8184,0
Pré-Bonito Superior	1,26	65,04	3,05	12,52	35,20	43,43	2528,8	7222,5
Pré-Bonito Inferior	0,64	60,69	2,73	15,33	38,10	21,25	2450,7	6141,1
<b>CBM-SC-2013</b>								
Barro Branco	1,04	48,12	2,68	17,42	33,53	31,78	3937,3	7795,1
Irapuá	3,00	49,36	2,86	16,66	31,41	42,80	4906,9	8343,3
Bonito Inferior	2,31	63,17	2,97	12,22	31,59	30,74	3282,8	7489,2

Os resultados dos teores de cinzas das amostras de carvão das camadas estudadas nos três furos estão expostos na figura 15, e mostrou que segundo a norma internacional da Comissão Econômica da Europa para as Nações Unidas, 33,3% das amostras do furo CBM-SC-2011 são classificadas como rocha carbonosa, enquanto que 66,6% das amostras são classificadas como carvão de categoria inferior e muito inferior. No furo CBM-SC-2012, 76,2% das amostras entram na categoria de rocha carbonosa, enquanto 23,8% das amostras são classificadas como carvão de categoria muito inferior. Já no furo CBM-SC-2013, 54,5% das amostras se mostram como rocha carbonosa e 45,5% das amostras se enquadram nas categorias de carvão inferior e muito inferior.

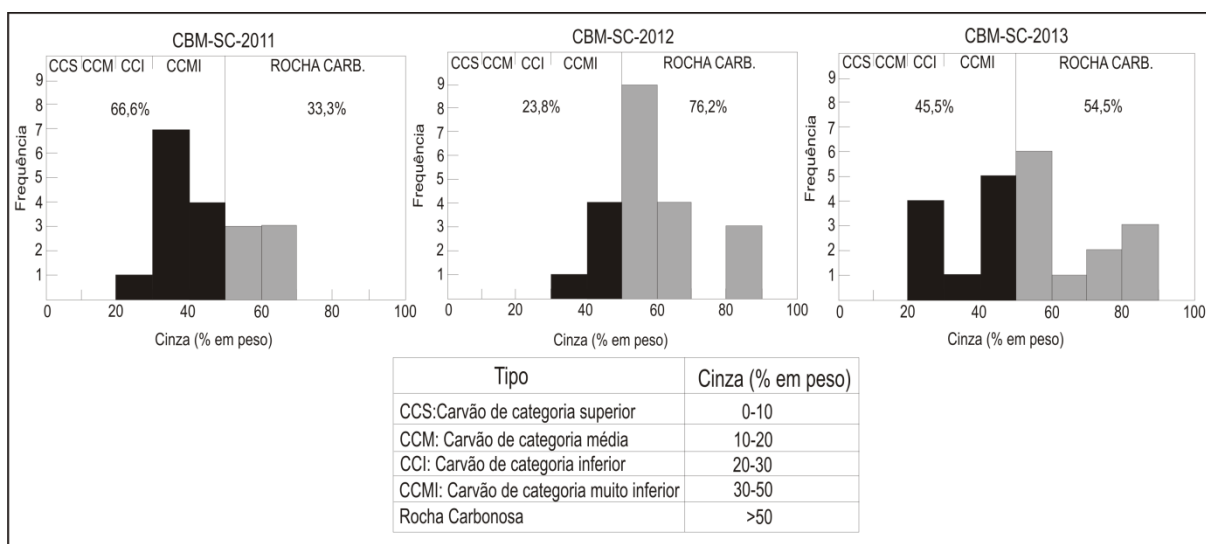


Figura 15. Classificação do carvão segundo o percentual de cinzas. Modificado de International Classification of in-coal seams, 1998.

### *Poder Calorífico*

Os resultados de poder calorífico superior variaram de 1858,0 a 5075,8 cal/g, sendo que a camada A foi a que teve o menor valor e a camada Barro Branco obteve o maior valor, que pode ser relacionado com o baixo teor de cinza presente na camada, conforme tabela 4. Quando recalculado para uma base seca e livre de cinzas (d.a.f), obteve-se resultados variando de 5573,0 a 8343,3 cal/g (tabela 4).

O gráfico da figura 16 mostra que existe uma relação muito clara entre o teor de cinzas e o poder calorífico superior para os três furos, o valor do poder calorífico tende a diminuir conforme o conteúdo de cinzas aumenta.

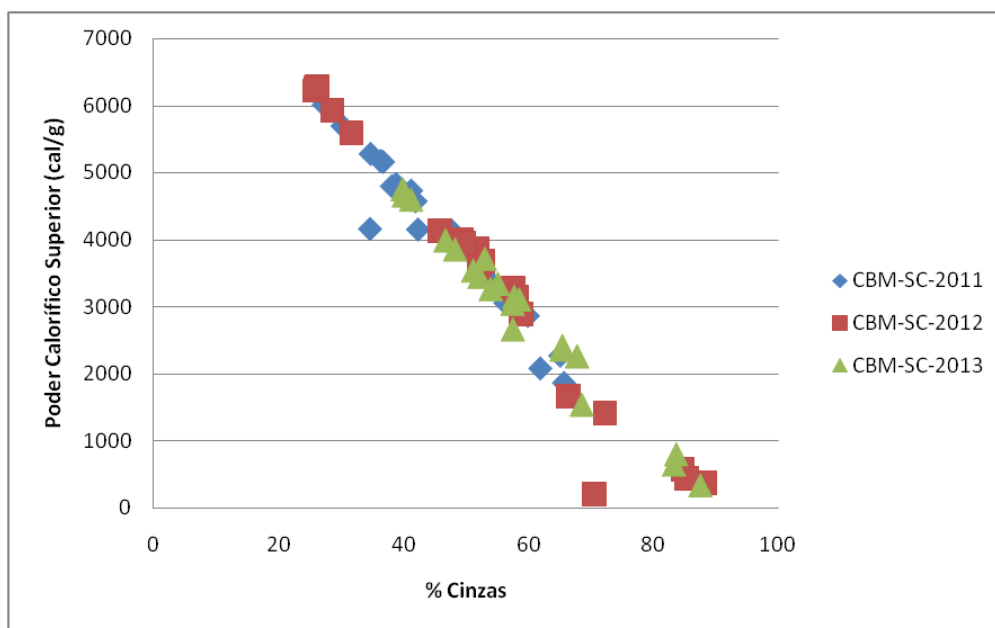


Figura 16. Gráfico dos valores de poder calorífico superior relacionado com o conteúdo de cinzas.

### *Análise Elementar*

Conforme os resultados da análise elementar da tabela 5, no furo CBM-SC-2011, o carbono apresenta uma variação de 23,09 até 52,76%, o hidrogênio varia de 1,93 a 3,72%, o enxofre varia de 0,41 a 12,43%, o oxigênio varia de 1,00 até 25,17% e o nitrogênio varia de 0,15 até 1,17%. No furo CBM-SC-2012 o carbono varia de 5,09 até 46,03%, o hidrogênio varia de 0,86 até 3,57%, o enxofre varia de 0,22 até 4,64%, o oxigênio varia 1,01 até 6,99% e o nitrogênio varia de 0,20 até 1,09%. No furo CBM-SC-2013 o carbono varia de 4,15 até 65,81%, o hidrogênio varia de 0,52 até 3,92%, o enxofre varia de 0,47 até 10,06%, o oxigênio varia de 0,14 até 6,08% e o nitrogênio varia de 0,16 até 1,15%.

O teor de enxofre das amostras exibiu valores de 0,22 até 12,43%, mostrando valores mais altos nas amostras da camada Barro Branco, sugerindo uma influência marinha.



Tabela 5. Resultados da análise elementar onde N – nitrogênio, C – carbono, H – hidrogênio, S – enxofre, O – oxigênio, expressos na forma de % em peso.

CBM-SC-2011							CBM-SC-2012							CBM-SC-2013						
Amostra/ Camada	C%	H%	S%	O%	N%	Cinzas%	Amostra/ Camada	C%	H%	S%	O%	N%	Cinzas%	Amostra/ Camada	C%	H%	S%	O%	N%	Cinzas%
11-001 / B.B	46,33	3,72	10,42	2,06	1,17	36,30	13-010 / B.B	31,80	2,22	4,64	3,03	0,79	57,53	13-101 / B.B	38,30	2,50	10,06	0,82	0,72	47,60
11-002 / B.B	40,97	3,25	12,43	5,68	0,96	36,70	13-011 / B.S	34,18	2,00	0,82	4,62	0,62	57,75	13-102 / B.B	40,04	2,73	9,60	0,94	0,78	45,91
11-003 / B.B	52,76	3,74	8,48	6,71	1,12	27,20	13-012 / B.S	29,85	1,61	4,49	4,99	0,51	58,54	13-103 / B.B	40,45	2,87	0,96	2,90	0,74	52,09
11-004 / B.B	48,72	3,55	0,76	7,15	1,02	38,80	13-013 / B.I	5,09	0,86	0,22	6,17	0,16	87,50	13-104 / I	40,94	2,66	1,81	4,63	0,71	49,26
11-005 / B.B	35,58	2,89	1,03	25,17	0,73	34,60	13-014 / B.I	8,17	1,04	0,30	6,99	0,20	83,30	13-105 / I	64,17	3,92	1,87	2,73	1,13	26,18
11-006 / I	25,53	2,64	1,03	8,34	0,57	61,90	13-015 / B.I	25,79	1,80	1,33	5,28	0,45	65,34	13-106 / I	65,81	3,89	1,58	1,78	1,14	25,81
11-007 / A	23,09	2,22	0,68	8,16	0,15	65,70	13-016 / B.I	36,45	2,42	1,42	3,93	0,65	55,12	13-107 / I	62,16	3,64	1,62	2,88	1,08	28,63
11-008 / B.S	34,86	2,27	0,86	5,47	0,24	56,30	13-017 / B.I	38,17	2,51	1,61	3,08	0,65	53,98	13-108 / I	62,84	3,69	4,77	1,59	1,15	25,97
11-009 / B.S	31,01	2,11	0,41	6,35	0,22	59,90	13-018 / B.I	42,59	2,79	2,30	4,76	0,80	46,77	13-109 / I	58,90	3,46	1,84	3,09	1,01	31,69
11-010 / B.I	37,27	2,48	1,33	5,19	0,33	53,40	13-019 / B.I	40,97	2,83	2,20	1,01	0,79	52,19	13-110 / I	32,63	2,41	1,32	4,29	0,60	58,76
11-011 / B.I	52,87	3,36	1,32	3,66	0,69	38,10	13-020 / B.I	42,78	2,66	1,12	4,49	0,64	48,30	13-111 / I	23,76	1,96	1,94	5,49	0,45	66,40
11-012 / B.I	53,67	3,46	2,09	9,89	0,69	30,20	13-021 / B.I	50,66	3,03	0,96	3,36	0,74	41,25	13-112 / I	4,15	0,61	2,25	4,60	0,16	88,23
11-013 / B.I	46,99	2,90	1,47	5,87	0,47	42,30	13-022 / B.I	51,66	3,24	2,99	1,39	0,80	39,92	13-113 / I	5,96	0,78	3,76	4,62	0,18	84,70
11-014 / B.I	50,16	3,18	1,66	2,41	0,69	41,90	13-023 / B.I	34,73	2,34	1,51	3,26	0,67	57,50	13-114 / B.I	6,97	1,03	0,47	6,08	0,19	85,26
11-015 / B.I	46,68	3,00	2,86	12,07	0,69	34,70	13-024 / B.I	46,03	3,57	1,65	7,55	1,09	40,10	13-115 / B.I	20,74	1,46	0,92	4,19	0,42	72,27
11-016 / P.B.S	26,06	1,93	1,46	4,92	0,52	65,10	13-025 / P.B.S	9,15	1,00	1,08	4,88	0,24	83,65	13-116 / B.I	41,86	2,43	1,55	1,58	0,82	51,76
11-017 / P.B.S	43,73	2,88	0,94	3,96	0,88	47,60	13-026 / P.B.S	25,37	1,82	2,28	2,17	0,56	67,79	13-117 / B.I	40,76	2,28	2,17	1,34	0,67	52,78
11-018 / P.B.I	51,23	3,32	2,25	1,00	1,00	41,20	13-027 / P.B.S	26,99	1,87	1,50	3,60	0,61	65,44	13-118 / B.I	35,78	2,09	2,27	1,67	0,61	57,57
							13-028 / P.B.S	40,02	2,52	2,00	1,41	1,01	53,04	13-119 / B.I	41,06	2,28	5,19	1,25	0,66	49,55
							13-029 / P.B.I	21,98	1,53	3,64	3,79	0,50	68,56	13-120 / B.I	42,20	2,39	4,63	0,51	0,71	49,56
							13-030 / P.B.I	37,56	2,49	3,14	4,69	0,92	51,20	13-121 / B.I	30,92	2,05	8,06	0,14	0,66	58,17
														13-122 / B.I	6,55	0,52	10,00	2,25	0,20	70,47

### *Características petrográficas e químicas das camadas de carvão e o potencial de gás associado*

Quando analisamos as propriedades do carvão para avaliar o potencial para a geração de gás, observamos que de acordo com o *rank* obtido (betuminoso alto volátil – betuminoso médio volátil) possivelmente houve geração de gás (Karweil, 1969). Conforme esse estudo o gás começa a ser gerado quando o carvão atinge um *rank* betuminoso alto volátil (em uma temperatura de aproximadamente 80°C e uma reflectância da vitrinite de 0,70 Rrandom(%)), e quanto maior o *rank*, maior o volume de gás gerado.

Segundo Lamberson (1993), em estudos realizados em amostras de uma sequência de litotipos caracterizada pela diferença no conteúdo de vitrinite, foi demonstrado que a capacidade de adsorção é controlada pelo conteúdo de vitrinite nas camadas de carvão. A porosidade da vitrinite é caracterizada predominantemente por microporos, enquanto que a inertinite apresenta mais mesoporos e macroporos. A vitrinite com maior quantidade de microporos apresenta uma área superficial maior do que partículas com mesoporos e macroporos (Thomas & Damberger, 1976), portanto camadas que apresentam um alto conteúdo de vitrinite apresentarão as maiores quantidades de gás adsorvido em seus microporos (Lamberson, 1993).

De acordo com as análises realizadas nas amostras de carvão da jazida Sul Catarinense, há um predomínio no conteúdo de vitrinite em relação a inertinite e liptinite nas camadas de carvão estudadas, sugerindo condições favoráveis para a geração de gás, principalmente na camada Barro Branco, que apresentou o maior conteúdo de vitrinite.

De acordo com o conteúdo de cinzas obtido e a composição maceral, a camada Barro Branco é a que tem maiores chances de ter gerado gás, nos três furos, pois apresenta baixo teor de cinzas e alto conteúdo de vitrinite. Já no furo CBM-SC-2013, a camada Irapuá também apresentou os parâmetros necessários para a geração de gás, pois apresenta o *rank* necessário, um significativo conteúdo de vitrinite e baixo conteúdo de cinzas. A camada Bonito possui menos potencial para gerar gás devido ao seu alto conteúdo de matéria mineral.

As camadas de carvão analisadas no presente estudo tem características petrográficas e químicas semelhantes às camadas da jazida Santa Terezinha (RS), onde estudos de Kalkreuth *et al.* (2008, 2013) mostram um volume significativo de gás natural associado com as camadas de carvão.

## Conclusões

1. Distribuição das camadas de carvão. A camada Barro Branco apresentou espessuras variando de 0,20 até 1,10 m. A camada Irapuá foi encontrada somente nos furos CBM-SC-2011 e CBM-SC-2013, com espessuras 0,12 e 3 m respectivamente. A camada A só apareceu no primeiro furo com apenas 0,70 m de espessura. A camada Bonito Superior foi encontrada nos furos CBM-SC-2011 e CBM-SC-2012 com espessura de 0,49 m no primeiro e 0,43 m no segundo furo. A camada Bonito Inferior apresentou espessuras entre 2,13 e 2,87 m. As camadas Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior só foram encontradas nos furos CBM-SC-2011 e CBM-SC-2012 e apresentaram espessuras de 1,02 – 1,26 m e 0,16 – 0,64 m respectivamente.

2. Petrografia. Nas camadas de carvão do furo CBM-SC-2012 o litotipo dominante foi o carvão fosco bandado (BD), enquanto que no CBM-SC-2013 o carvão fosco (D) foi o litotipo predominante. A reflectância da vitrinita variou de 0,60 até 1,26 Rrandom (%) (Betuminoso alto volátil C até Betuminoso médio volátil). A distribuição de macerais apresentou variações significativas, com a camada Barro Branco apresentando o maior conteúdo de vitrinita (66,0 Vol.%), a camada Bonito Inferior mostrou o maior conteúdo de inertinita (36,5 Vol.%). A liptinita variou de 0 até 14,6 Vol.% (camada Bonito Inferior). A matéria mineral variou desde 9,2 Vol.% (Pré-Bonito Inferior) até 70,0 Vol.% (Pré-Bonito Superior).

3. Análises Químicas. O conteúdo de cinzas variou de 34,93 % em peso na camada Barro Branco até 65,70 % em peso na camada A, classificando os carvões como carvões de categoria muito inferior/inferior até rocha carbonosa. Os valores do poder calorífico superior variaram de 1858,0 até 5074,8 cal/g, mostrando uma relação com o conteúdo de cinzas. O conteúdo de carbono variou de 4,15 até 65,81 % em peso, sendo que os dois extremos foram encontrados na camada Irapuá, que apresentou grande variação composicional interna no furo CBM-SC-2013. O conteúdo de enxofre apresentou uma variação de 0,22 até 12,43 % em peso, sendo que a camada Barro Branco foi a que mostrou os maiores valores.

4. Potencial para geração de gás. As análises petrográficas e química e a interpretação dos resultados obtidos indicaram que o carvão da Formação Rio Bonito da Jazida Sul Catarinense tem as características necessárias para a geração de gás. Principalmente as camadas Barro Branco e Irapuá, por apresentarem o *rank*

necessário para a geração de gás, alto conteúdo de vitrinita e baixo teor de cinzas e matéria mineral.

5. Atividades futuras desse estudo incluem a determinação de características de desorção e adsorção das mesmas amostras das camadas de carvão da jazida Sul Catarinense utilizadas neste trabalho, além da determinação da porosidade.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq pelo suporte financeiro através do Edital 20 (processo 551239/2010-7), pela bolsa de produtividade em pesquisa (CNPq 301080/2010-0), e pela bolsa de mestrado - GM (processo 551239/2010-7).

A empresa Maracajá Mineração Ltda. e a Carbonífera Criciúma por disponibilizar as amostras de carvão das sondagens utilizadas neste trabalho, que faz parte da dissertação de mestrado da autora.

## Referências

- Aramis, J., Pereira, G., Cruz, P.R. & Borges, L.P. 2003. Recursos Minerais Energéticos: Carvão e Urânio. P. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M. & Gonçalves, J.H. 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. (eds) CPRM, Brasília, p. 577-601.
- ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. *Standard Test Methods for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke*. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, p. 324-325.
- ASTM, 1991, Annual Book of ASTM Standards. Sec. 05.05 *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal*. ASTM, D 3174-89, Philadelphia, PA, p.326-328.
- ASTM, 1991, Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke*. ASTM, D 3175-89a, Philadelphia, PA, p.329-331.
- ASTM, 1991, Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter*. ASTM, D 2015-91, Philadelphia, PA, p.266-273.
- ASTM D 5373-93. 1997. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in laboratory samples of coal and coke. In: *1997 Annual Book of ASTM standards*, section 5, Petroleum Products, Lubricants and fossil fuels. Vol. 05.05. Gaseous fuels: coal and coke. P. 495-462. American Society for Testing and Materials – ASTM. Philadelphia.
- ASTM D2013/D2013M-12, 2012. Standard Practice for Preparing coal samples for analysis. ASTM International, West Conshohocken, PA. [http://dx.doi.org/10.1520/D2013\\_D2013M-12](http://dx.doi.org/10.1520/D2013_D2013M-12) www.astm.org.
- Diessel, C. 1965. *Correlation of macro-and micropetrography of some New South Wales coals*. Proceedings 8<sup>th</sup> Commonwealth Mining and Metallurgical Congress, vol. 6, p. 669-677.
- 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]. v. 38(2), p.128-137.
- Goodarzi, F., Gentzis, T., Snowdon, L., Bustin, R., Labonte, M. 1993. Effect of mineral matrix and seam thickness on reflectance of vitrinite in high to low volatile bituminous coals: an enigma. *Marine and Petroleum Geology*, 10.
- Informativo Anual da Indústria Carbonífera. 2000. Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. Inf. Na. Carbonif. Brasília, ano XV, Jul. 217 p.
- International Classification of in-seam coals. 1998. Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, United Nations, Geneva, 41p.
- ISO-7404/5, 2009. Methods for the Petrographic Analysis of coals. Part 5: *Method of determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite*. International Organization for Standardization. (14 p).

- ISO-7404/3. 2009. Methods for the Petrographic Analysis of coals. Part 3. *Methods of determining maceral group composition*. International Organization for Standardization. 8 p.
- Kalkreuth, W., Holz, M., Kern, M., Burger, H., Schauf, A., Prissang, R., Sousa, M. L. & Rodriguez, C. 2003. The coalbed methane potential of the Paraná Basin. *In: Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás*, 2, Rio de Janeiro, *Anais*, p.1-6, CD ROM.
- Kalkreuth, W., Holz, M., Casagrande, J., Cruz, R., Oliveira, T., Kern, M., Levandowski, J., Rolim, S. 2008. O potencial de Coalbed Methane (CBM) na jazida da Santa Terezinha—modelagem 3D e avaliação do poço de exploração CBM001-ST-RS. *Revista Brasileira de Geociências* 38(2), 3-17.
- 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.
- Kalkreuth, W., Holz M., Levandowski, J., Kern, M., Casagrande J., Weniger, P., Krooss, B. 2013. The coalbed methane (CBM) potential and CO<sub>2</sub> storage capacity of the Santa Terezinha Coalfield, Paraná basin, Brazil – 3D modeling, and coal and carbonaceous shale characteristics and related desorption and adsorption capacities in samples from exploration Borehole CBM001-ST-RS. *Energy Exploration & Exploitation*, volume 31, number 4.
- Karweil, J. 1969. Actuelle Probleme der Geochemie der Kohle. *In: Advances in Organic Geochemistry*. Oxford, Pergamon Press, p. 59-84.
- Lamberson, M. N., Bustin, R.M. 1993. Coalbed methane characteristics of Gates Formation Coals, Northeastern British Columbia: Effect of Maceral Composition. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V. 77, No. 12, p. 2062-2076.
- Leckie, D.A., Kalkreuth, W., Snowdon, L.R. 1988. Source rock potential and Thermal Maturity of Lower Cretaceous strata: Monkman Pass Area, British Columbia. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V. 72, No 7. P. 820-838.
- 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*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre . 167p.
- 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., Drobniak, 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., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. 15(2):265-287.

Stopes, M. C. 1919. *On the four visible ingredients in banded bituminous coals. Proceeding of the Royal Society Bull.* V. 90, p. 470-487.

Thomas, J. Damberger, H. 1976. *Internal surface area, moisture content and porosity of Illinois coals: variations coal rank.* Illinois State Geological Survey, Urbana, Illinois.

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.

## 6. REFERÊNCIAS (CAPÍTULOS 1 – 4)

ASTM D2013/D2013M-12, 2012. Standard Practice for Preparing coal samples for analysis. ASTM International, West Conshohocken, PA. [http://dx.doi.org/10.1520/D2013\\_D2013M-12](http://dx.doi.org/10.1520/D2013_D2013M-12) [www.astm.org](http://www.astm.org).

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

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

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

ASTM, 1991, Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter*. ASTM, D 2015-91, Philadelphia, PA, p.266-273.

ASTM D 5373-93. 1997. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in laboratory samples of coal and coke. In: *1997 Annual Book of ASTM standards*, section 5, Petroleum Products, Lubricants and fossil fuels. Vol. 05.05. Gaseous fuels: coal and coke. P. 495-462. American Society for Testing and Materials – ASTM. Philadelphia.

Butland, C. 2006. *Coal seam gas associations in the Huntly, Ohay e Greymouth Regions, New Zealand*. 163f. Dissertação de Mestrado - Department of Geological Sciences, University of Canterbury, New Zealand.

Clayton, J. L. 1998. Geochemistry of coalbed gas – A review. *International Journal of Coal Geology*, 35: 159-173.

Diessel, C. 1965. *Correlation of macro-and micropetrography of some New South Wales coals*. Proceedings 8<sup>th</sup> Commonwealth Mining and Metallurgical Congress, vol. 6, p. 669-677.

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. International Committee for Coal and Organic Petrology, 1994. The new inertinite classification. *Fuel* 80 (2001) 459-471.

ICCP. International Committee for Coal and Organic Petrology, 1998. The new vitrinite classification. *Fuel*. Vol 77, N° 5, pp. 349-358.

Ika Werke, 2000. Manual IKA Calorimeter System, C2000 basic/ C2000 control. Operating instructions. USA. [www.ika.net](http://www.ika.net)



ISO-7404/5, 2009. Methods for the Petrographic Analysis of coals. Part 5: *Method of determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite*. International Organization for Standardization. (14 p).

ISO-7404/3. 2009. Methods for the Petrographic Analysis of coals. Part 3. *Methods of determining maceral group composition*. International Organization for Standardization. 8 p.

Kalkreuth, W., 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., Alpern, B. (Ed) *Peat and Coal: Origin, Facies and Depositional Models*. International Journal of Coal Geology, Vol. 12, p381-424.

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.

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.

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

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

Milani, E.J. 2000. Geodinâmica Fanerozóica 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.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. 15(2):265-287.

MINEROPAR. 1980. Oportunidades empresariais para a exploração de recursos minerais no Paraná. Governo do estado do Paraná, Secretaria da Indústria e Comércio, Minerais do Paraná, S/A. 278p.

Schneider, R.L., Muhlmann, 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. *Anais*, Porto Alegre, SBG, 1:41-65.

Schopf, J.M. 1956. A definition of coal. *Economic Geology*, 51: 521-527.

Stach, E. 1982. The lithotypes of humic and sapropelic coals. In: Stach, T., Mackowsky, M.TH., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. (eds). *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3<sup>rd</sup> ed, Berlin: Gerbrüder-Borntraeger, p. 171-177.

Stopes, M. C. 1919. *On the four visible ingredients in banded bituminous coals. Proceeding of the Royal Society Bull.* V. 90, p. 470-487.

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.

## ANEXO

## CARTA DE SUBMISSÃO A REVISTA BRASILERIA DE GEOCIÊNCIAS

21/01/14

Gmail - BJJ 30075 | Artigo Submetido



Priscila Lourenzi &lt;priscilalourenzi@gmail.com&gt;

---

BJG 30075 | Artigo Submetido

---

Felippe Lopes | Secretaria - Zeppelini Editorial <secretaria2@zeppelini.com.br> 21 de janeiro de 2014 09:57  
Para: priscilalourenzi@gmail.com, wolfgang.kalkreuth@ufrgs.br  
Cc: Umberto Giuseppe Cordani <ucordani@usp.br>, Karina Watanabe | Edição - Zeppelini Editorial <edicao@zeppelini.com.br>, Luciana Silva | Artes - Zeppelini Editorial <artes@zeppelini.com.br>

Prezados autores, bom dia.

Envio este e-mail para confirmar a submissão do manuscrito intitulado "O potencial de geração CBM (Coalbed Methane) na jazida Sul Catarinense da Bacia do Paraná, Brasil: Características Petrográficas e Químicas das camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito".

Aguardo o envio das pendências relacionadas ao checklist enviado hoje.

Permaneço à disposição para esclarecimentos.

Att,

**FELIPPE LOPES**  
departamento de edição

Grupo ZP 11 anos

Zeppelini Editorial • Diálogo Eventos • Instituto Filantropia

+55 11 2978-6686 • [www.grupozp.com.br](http://www.grupozp.com.br)

**ATA Nº 682**

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado da aluna **PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI**, intitulada “**O POTENCIAL DE GERAÇÃO CBM (COALBED METHANE) NA JAZIDA SUL CATARINENSE DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL: CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DAS CAMADAS BARRO BRANCO, IRAPUÁ E BONITO**”, atribui os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Eduardo Osório (Centro de Tecnologia/UFRGS)  
**CONCEITO: “B” (BOM)**

Profa. Dra. Maristela Bagatin Silva (UFPEL)  
**CONCEITO: “A” (EXCELENTE)**

Dra. Marleny Blanco Gonzáles (Pesquisadora do PPGGEO)  
**CONCEITO: “A” (EXCELENTE)**

Porto Alegre, de de 2014.

<b>Homologação pela Comissão de Pós-Graduação,</b>	
<b>Ata nº</b>	<b>Data:</b>
<b>Conceito Final:</b>	
<b>Rubrica:</b>	

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>O Potencial de Geração CBM (<i>Coalbed Methane</i>) na Jazida Sul Catarinense da Bacia do Paraná, Brasil: Características Petrográficas e Químicas das Camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: <b>PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI</b>
Orientador: Wolfgang Dieter Kalkreuth
Examinador: Eduardo Osório
Data: 24/01/2014
Conceito: B
<b>PARECER:</b>
<p>A estrutura da dissertação, com a inclusão de um artigo submetido a um periódico no corpo da dissertação, difere das dissertações anteriores que eu avaliei no Programa de Pós Graduação em Geociências. Isso proporcionou uma repetição de informações em alguns itens. Em contrapartida não houve o aprofundamento desejado em outros itens.</p> <p>A Dissertação tem objetivos bem específicos: <i>avaliar a capacidade de geração e armazenagem de gás metano associado com as camadas de carvão através de caracterização química e petrográfica</i>. Foi realizado um detalhado trabalho de caracterização petrográfica das camadas de carvões estudadas, com a uma discussão muito boa. Entretanto a relação das propriedades petrográficas e químicas com a capacidade de geração de gás metano foi muito concisa, se limitando a uma página (pág.58). Cabe ressaltar que na discussão dos resultados nada foi comentado a respeito da capacidade de armazenagem. Por isso, sugiro retirar essa palavra dos objetivos.</p> <p>A "Introdução" (página 13) poderia ser mais ampla e, como sugestão, poderia citar os demais trabalhos no tema CBM realizados no Brasil a fim de contextualizar o presente trabalho na linha de pesquisa do Laboratório do Prof. Kalkreuth.</p> <p>Foi comentado nos "Objetivos" (página 14) que a dissertação da aluna faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo. Não ficou claro se os resultados das análises de dessorção e adsorção realizados, que serão publicados posteriormente, foram realizados pela própria aluna. Na minha opinião, o segundo parágrafo dos objetivos poderia ser melhor explicado nos itens "Introdução ou Estrutura da Dissertação".</p> <p>O "Estado da Arte" (página 22), apesar de muito concisa, abordou os principais assuntos pertinentes à dissertação. Poderia, entretanto, se aprofundar um pouco mais nos assuntos referentes ao CBM.</p> <p><u>Aspectos da redação do texto</u></p> <p>De uma maneira geral a dissertação está bem escrita.</p> <p><u>Questões de conteúdo</u></p> <p>Pág. 14 - Por que as sub-amostras para análise imediata foram moídas abaixo de 200 mesh se a norma ASTM recomenda que seja moída abaixo de 60 mesh?</p>



Pág. 22 – “De acordo com Schopf (1956) o carvão é uma rocha combustível que contém mais de 50 por cento de peso e mais de 70 por cento do volume de material carbonoso.” Por esta definição muitas camadas de carvões estudados (tabela 4, pág. 54) não poderiam ser consideradas como carvão. Não há alguma outra definição de carvão que seja compatível com o alto teor de matéria mineral dos carvões brasileiros?

- Faltam referências bibliográficas para as definições de carvões sapropélicos e húmicos.

Pág. 24 - Caso a Figura 4 tenha sido extraída ou adaptada de alguma bibliografia, deve-se colocar a referência ao final da legenda.

Pág. 25 – “A inertinita é derivada das mesmas substâncias que formam a vitrinita, mas submetidas a um processo de oxidação antes da deposição em ambiente pantanoso, esse maceral é relativamente inerte a queima”. A inertinita é geralmente inerte à coqueificação, isto é ela geralmente não possui propriedades plásticas. Quanto à queima, ele tem menor combustibilidade que os outros macerais.

Pág. 27 – Pergunta sobre composição do gás natural: carvões com altos teores de S (vide tabela 5 pág.57) podem gerar gás com compostos de S?

Pág. 34 – “A porção norte do arco é aquela que tem sido intensamente pesquisada e explorada, apresenta um comprimento que ultrapassa os 85 km e uma largura variável entre 5 e 20 km (Fig. 6).” Sugiro incluir a Fig. 7 na referência, pois ela complementar a visualização dessas informações.

Pág.41 – Por que não foi feita a descrição dos litotipos no furo CBM-SC-2011?

Pág. 43 – Antes de iniciar a discussão dos resultados, a Tabela 2 deve ser apresentada no texto.

Pág. 45 – Primeiro parágrafo. Como tu explicarias uma influencia da matéria mineral na refletância da vitrinita?

#### Avaliação da dissertação

Considero o trabalho da mestranda Priscila dos Santos Lourenzi como BOM e, assim, baseado na escala fornecida pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências, atribuo o conceito B.

Assinatura: *Eduardo Orsini*

Data: 24/01/2014

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

“O POTENCIAL DE GERAÇÃO CBM (COALBED METHANE) NA JAZIDA SUL CATARINENSE DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL: CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DAS CAMADAS BARRO BRANCO, IRAPUÁ E BONITO”

Área de Concentração: Geoquímica

Autora: PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI

Orientador: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

Examinador: Dra. Marleny Blanco Gonzáles

Data: 06/02/2014

Conceito: A (excelente)

PARECER:

Esta dissertação da autoria da geóloga Priscila dos Santos Lourenzi aborda a pesquisa das características petrográficas e químicas das camadas de carvão na jazida Sul Catarinense da Bacia do Paraná de forma clara, concisa e coerente, sendo de vital importância para avaliar as propriedades do material orgânico, seu processo de maturação, quantidade e tipo de hidrocarbonetos que foram gerados.

A proposta da dissertação poderá contribuir de modo relevante para a evolução do potencial de geração CBM (Coalbed methane) na área estudada, como também dos seus intervalos geradores. Sendo que, o gás natural contido em formações de carvão constitui um importante recurso que está ajudando a responder as crescentes necessidades energéticas do mundo.

Deste modo, pela contribuição que terá este trabalho nos futuros estudos de CBM na Bacia do Paraná, atribuo conceito Excelente (A)





ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
"O POTENCIAL DE GERAÇÃO CBM (COALBED METHANE) NA JAZIDA SUL CATARINENSE DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL: CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS DAS CAMADAS BARRO BRANCO, IRAPUÁ E BONITO"	
Área de Concentração: Geoquímica	
Autora: PRISCILA DOS SANTOS LOURENZI	
Orientador: Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth	
Examinador: Profa. Dra. Maristela Bagatin Silva	
Data: 05/02/2011	
Conceito: A	
PARECER:	
<p>O trabalho integra dados petrográficos, químicos e físico-químicos dos carvões das camadas Bonito, Irapuá e Barro Branco da jazida sul-catarinense. Trata-se de trabalho relevante para o conhecimento dos aspectos composicionais e de rank dos carvões aplicados à avaliação do potencial para geração gás da jazida, na bacia do Paraná.</p> <p>O trabalho apresenta grande volume de dados e isto tem sido documentado assim como referências bibliográficas pertinentes ao assunto abordado. A metodologia está bem descrita e adequada ao propósito do trabalho. O capítulo sobre o estado da arte se destaca na medida em que situa o leitor sobre conceitos básicos e métodos utilizados.</p> <p>Algumas questões são feitas a serem resolvidas, mas que não interferem na avaliação final do trabalho.</p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. alguns dados petrográficos</li> <li>2. não comente o antiacido</li> <li>3. resumo: citar as camadas estudadas e os parâmetros analisados que permitiram as conclusões.</li> </ol>	

*Priscila Lourenzi*

4. Abstract: "proximate" no inv. de "immediate"
5. Objetivos: cita camadas em todas, segundo parágrafo e desrespeita objetivos.
6. Figuras: fig 9: o cor "rdi" está obcurando os limites municipais; fig 8: quais são as litologias associadas às camadas de cor "rdi"?
5. Resultados e Discussão: p. 42: em "que pode ser relacionado ao último teor de inertítil e mat. mineral" Por que não foi feito, estas litologias? p. 58 último parágrafo em "as características petrográficas e químicas semelhantes às da Jai. 5ª Terceira" Quais são elas? Pg. 49: a integração das Est. de seqüência e sua influência nas esp. fotos composicionais descrita, para as camadas P.C - Bonito Bonito e Beivo Branco poderia ser ampliada.
6. Alguns autores não foram citados, p/ exemplo sobre estudos que justificam a influência da matéria mineral nos carões de Bacia de Paraná
Assinatura: <i>Juanstella</i> Data: 05.02.14
Ciente do Orientador:
Ciente do Aluno: