



Universidade de
Aveiro
2016

Departamento de Geociências

José Emílio
Meque

Caracterização dos rejeitados de carvão da Mina
de Benga



Universidade de
Aveiro
2016

Departamento de Geociências

José Emílio
Meque

Caracterização dos rejeitados de carvão da Mina
de Benga

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica de Professor Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida, Professor do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e co-orientação científica da Professora Doutora Deolinda Maria dos Santos Flores Marcelo da Fonseca, Professora Catedrática no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Aos meus pais:

Emílio Meque e Rosa Chico

O Júri
Presidente

Prof. Doutor Jorge Manuel Girão Medina
Professor Auxiliar na Universidade de Aveiro

Prof^a. Doutora Joana Paula Machado Ribeiro
Professora Auxiliar Convidada na Faculdade de Ciências do
Porto

Prof. Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida
Professor Associado na Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por me fazer chegar até este dia e poder apresentar este trabalho.

Agradeço em especial a minha família que mesmo distante deram apoio, encorajamento e mantiveram em contacto.

Agradecimento muito especial a Professora Doutora Deolinda Maria dos Santos Flores Marcelo da Fonseca, Professora Catedrática do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto co-orientadora desta dissertação pelo apoio, acompanhamento e análise crítica do texto original, e pela disponibilização das amostras da mina de Benga por parte do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Ao Professor Doutor Fernando Rocha Almeida, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, orientador desta dissertação pelo apoio, disponibilidade, acompanhamento, na qual tornaram possível para a efetivação deste trabalho.

À Universidade Pedagógica pela Bolsa de mestrado e também à Universidade de Aveiro onde frequentei o Mestrado em Engenharia Geológica, agradecimentos dirigidos aos professores deste ciclo de estudo, os professores do Departamento do Ambiente e Ordenamento do Território da Universidade de Aveiro, a todos meus colegas, Osvaldo Rupias, António Fortes, Assane Pena, Felisberto Lima, Rui Mário e Abelardo banze, pela irmandade e a todos outros amigos que comigo conviveram durante este período, vão os meus agradecimentos pela partilha de momentos e de experiências.

MUITO OBRIGADO!

Palavras-chave

Carvão, rejeitados, Bacia Carbonífera de Moatize, Mina de Benga, análise petrográfica, matéria mineral, matéria orgânica.

Resumo

O presente trabalho estuda os rejeitados de carvão da Bacia Carbonífera de Moatize, concretamente na mina de Benga, assim sendo o trabalho faz o estudo da petrografia e a respetiva caracterização dos rejeitados de carvão com vista a sua beneficiação. Para realização deste trabalho foi usada uma amostra de rejeitados grosseiros de carvão, na qual foram selecionados fragmentos com densidades diversas, determinadas usando a balança de Jolly.

A caracterização petrográfica dos rejeitados de carvão foi realizada através da análise quantitativa em grupos de macerais e da matéria mineral, assim como do seu modo de ocorrência. Determinou-se, ainda, o rendimento em cinzas. A análise estatística destes dados permitiu a caracterização destes rejeitados com vista à sua beneficiação.

Neste estudo, os teores de cinzas são elevados cerca de 46,67 % a 88,6%, confirmando assim que se trata de um rejeitado, sendo o processo de obtenção do teor em MO por via indireta, através da densidade, adequado. A MM desta amostra está sobretudo dispersa na MO, nomeadamente os carbonatos e os minerais de argila. A MM que pode ser facilmente separada da matéria MO através da redução de calibre.

Considerando que se pretende um reaproveitamento dos rejeitados grosseiros, será necessário obter um produto de qualidade inferior eventualmente para uso doméstico.

Keywords

Coal, tailings, Moatize Coal Basin, Benga Mine, petrographic analysis, mineral matter, organic matter.

Abstract

The present work studies the rejected materials from the tailings from the Moatize Coal Basin, specifically in the Benga Mine, for beneficiation purposes. For this work were one coarse reject sample collected in a tailing, from which fragments with different densities were selected, performed using a Jolly balance.

The petrographic characterization of the coal rejects was undertaken through a quantitative analysis in maceral groups and the mineral matter and its occurrence mode. It was also carried out the ash yield. The statistical treatment of the data permitted the mining rejects characterization for their beneficiation.

In this study, the ash contents are raised from 46.67% to 88.6%, thus confirming that this is a rejection product, and the process of obtaining the MO content indirectly through density is adequate. The MM of this sample is mainly dispersed in OM, namely carbonates and clay minerals. The MM which can be easily separated from the MO by the reduction of size. Considering the reuse of the rejected coarse, it will be necessary to obtain a benefited product of lower quality for domestic use.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Carvão mineral.....	2
1.2 Rejeitados de carvão.....	3
1.3 Objetivos do trabalho.....	3
2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO.....	5
2.1. Localização geográfica de Moatize.....	6
2.2 Clima, relevo e solos.....	7
2.3 Recursos hídricos.....	7
2.4 Infra-estruturas de Moatize, Tete.....	8
2.5 Economia e serviços em Moatize.....	9
2.6 Enquadramento geológico da Mina de Benga.....	10
2.7 Descrição das camadas de carvão.....	15
3. EXPLORAÇÃO E BENEFICIAÇÃO.....	17
3.1 Exploração.....	17
3.2 Beneficiação.....	18
4. ÁREA AMBIENTAL.....	23
5. ATRIBUTOS DO CARVÃO.....	29
6. MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE.....	33
6.1 Amostragem.....	33
6.2 Determinação da densidade.....	35
6.3 Preparação das amostras para análise petrográfica.....	37
6.4 Análise petrográfica.....	39
6.5 Determinação do rendimento em cinzas.....	41
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
7.1 Caracterização petrográfica.....	45
7.2 Análise da densidade.....	51
7.3 Análise do rendimento em cinzas.....	58
7.3.1 Correlação rendimento em cinzas <i>versus</i> $F_{V_{MO}}$	59
7.3.2 Correlação rendimento em cinzas <i>versus</i> MO da petrografia.....	60
7.3.3 Análise dos resultados das regressões: rendimento em cinzas <i>versus</i> $F_{V_{MO}}$ e rendimento em cinzas <i>versus</i> MO da petrografia.....	61
8. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES.....	65
9. REFERÊNCIAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Localização geográfica de Moçambique.....	5
Figura 2.2 Localização geográfica de Moatize.....	6
Figura 2.3 Principais infra-estruturas ferroviárias de escoamento de carvão.	8
Figura 2.4 Extração de carvão de Moatize-Moçambique e seu destino.	10
Figura 2.5 Localização geográfica da mina de Benga, Moatize.....	12
Figura 2.6 Vista panorâmica da mina de carvão de Benga.....	13
Figura 2.7 Esboço Geológico de Moatize-Tete.....	14
Figura 2.8 Esboço da serie produtiva em Moatize.....	16
Figura 3.1 Esquema detalhado sobre beneficiação do carvão5.....	20
Figura 6.1 Fluxograma relativo à preparação das amostras.	34
Figura 6.2 Amostra/fragmento de amostras.....	35
Figura 6.3 Balança de Jolly.....	37
Figura 6.4 a) Máquina de polimento; b) blocos polidos.....	39
Figura 6.5 Microscópico petrográfico.....	39
Figura 6.6 Mosaico de uma das amostras.....	40
Figura 6.7 Imagem obtida no mosaico de uma das amostras e a retícula.....	41
Figura 6.8 Gral e pistilo na fase de moagem das amostras.....	42
Figura 6.9 Peneiramento das amostras, Peneiros da serie ASTM.....	42
Figura 7.1 Mosaicos das amostras selecionadas para o estudo.....	45
Figura 7.2 Amostra C5.....	47
Figura 7.3 Amostra C8.....	47
Figura 7.4 Amostra C11.....	48
Figura 7.5 Amostra C13.....	49
Figura 7.6 Amostra C36.....	49
Figura 7.7 Amostra C44.....	50
Figura 7.8 Amostra C45.....	51
Figura 7.9 Regressão linear entre a diferença L1 - L0 e a massa da amostra.	53
Figura 7.10 Histograma com oito classes de densidades.....	54
Figura 7.11 Histograma de fração em volume da matéria orgânica.....	57
Figura 7.12 Dispersão em volume e teor da Matéria Orgânica.....	57
Figura 7.13 Correlação entre o rendimento em cinzas e a fração volumétrica de matéria orgânica.....	59
Figura 7.14 correlação cinzas/FvMO excluindo amostras anómalas.....	60
Figura 7.15 Correlação MO-Petrografia e Cinza usando amostras emparelhadas.....	60
Figura 7.16 Regressão da fração MO.....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Número de Explorações agro-pecuárias por categoria; Áreas Cultivadas.....	9
Tabela 3.1 Granulometria por unidade de processamento para a planta CHPP.....	19
Tabela 5.1 Subgrupos e macerais do grupo da huminite e da vitrinite.....	31
Tabela 6.1 Composição petrográfica (% volume) e geoquímica (% massa) da amostra CR.....	33
Tabela 7.1 Dados da análise petrográfica.....	46
Tabela 7.2 Resultados obtidos na determinação de todas as amostras estudada	52
Tabela 7.3 Dados relativos ao teor em humidade da amostra para a análise e do rendimento em cinzas determinados na base “seco ao ar” e o rendimento em cinzas calculado na base “seco”.	58
Tabela 7.4 Quadro-resumo dos resultados de regressão.	62

LISTA DE ABREVIATURAS

AIE – Agência Internacional de Energia

AIA - Avaliação de impacto ambiental

B – cadinho com amostra

cm³- centímetro cúbico

cm – Centímetro

cz – rendimento em cinza

km – quilómetros

Mt- milhões de toneladas

Mt/a – milhões de toneladas por ano

m – metro

mm – milímetro

Nº - número

[s] – base seco

[sa] –base seco ao ar

[ssc] – base seco sem cinzas

(smm) – base sem matéria mineral

C – Carbono

CHPP – Coal handling and Preparation Plant

CR – Rejeitados grosseiros

D_{MO}-Densidade da Matéria Orgânica

D_{MM}- Densidade da Matéria Mineral

D_R- Densidade da Rocha

EN – Estrada nacional

ER – Estrada regional

Fv_{MO} – fração em volume da MO

Fv_{MM} – fração em volume da matéria mineral

Fg – fragmento

g - grama

HPAs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Hum – Humidade

HPAs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

INE – Instituto Nacional de Estatística

I – Inertinite

ICCP - International Committee for Coal and Organic Petrology

ISO - International Organization for Standardization

K – constante elástica da mola

L – Liptinite

L₁- Comprimento da mola

L₂- Comprimento da mola

L₃- Comprimento da mola

MAE – Ministério da Administração Estatal

MM – Matéria mineral

M_{MO}- Massa da Matéria Orgânica a volume unitário

M_{MM}- Massa da Matéria Mineral a volume unitário

MICOA - Ministério para Coordenação da Ação Ambiental

MO – matéria orgânica

MV – Matérias voláteis

MINAG – Ministério da Agricultura

Marg- minerais de argila

NOx – nitratos

ρ – Densidade do mineral

σ – Densidade da água

Pi - Pirite

PC – Poder calorífico

PNGA - Programa Nacional de Gestão Ambiental

WCI –World Coal Institute

SOx - sulfatos

Sd – Siderite

SNG - gás natural sintético

SH - sistema de nomenclatura Stopes-Heerlen

V – Vitrinite

1. INTRODUÇÃO

A exploração mineira do carvão tem um papel histórico no desenvolvimento económico e sustentável dum país dado que traz grandes contribuições do ponto de vista socioeconómico pela sua participação na matriz energética mundial. Apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o Carvão Mineral é uma fonte de energia devido à:

a) abundância das reservas; b) distribuição geográfica das reservas; c) baixos custos e estabilidade nos preços, relativamente a outros combustíveis (Borba, 2001).

Fontes renováveis, como biomassa, solar e eólica, vieram ocupar uma considerável parcela na matriz energética mundial, no entanto o Carvão Mineral deverá continuar a ser, por muitas décadas, o principal combustível para a geração de energia elétrica, especialmente nos países em vias de desenvolvimento como o caso de Moçambique. Entre os recursos energéticos não renováveis, o Carvão Mineral ocupa a primeira colocação em abundância e perspectiva de vida útil, sendo em longo prazo a mais importante reserva energética mundial, seguida do petróleo e do gás natural (Borba, 2001). Sendo-lhe atribuída a acidificação das chuvas e outros efeitos da poluição atmosférica, esses efeitos ambientais contribuíram para a redução de 5% no consumo durante a década de 1990 (AIE, 1997).

Apesar da intensa pressão ambientalista, a posição desse recurso Geológico vem se mantendo relativamente inabalável no cenário mundial, isso deve-se, em parte, aos progressos tecnológicos ocorridos nas áreas de prevenção e recuperação de danos ambientais durante os processos de extração e queima, mas principalmente a tecnologia dos recursos considerados limpos aumentarem a sua participação na matriz energética mundial (Borba, 2001).

Moçambique possui vários jazigos de carvão, sendo a Bacia Carbonífera de Moatize, a mais conhecida, na província de Tete, considerada um dos maiores jazigos de carvão do mundo, com reservas estimadas em pouco mais de 2,5 biliões de toneladas.

O carvão para além da sua grande relevância na matriz energética mundial, também é aplicado na produção de aço nas unidades siderúrgicas (Mattozo, 2002).

Atualmente, dados da Agência Internacional de Energia apontam a China, os Estados Unidos e a Índia como os maiores produtores mundiais de carvão, sendo de aproximadamente 40% da eletricidade gerada mundialmente através deste recurso. Alguns dos países que

dependem da energia elétrica gerada através do carvão são: América do Sul, Dinamarca, China, Grécia, Alemanha e Estados Unidos. A indústria de ferro e aço mundial também é fortemente dependente do uso do carvão, como é o caso do Brasil.

Desde o final dos anos 1990, a alta nos preços do petróleo e do gás natural criou uma perspectiva favorável ao mercado internacional do carvão, visto que este recurso, além da posição que ocupa na economia de alguns países assim como a sua distribuição geoestratégica, ainda é um substituto para os demais combustíveis fósseis, tendo importante papel moderador nos preços do mercado de recursos energéticos (Borba, 2001).

Tendo em conta das necessidade de alargar o conhecimento dos carvões da Mina de Benga, Moatize para aumentar a capacidade de produção e ampliação do mercado consumidor, para os diferentes segmentos industriais, surge a necessidade de aumentar as capacidades das plantas de beneficiação, melhorando assim a sua eficiência, visando a sua adequação para atender a procura existente; assim o conhecimento das especificações dos produtos desejados é importante para a verificação da viabilidade técnica e económica da beneficiação do carvão na qual o presente trabalho faz a caracterização dos rejeitados grosseiros de carvão através de metodologias físicas, petrográficas e químicas com vista à sua beneficiação.

1.1 Carvão mineral

A norma ISO 11760 (2005) - Classificação dos Carvões, adota a seguinte definição para o carvão: como sendo “rocha sedimentar carbonosa, fundamentalmente derivada da acumulação e preservação de restos vegetais, com matéria mineral associada correspondendo a um teor em cinzas inferior ou igual a 50%, em massa, expresso na base seco” (Lemos de Sousa et al., 2012). Esta definição não inclui a turfa como carvão, mas sim como matéria-prima para formação dos carvões. As outras definições referem-se ao carvão como rochas essencialmente compostas por matéria orgânica fóssil e matéria mineral, que se acumulou em bacias sedimentares e sofreu um processo de alteração biogeoquímica (Lemos de Sousa, 1999).

O carvão mineral forma-se por processos de sedimentação de matéria orgânica que, devido a ação dos fatores da geodinâmica externa, sofrem alterações, numa fase inicial

essencialmente biogeoquímicas e posteriormente geoquímicas. Este processo inicia-se com um processo de turbificação ou humificação, que é uma fase de deposição inicial de restos de vegetais em condições essencialmente anaeróbicas e húmicas, originando as turfas que por sua vez dão origem aos carvões húmicos. Relativamente aos carvões sapropélicos, a sua formação está sujeita a putrefação em condições aeróbicas.

1.2 Rejeitados de carvão

Na exploração mineira enquanto ativa é sempre feita uma seleção do material, resultando enormes quantidades de rejeitados (estéreis), que são depois acumulados formando escombreliras (CIP, 2009).

Muitas vezes, essas escombreliras não obedecem a qualquer técnica de construção sendo apenas o resultado da acumulação destes rejeitados em áreas próximas das minas e em terreno desocupado. Estas escombreliras causam maior preocupação ambiental, pois com o passar do tempo tornam-se mais instáveis, podendo ocorrer aberturas de fendas e subsidências da escombrelira. De mencionar, ainda, a ocorrência de incêndios em minas de carvão ou em escombreliras, originando problemas de contaminação ambiental nos terrenos circundantes e causar a contaminação de cursos de água e de águas subterrâneas, comprometendo assim a qualidade do ambiente e a saúde pública. As causas da ocorrência destes incêndios, que muitas vezes se prolongam no tempo em combustão lenta, podem ser várias, e a sua extinção é, frequentemente, difícil e de custos elevados.

1.3 Objetivos do trabalho

Pretende-se com a realização deste trabalho atingir os seguintes objetivos:

- Caracterizar petrograficamente rejeitados grosseiros de carvão da Mina de Benga;
- Identificar a relação da fração orgânica e da fração mineral;
- Determinar a densidade dos fragmentos selecionados para o estudo e o respetivo rendimento em cinzas;
- Relacionar através da regressão linear a fração volumétrica da matéria orgânica e a densidade;
- Determinar e analisar o rendimento em cinzas e correlacionar com a fração volumétrica da matéria orgânica.

Para se cumprir os objetivos definidos no presente trabalho foi selecionada uma amostra de rejeitados grosseiros de carvão das escombreyas resultantes da exploração Benga com a designação de CR, existente nos arquivos do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Territórios e do Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Porto. Foram retirados 27 fragmentos de calibre superior a 10mm da amostra CR. Os fragmentos foram decompostos em 57 amostras emparelhadas com a referencia C. Determinou-se a densidade de todas as amostras C. Escolheram-se 7 amostras C para a análise petrográfica e 15 amostras C para determinar o rendimento em cinzas segundo o critério de terem diferentes densidades e que emparelhavam tendo como origem o mesmo fragmento.

As 57 amostras C originadas nos 27 fragmentos apresentam calibres superiores a 10mm pelo que este estudo refere-se a uma fração granulométrica compreendida entre 12mm a 34mm nos fragmentos e 11 a 27mm nas amostras C.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

Moçambique (Figura 2.1) encontra-se localizado na região da África Austral e na costa sudeste do continente Africano, limitado a norte pela República da Tanzânia, a noroeste pelo Malawi e Zâmbia, a oeste pelo Zimbabwe, a leste pelo Canal de Moçambique e o Oceano Índico, e a sul e sudoeste pela África do Sul e Suazilândia. No Canal de Moçambique, tem fronteiras marítimas com as Comores e Madagáscar.

Em termos de coordenadas geográficas, Moçambique situa-se entre as latitudes 10° 27' Sul e 26° 52' Sul e entre as longitudes 30° 12' Este e 40° 51' Este (Muchangos, 1999). Moçambique é um país com mais de 20 milhões de habitantes.

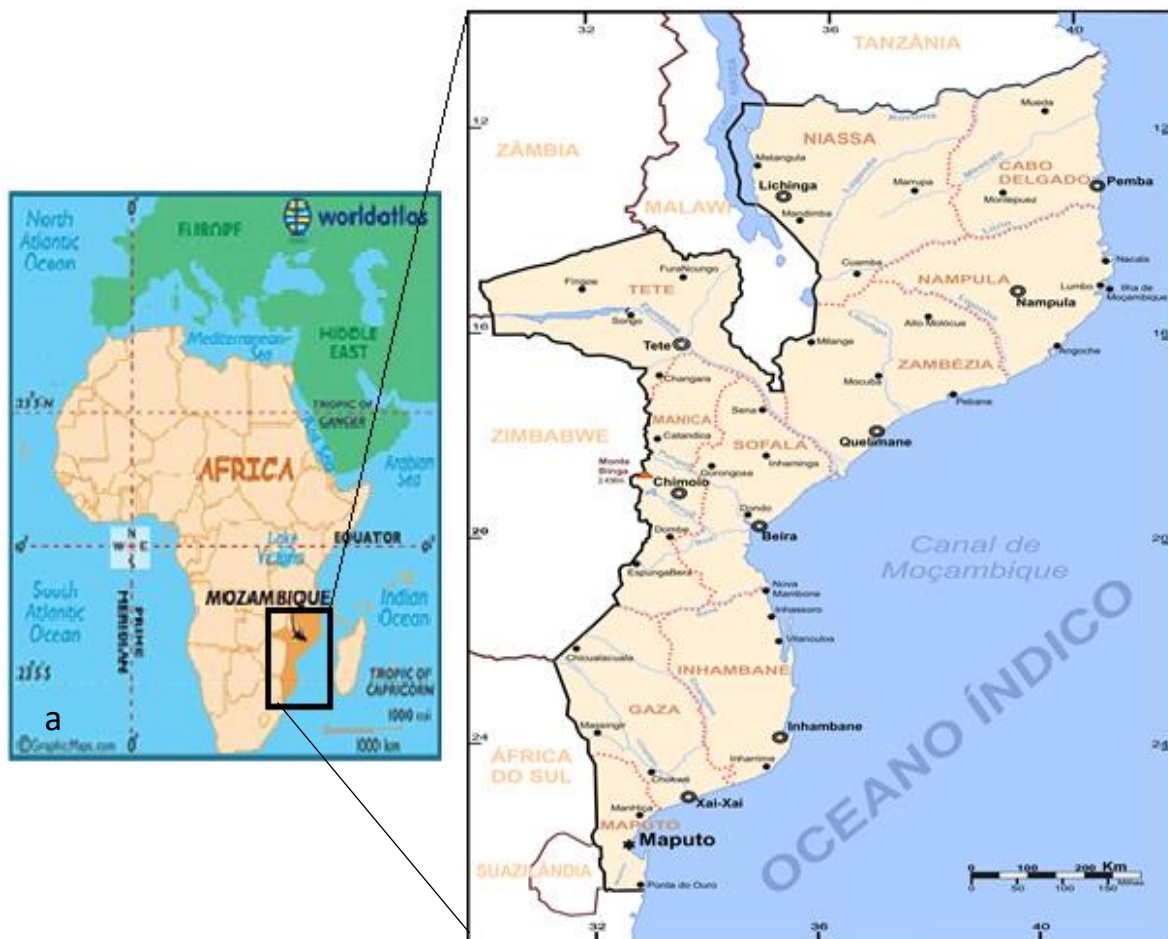


Figura 2.1 Localização geográfica de Moçambique

Fonte: a) World Atlas; 2016, Country. - Extraído no dia 22.04.2016.

b) Cartographic Department; 2016, map profile – Extraído no dia 20.04.2016.

2.1. Localização geográfica de Moatize

Moatize (Figura 2.2) localiza-se na província de Tete, entre os paralelos 15' 36'' e 16' 38'' latitude Sul e entre os meridianos 32' 16'' e 34' 28'' de longitude Este (MAE, 2005).

O distrito (Figura 2.2b) tem três Postos administrativos nomeadamente: Moatize, Kambulatsitsi e Zóbuè que, por sua vez, estão subdivididos em nove localidades, a saber: Moatize, Benga, Mpanzu, Msungu, Kambulatsitsi, Mecungas, Zóbuè, Capridzanje e Ncodeze (MAE, 2005).

Moatize possui uma superfície de 8,428 km² e cerca 292.341 habitantes.

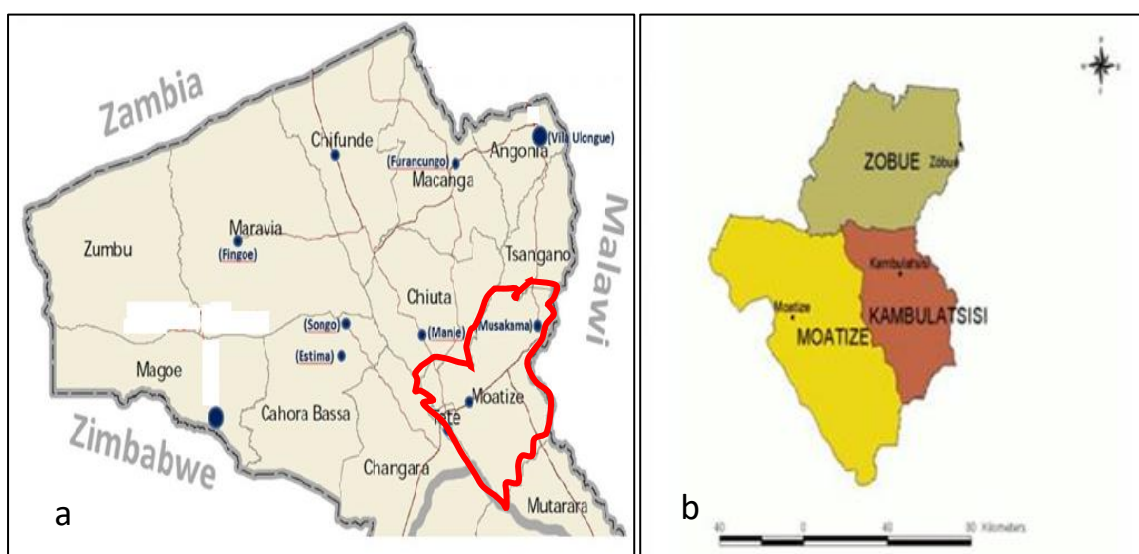


Figura 2.2 Localização geográfica de Moatize

Moatize possui uma superfície de 8,428 km² e cerca 292.341 habitantes.

a) Mapa da província de Tete - Consultado no dia 06.04.2016

b) Mapa da divisão administrativa do distrito de Moatize – consultado no dia 06.04.2016.

Fonte: Portal do Governo de Moçambique/Moatize.

2.2 Clima, relevo e solos

Concretamente na área de estudo de Moatize-Tete, ocorrem dois tipos de clima nomeadamente “seco de estepe com inverno seco - BSW” na parte sul do distrito e o clima do tipo “Tropical Chuvoso de Savana-AW” no norte do distrito.

Nos dois tipos de clima observam-se duas estações distintas, a estação chuvosa e a seca. A precipitação média anual na estação mais próxima é cerca de 644 mm, enquanto a evapotranspiração potencial média anual é da ordem de 1.626 mm.

A maior precipitação ocorre sobretudo no período entre Dezembro dum ano a Fevereiro do ano seguinte.

Geomorfologicamente o distrito de Moatize ocorre no vasto complexo Gnaisso-Granítico de Moçambique Belt onde se observam as rochas intrusivas do Pós-Karoo, uma Bacia situada no graben com uma largura variável de 2,5 km a 8 km e uma extensão de mais de 20 km, estando a superfície, plana e levemente ondulada, situada a uma altitude entre 140 m a 220 m acima do nível do mar, em relação as zonas bordejantes do gabren de idade Précâmbrica, situando-se a altitudes superiores a cerca de 300 m (Vasconcelos, 2005).

Dos vários agrupamentos de solos da região destacam-se os seguintes: solos castanho-acinzentados, castanho-avermelhados pouco profundos sobre rochas calcárias e os derivados de rochas basálticas, estes últimos, podendo ser avermelhados, castanhos-avermelhados ou pretos. Estes solos são de produtividade variável e caracterizados por apresentarem boas capacidades de retenção de nutrientes e água.

2.3 Recursos hídricos

A Bacia Carbonífera de Moatize está integrada na Bacia Hidrográfica do rio Zambeze a qual, em território nacional, se estende no sentido Oeste-Este do Zumbo (na fronteira com a Zâmbia e o Zimbabwe) até à sua foz no Oceano Indico (Chinde), e de Zâmbia/Malawi ao Zimbabwe, no sentido Norte-Sul. Esta Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze ocupa uma extensão de cerca de 137.000 Km² (Real, 1966). O principal afluente do Rio Zambeze, situado na margem esquerda é o rio Rovubuè que corre de norte para sul e corta a Bacia Carbonífera de Moatize. O Rio Moatize, que corre de leste para oeste, é um subsidiário do rio Murongozi o qual, por sua vez é subsidiário do rio Revubuè. A rede de drenagem da região é caracterizada por rios de cursos impersistentes (Vasconcelos, 1948).

2.4 Infra-estruturas de Moatize, Tete

Quanto as infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias, Moatize é acessível pela estrada, sendo atravessado por três Estradas Nacionais (EN 103- Moatize/Zóbuè; EN 222- Matena/Cassacatiza; EN 223- Mussacama/Calómuè) e por duas Estradas Regionais (ER 450- Madamba/ Mutarara; ER 456- Matema/Furancungo) e também existem linhas férreas que são: a linha do Sena e a linha que liga Tete ao Porto de Nacala, (Figura 2.3), as principais linhas ferroviárias de escoamento do carvão.



Figura 2.3 Principais infra-estruturas ferroviárias de escoamento de carvão.

Fonte: Vale de Moçambique; 2016. Mineração do carvão da mina de Moatize. - Extraído no dia 22.06.2016.

2.5 Economia e serviços em Moatize

A agricultura é a atividade dominante e envolve quase todos os agregados familiares. A pesca, a pecuária são atividades artesanais bem como a atividade de caça, sendo a atividade mineira outra das atividades praticadas no distrito.

Na agricultura, a maioria da terra é explorada em regime de consociação¹ de culturas alimentares.

A exploração agropecuária (Tabela 2.1) está dividida em categorias que são: pequenas e médias explorações e as grandes explorações, para o distrito de Moatize e também para toda província. Na tabela 2.1 vem indicada a percentagem de explorações e a área de cultivo do distrito de Moatize em relação à província, sendo 48.407 explorações para o distrito, 12 são correspondentes a grandes explorações e cerca de 48.395 entre médias e pequenas explorações, estando assim com poucas explorações maior de extensão. As áreas totais de cultivo no distrito são de cerca de 49.032. Ao nível da província são cerca de 376.150 explorações agro-pecuárias dos quais somente 109 corresponde a grandes explorações e cerca de 376.41 entre as pequenas e médias explorações, destas explorações corresponde ao total de 623.014 áreas de cultivo dos quais somente 1.247 são as grandes áreas de atividades e a maioria em cerca de 621.767, refere-se as áreas de cultivo para pequenas e médias explorações.

Explorações agro-pecuárias por categoria	Distrito		Província	
	Nº de Exploração	Área de cultivo	Nº de Exploração	Nº de Exploração
Pequena e Médias	48.395	48.999	376.041	621.767
Grandes	12	33	109	1.247
Total	48.407	49.032	376.150	623.014

Tabela 2.1 Número de Explorações agro-pecuárias por categoria; Áreas Cultivadas no Distrito e Total da Província – 2010.

¹ Prática de cultivar duas ou mais culturas em proximidade com objetivo mais comum de produzir maior rendimento possível em um determinado pedaço de terra

Extraído no dia 22.04.2016 em: INE & MINAG - II Censo Agro-pecuário, 2010/2011

A atividade de exploração do carvão em Moçambique tem como mercado a Europa, América, Índia e Ásia Oriental (Figura 2.4) para a qual se exportam milhões de toneladas por ano.



Figura 2.4 Extração de carvão de Moatize-Moçambique e seu destino.

Fonte: Vale de Moçambique; 2016. Mineração do carvão de Moatize. - Extraído no dia 22.06.2016.

2.6 Enquadramento geológico da Mina de Benga

A mina de Benga (Figura 2.5) localiza-se no Posto Administrativo de Moatize, do distrito com o mesmo nome, que dista a 20 km da capital provincial de Tete. Geograficamente encontra-se entre os paralelos 15° 37' e 16° 38' de latitude e 33° 22' e 34° 28' de longitude. O distrito de Moatize é limitado a norte pelos distritos de Chiúta e Tsangano; a este pela República do Malawi; a sul pelos distritos de Tambara, Guro, Changara e Município de Tete, através do rio Zambeze e Mutarara através do rio Mecombezi e a oeste pelos distritos de Chiúta e Changara (MAE, 2005).

O atual conhecimento Geológico de Tete sofreu uma evolução considerável desde o início deste século. O primeiro esboço geológico de Moçambique que se conhece, à escala de 1:8.000.000, foi publicado no anuário de Moçambique de 1908 e é da autoria de A. A. Freire de Andrade. Nesta altura considerava-se que a maioria do território era ocupado por formações do Pré-câmbrico, com manchas de terrenos do Paleozoico correspondentes ao

atual Karoo e uma mancha de meláfiros e porfirites à volta de Tete, corresponde ao atual complexo Gabro-anortosítico de Tete.

Atualmente pode considerar-se que as formações geológicas do vale do rio Zambeze podem dividir-se em três grandes unidades estratigráfica;

- a) Formações Pré-Karoo, de idade Pré-câmbrica;
- b) Formações do Supergrupo do Karoo de idade variando entre Carbonífero Superior e o Jurássico;
- c) E formações Pós- Karoo, com idades variando do Jurássicos ao Quaternário.



Figura 2.5 Localização geográfica da mina de Benga, Moatize

a) Mapa extraído: Google maps em 19.06.2016; b) Mapa extraído no dia 10.11.2016 em: Human Rights Watch 2016.

Na figura 2.6 pode observar-se a vista panorâmica da mina de carvão de Benga, Moatize.



Figura 2.6 Vista panorâmica da mina de carvão de Benga

Fonte: Deutsche Welle; 2016, carvão de Moçambique. - Extraído no dia 27.05.2016

A Bacia Carbonífera de Moatize pertence ao Super grupo do Karoo. A camada Chipanga é a mais espessa de todas e a única que foi explorada. A Bacia Carbonífera de Moatize pertence a uma bacia maior que se estende de Tete a Minjova, na fronteira com o Malawi, que por sua vez se prolonga neste país na Bacia de Lengwe. Os limites NE e SW do graben são definidos por falhas de bordadura com direção NW-SE (Figura 2.7). O graben de Moatize tem um comprimento aproximado de 35 km e uma largura média de 2 km. O acidente orográfico mais importante é o Monte M'pandi, com uma altitude de 320.8 m, situado na margem SW do graben, representando um braquianticlinal das rochas do embasamento no esboço geológico (David & Sampaio, 2003).

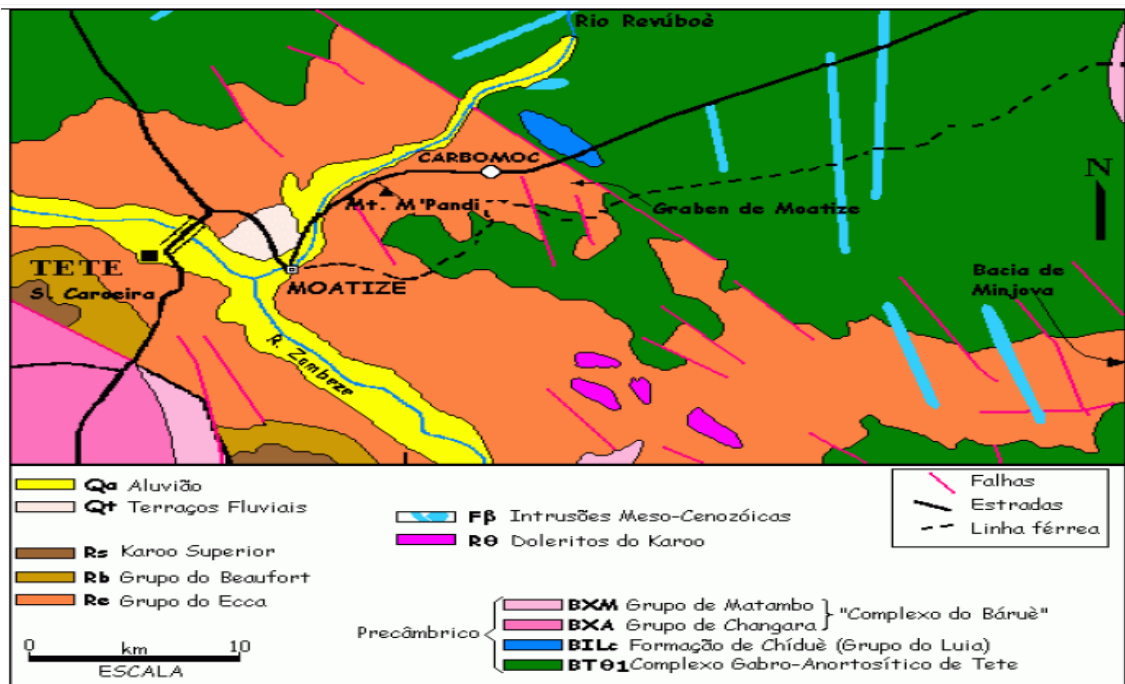


Figura 2.7 Esboço Geológico de Moatize-Tete.

Extraído de: Vasconcelos, 1995.

As formações de Moatize e Matinde são respetivamente equivalentes ao Dwyka Superior/Ecca Inferior e ao Ecca Médio/Superior da Bacia. A sequência de camadas de carvão de Moatize está inserida no Karoo justificando-se assim a importância desta unidade geológica. Na região de Moatize, superiormente à série produtiva, começa outra série sedimentar de grão grosseiro a médio, grés arcósico e pequenas camadas lenticulares de calhaus rolados e estratificação cruzada (Real, 1966).

O depósito de carvão de Moatize é constituído por rochas de origem sedimentar, tais como, siltitos e arenitos que são as litologias correspondentes a rocha estéril. O minério é composto por três camadas horizontalizadas principais de carvão com a seguinte nomenclatura: a Bananeiras, a Chipanga e a camada Souza Pinto, sendo apresentadas da camada mais superior para a mais profunda.

A série produtiva é de grande interesse por englobar a importante camada de carvão. Esta série é caracterizada por possuir xistos, grés carbonosos, argilitos negros, por vezes piritosos. A idade desta série é do Pérmico Inferior, que provavelmente corresponde ao Eccca (Real, 1978).

2.7 Descrição das camadas de carvão

As camadas de carvão apresentam características distintas quanto a sua composição e aproveitamento económico.

A partir da série produtiva são conhecidas camadas de diferentes espessuras e designadas a partir da mais recente por:

1. Camada André é o topo da série produtiva, constituída por bancadas de carvão intercetadas apenas por dois leitos finos de xistos carbonosos, piritosos com 1 a 2 m de carvão.

2. Camada Grande Falésia é composta por xistos argilosos e carvões com 12 m de espessura.

3. Camada Intermédia é formada por argilito negro e níveis de carvão pouco espessos.

4. Camada Bananeira é a camada que corresponde a um complexo de xistos e carvão, com espessura de 9 m superior e 18 m inferior, ambas intercaladas por argilito arenoso.

5. Camada Chipanga é a mais importante da série produtiva com uma camada basal de 36m de carvão.

6. Camada Sousa Pinto é constituída por um complexo carbonoso com 14 m de espessura e por uma alternância rítmica de bancada de carvão e de estéril heterogeneamente distribuídas ao longo de toda a bacia, as bancadas de carvão apresentam intercalações de carvão com xisto carbonoso.

Pode observar-se na figura 2.8 o esboço da serie produtiva com respetivas camadas de carvão indicadas.

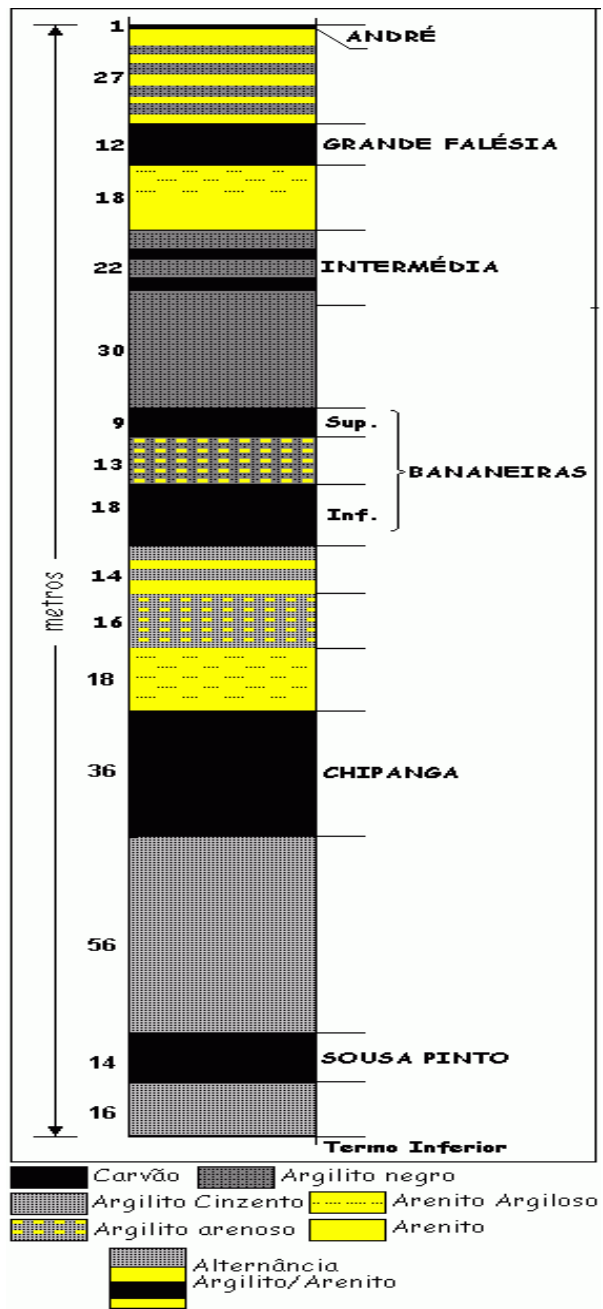


Figura 2.8 Esboço da serie produtiva em Moatize.

Extraído de: Vasconcelos, 1995.

3. EXPLORAÇÃO E BENEFICIAÇÃO

3.1 Exploração

Na extração do carvão podem ser usados diferentes modos ou métodos de exploração, nomeadamente subterrâneo ou a céu aberto. A opção por uma ou outra modalidade depende, basicamente, da profundidade e do tipo de solo sob o qual o minério se encontra. Se a camada que recobre o carvão é estreita ou o solo não é apropriado à perfuração de túneis (por exemplo, areia ou cascalho), a opção é a mineração a céu aberto. Se, pelo contrário, o carvão está em camadas profundas há a necessidade da construção de túneis através da lavra subterrânea.

A produtividade das minas a céu aberto é superior à das lavras subterrâneas. No entanto, de acordo com o World Coal Institute (WCI) ou Instituto Mundial do carvão, 60% da oferta mundial de carvão é extraída por mineração subterrânea.

A exploração do carvão de Moatize pelas empresas, Companhia Vale de Moçambique Lda e também pela Rio Tinto, é efetuada a céu aberto usando “strip mining²”, por ser o método clássico de lavra a céu aberto para carvão e por melhor se adequar à configuração do terreno de Moatize e às condições geológicas da ocorrência em camadas horizontais.

Face às características do carvão de Moatize, e estabelecendo como meta a recuperação máxima com redução de custos, a beneficiação de carvão, visa a redução dos teores de cinzas e enxofre, aumentando os teores da matéria orgânica e o poder calorífico. A modernização técnica de tratamento do carvão, aplicado nas indústrias mineiras, tendo em conta aumentar a capacidade de produção e ampliação do seu mercado consumidor, para os diferentes segmentos industriais, surgiu da necessidade de desenvolver tecnologias, aumentar as capacidades das plantas de beneficiação, melhorando a sua eficiência, visando a sua adequação para atender a demanda existente; assim o conhecimento das especificações dos produtos desejados é importante para a verificação da viabilidade técnica e económica da beneficiação do carvão (Sampaio & Tavares, 2005).

² Método de escavação usado em lavra a céu aberto que consiste no desmonte do recobrimento e do carvão em bancadas

A produção comercial de carvão na mina de Benga (Kable, 2016) começou em maio de 2012 e as primeiras exportações de carvão foram feitas em junho de 2012. Tendo estimado produzir 2,4 Mt de carvão por ano, sendo 1,6 Mt de carvão metalúrgico e 0,816 Mt de carvão térmico. A mina produziu 1,62 Mt de carvão metalúrgico em 2013, incluindo 0,86 Mt de carvão de coque duro e 0,75Mt de carvão térmico.

A mina de Benga está sendo desenvolvida em três fases (Kable, 2016), sendo a primeira fase prevista para processar 5,3 milhões de toneladas por ano. Aproximadamente 1,7 Mt/a de carvão metalúrgico de alta qualidade e 0,3 Mt/a de carvão térmico de exportação são esperados para ser produzidos durante a primeira fase. A segunda fase compreende a instalação de um segundo módulo para a planta de tratamento e preparação de carvão (CHPP). O módulo é esperado para aumentar a produção de carvão de alta qualidade e exportação de carvão térmico de 2 Mt/a para 3,3 Mt/a, respetivamente A terceira fase destina-se a aumentar a produção em fase de produção para 20 Mt/a, com a inclusão de dois módulos CHPP adicionais

A preparação do carvão é um processo físico onde o carvão é lavado para diminuir o rendimento em cinzas e assim produzir três produtos: carvão, mistos e rejeitados.

O princípio básico para a preparação do carvão é liberar as partículas de carvão, da ganga (matéria mineral), aplicando diferentes técnicas à base de água, separar as partículas de carvão e partículas de ganga. As técnicas mais recentes para a preparação de carvão são: a separação por gravidade e a flutuação.

3.2 Beneficiação

O CHPP (Coal Handling and Preparation Plant) é uma planta de processamento em vários estágios que compreende um ciclone de meio denso, um classificador de refluxo e um circuito de flutuação (Kable, 2016). Na mina de Benga, a planta foi projetada inicialmente para uma taxa de produção de 800 t/h e com a previsão para a expansão mais adicional a 3.000 t/h.

De acordo com Clarkson & Hillard, 2016, (Tabela 3.1) indica as unidades de processamentos, e a respetiva granulometria, sendo para o ciclone de meio denso com granulometria entre

50 mm a 1,4 mm e no classificador de refluxo com granulometria entre 1,4 mm a 0,25 mm e no circuito de flutuação com uma granulometria inferior a 0,25 mm.

Unidade de Processamento	Tamanho / Granulometria
Meio denso por ciclonagem	50 – 1,4 mm
Classificador de refluxo	1,4 – 0,25 mm
Circuito de Flutuação	< 0,25 mm

Tabela 3.1 Granulometria por unidade de processamento para a planta CHPP.

Tabela adaptada de Clarkson & Hillard, 2016

No circuito da planta CHPP (Figura 3.1) mostra o processo de tratamento e beneficiação do carvão desde a fase de pré-tratamento, até ao produto final utilizado pela Riversdale Resources em Grassy Mountain que utiliza as mesmas fases (ciclone em meio denso, classificador de refluxo e flutuação) referidas anteriormente para a CHPP de Benga. Esta sociedade foi responsável pelo projeto da CHPP de Benga. Nesse sentido, os rejeitados grosseiros estudados neste trabalho só podem resultar da primeira fase associada ao ciclone de meios densos ilustrado na figura (Reject Dry Disposal).

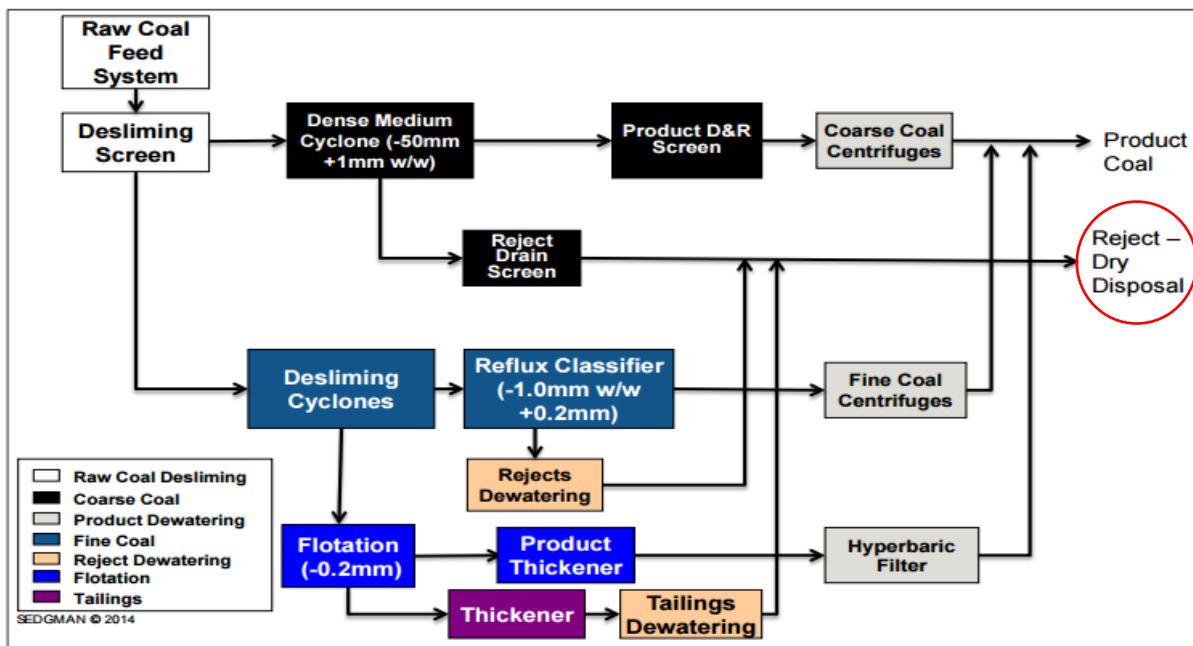


Figura 3.1 Esquema detalhado sobre beneficiação do carvão. Grassy Mountain adaptado de Riversdale Resources, 2015.

A extração de carvão é feita por desmonte mecânico e a remoção de material por escavadoras e camiões com caixas basculantes. Depois, o material de cobertura e o material rochoso encontrado entre os veios do carvão é removido e transportado para o aterro temporário. A medida que as operações de extração avançam, o carvão é transportado para a britagem.

Existem quatro tipos básicos de operações utilizadas na limpeza do carvão. A estas podem ser adicionadas uma série de operações auxiliares, que não estão diretamente envolvidas na

limpeza do carvão. As quatro operações básicas são: fragmentação, classificação, concentração e secagem (Kumar, 2015).

Fragmentação

Esta é a fase em que os blocos de carvão são convertidos em pequenos tamanhos para que possam ser processados por diferentes equipamentos. Na sua maioria através da instalação de um alimentador rotativo ou um triturador de rolos, trituradores de impacto como moinhos de martelo e moinhos de tambor.

Classificação

A classificação é a separação de carvão em produtos caracterizados por diferenças de calibre. Isto pode ser conseguido por crivagem ou por hidroclassificação. Os hidroclassificadores são geralmente utilizados para partículas de carvão fino em meio aquoso.

A classificação do carvão é obtido principalmente através de telas vibratórias nos calibres graúdos e de hidroclassificadores em canal ou hidrociclones para os calibres finos.

Concentração

Sendo carvão classificado em diferentes frações de tamanho, cada fração é submetida a diferentes operações na unidade de beneficiação.

O enriquecimento do carvão grosseiro é geralmente conseguido em uma ou mais lavagem em meio denso por intermédio de um ciclone em que o meio de separação é uma polpa com magnetite.

Os calibres intermédios são geralmente tratados em espirais, a tecnologia mais recente tem optado por separadores de refluxo que consistem na separação dos produtos numa corrente ascensional. Os carvões de menor densidade são arrastados pela corrente ascensional, enquanto a matéria mineral estéril afunda e é removida do circuito.

Os calibres finos concentram-se através do processo de flutuação que pode ser natural em virtude do carvão ser naturalmente hidrofóbico mas o processo é mais eficiente quando se usam coletores (óleo diesel) e depressores para afundar a pirite.

A Libertação do carvão faz-se pela rutura física necessária para o separar da matéria mineral. O material de baixa densidade é carvão limpo, enquanto o material de alta densidade é rejeitado (estéreis). O material de densidade intermediária é chamado de mistos ou *middlings*. Os mistos graúdos podem ser fragmentados para posterior concentração.

Secagem e filtragem do produto final

A preparação do carvão é realizada em água, sendo adicionada muita humidade ao sistema. O teor de humidade total do produto final de carvão tornou-se um fator de controlo de qualidade importante, e a remoção de humidade tanto do carvão grosseiro como do carvão fino é um problema técnico sério.

A desidratação do carvão grosseiro é feita pela remoção da água nas telas ou centrífugas, enquanto que a desidratação de carvão fino é feito usando filtros de correia ou filtros de vácuo. Às vezes, a secagem térmica também é utilizada para a desidratação de carvão (Kumar, 2015)

4. ÁREA AMBIENTAL

A aprovação ambiental para a mina de Benga foi concedida em janeiro de 2010, a produção comercial de carvão começou em maio de 2012.

Um pré-requisito para o desenvolvimento sustentável deve ser a garantia da não contaminação de cursos de água, rios, lagos e mares bem como dos oceanos. As atividades humanas vêm insistentemente, poluindo as fontes naturais de água das quais todos dependemos; a exploração mineira é uma dessas atividades que polui a água.

Em países em vias de desenvolvimento, como é o caso de Moçambique, questões relacionadas à possibilidade e qualidade da água é talvez a interface mais evidente na relação da indústria com as comunidades próximas a um empreendimento mineral e afetam diretamente a percepção e aceitação, pela sociedade, das atividades mineiras.

Os processos de industriais (metalurgia, hidrometalurgia) são, por natureza, grandes consumidores de água; em locais onde haja riscos potenciais ao património ambiental, incluindo os recursos hídricos a mineração deve ser vedada, apesar do aprimoramento das práticas mineiras, em termos ambientais, nas últimas décadas ainda são muito significativos os riscos ambientais derivados da atividade mineira.

Os impactos negativos podem variar, desde a geração e transporte de sedimentos causados por estradas mal conservadas durante a fase de exploração até ao assoreamento de cursos de água e aumento de partículas sólidas em suspensão nas águas durante a fase de operação da mina.

Há necessidades de todas as empresas, até ao garimpeiro que opera nesta área e todos os que estão envolvidos em diferentes projetos de extração e pesquisas de recursos minerais em Moçambique de forma geral, a tomar as devidas precauções e procedimentos a fim de evitar a contaminação dos fluxos de água.

O Ministério para Coordenação da Ação Ambiental (MICOA) com a tarefa de coordenar, a nível nacional, todas as atividades no domínio do ambiente, de forma a promover a gestão, preservação e utilização racional dos recursos naturais do país, bem como propor políticas e estratégias ambientais a serem integradas nos planos sectoriais de desenvolvimento e promover o desenvolvimento sustentável no país.

Nos estudos de Avaliação de Impacto Ambiental as direções que destacam relevância são a Direção Nacional de Avaliação de Impacte Ambiental (DNAIA) e a Direção Nacional de Gestão Ambiental. A DNAIA, é responsável pela fiscalização, do cumprimento de medidas de mitigação dos impactes ambientais, bem como pelas auditorias ambientais, traçar mecanismos locais conducentes ao embargo, ou cancelamento do exercício das atividades, incluindo as de consultoria ambiental, no caso de projetos que atentem contra a qualidade do ambiente.

O Ministério dos Recursos Minerais, órgão do Governo de Moçambique que dirige e executa as políticas no âmbito da investigação geológica, inventariação e exploração dos recursos minerais, incluindo o carvão e os hidrocarbonetos.

a) Políticas e estratégias nacionais para a proteção do meio ambiente

O Programa Nacional de Gestão Ambiental (PNGA), aprovado pelo Conselho de Ministros em 1995, orienta as estratégias e políticas de gestão ambiental em Moçambique. Esta ferramenta jurídica representa assim o plano principal para a área do ambiente, contendo a Política Ambiental Nacional, o Quadro da Legislação de Ambiente e a Estratégia Ambiental.

b) Regulamento sobre o Processo de Avaliação do Impacte Ambiental

A concessão de uma Licença Ambiental constitui um pré-requisito para a implementação de uma série de atividades de desenvolvimento e uma vez concedida a Licença Ambiental o Proponente poderá iniciar a implementação do projeto.

c) Regulamento sobre os Padrões de Qualidade Ambiental e Emissão de Efluentes

Este Regulamento estabelece padrões de qualidade ambiental e de emissão de efluentes, tendo em vista o controlo e a manutenção dos níveis admissíveis de poluição sobre as componentes ambientais.

Este Regulamento é aplicável a todas as atividades publicas au privadas suscetíveis de afetar direta ou indiretamente os componentes ambientais.

Para o Projeto Exploração do Carvão em Moatize, Tete foi necessário a observância de:

- Qualidade da água - a descarga de efluentes líquidos industriais foi determinada no âmbito do licenciamento ambiental, para assegurar a preservação da qualidade das águas do meio recetor, podendo ser efetuados reajustes para valores mais baixos que os estabelecidos no regulamento, caso a sensibilidade e o uso do meio recetor o justifiquem;
- Qualidade do solo - proibida a deposição no solo de substâncias nocivas que possam determinar ou contribuir para a sua degradação. São estritamente proibidas atividades que, implicam a movimentação de solos, que atentam contra o seu estado de conservação, contribuindo para a sua degradação;
- Qualidade do ar - são definidos valores limite de emissão para fontes móveis que incluem maquinaria pesada;
- Nível de ruído – Segue-se os padrões de emissão de ruído, sendo que deverão ser admissíveis para a saúde e sossego públicos.

d) Regulamento sobre a Gestão de Resíduos

Este regulamento estabelece regras relativas a produção, emissão ou deposição de qualquer substância tóxica ou poluidora de modo a prevenir ou minimizar os seus impactos negativos sobre a saúde e o meio ambiente. Aplica-se a todas as pessoas singulares ou coletivas, públicas ou privadas e estabelece competências para a gestão de resíduos. Através das suas principais características, todos os resíduos são classificados em perigosos e não perigosos e subdivididos em classes ou categorias. Neste regulamento são definidas as obrigações das entidades produtoras e gestoras de resíduos estabelecendo-se regras para a recolha, movimentação, acondicionamento (estabelecendo-se o código de identificação de resíduos perigosos), tratamento e valorização de resíduos. Finalmente, o regulamento define as infrações e respetivas sanções referentes ao incumprimento do estabelecido.

e) Regulamento sobre o Processo de Auditoria Ambiental

Este Regulamento foi aprovado pelo Conselho de Ministros, com o objetivo de estabelecer parâmetros para a realização de auditorias ambientais, sendo o seu objeto:

- Os impactos provocados pelas atividades de rotina sobre o ambiente;

- Os riscos de acidentes e os planos de contingência para a evacuação e proteção dos trabalhadores e das populações situadas na área de influência da atividade;

f) A Lei de Minas

Prescreve o quadro regulatório da atividade mineira em Moçambique. Esta lei trata da gestão ambiental da atividade mineira e norma as condições de acesso ao exercício desta atividade atendendo a preservação do meio ambiente, favorecendo a economia Moçambicana.

Lei de Minas cuida exclusivamente da gestão ambiental da atividade mineira. Assim, no exercício da atividade mineira devem ser resguardados os seguintes aspetos:

- a) Leis e regulamentos pertinentes ao uso e aproveitamento dos recursos minerais, bem como a proteção e preservação do ambiente, incluindo os aspetos sociais, económicos e culturais, em vigor;
- b) Boas práticas mineiras, a fim de minimizar o desperdício e as perdas de recursos naturais e de protegê-los contra danos desnecessários.

Para a efetivação da gestão ambiental são chamados a consulta e observância, os seguintes instrumentos:

- A avaliação de impacte ambiental (AIA);
- O plano de gestão ambiental;
- O programa de monitorização ambiental;
- O Plano de encerramento da mina;
- A auditoria ambiental;
- O programa de controlo de situação de risco e emergência.

O processo de avaliação, gestão e controlo ambiental da atividade mineira é feito em conformidade com legislação específica. Regulamento da Lei de Terras: "o processo de titulação do direito de uso e aproveitamento da terra inclui o parecer das autoridades administrativas locais, precedido de consulta as respetivas comunidades".

A maior parte da população Moçambicana vive nas zonas rurais, algumas delas onde as empresas se encontram instaladas como o caso de mega-projetos, empresas de extração de carvão mineral, material de construção civil, e outras. Nas últimas décadas a mineração tem-se tornado mais mecanizada e assim tem aumentado enormemente a capacidade de manusear grandes volumes de material, conseqüentemente, a quantidade de estéril e rejeitados tem-se multiplicado cada vez em maiores quantidades.

O desenvolvimento da tecnologia de mineração tem possibilitado, cada vez mais, o aproveitamento de minérios de baixo teor, o que acaba gerando maior quantidade de estéreis e rejeitados. Os sulfuretos, nomeadamente a pirite, podem ser considerados contaminantes dos estéreis e rejeitados da mina porque as águas pluviais que drenam das escombrelas podem acidificar as águas superficiais e subterrâneas causando problemas sérios de poluição do precioso líquido e perigando até as novas gerações.

A contribuição das empresas que exploram recursos naturais, em particular que exploram recursos minerais, podem de certa maneira acelerar a indústria extrativa moçambicana.

Nas últimas décadas, devido à enorme queima de combustíveis fósseis, a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera tem sofrido um grande aumento, contribuindo para o aquecimento do planeta. Pretende-se atualmente garantir a redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

Sobre o aquecimento global e da redução da camada de ozono, a pressão ambientalista contra o uso do carvão tem sido intensa, principalmente dentro da reivindicação do controle e da redução das emissões de poluentes para a atmosfera. Os fatores determinantes para a aplicação do carvão como fonte de geração de energia elétrica fundem-se na busca pelo desenvolvimento e uso de tecnologias com alta eficiência térmica associadas a baixos níveis de emissão de poluentes (Peng, 1981).

A principal restrição à utilização do carvão é o forte impacto socio-ambiental provocado em todas as etapas do processo desde a produção à combustão. A sua extração provoca a degradação das áreas de mineração. Na combustão do carvão para a geração de eletricidade, as centrais termoelétricas estão já equipadas com equipamentos de

dessulfuração e de desnitrificação dos gases resultantes da combustão, para reduzir a emissão de gases poluentes, nomeadamente dos SOx e NOx, respetivamente.

Os impactes das explorações mineiras são diversos e estão relacionados, não só com o material que delas é extraído, como com o tipo de beneficiação e o armazenamento dos estéreis que resultam dessa extração.

A água e o vento são dois elementos naturais responsáveis pelo transporte dos resíduos das explorações mineiras que potenciam a contaminação do solo, da água e da atmosfera, com impactes graves a nível da saúde pública.

Os principais impactes ambientais nas explorações mineiras são as perturbações paisagísticas, poluição atmosférica, contaminação química da água e do solo e alterações nos ecossistemas.

A contaminação química da água e do solo constitui, de facto, o problema mais preocupante em termos ambientais, pois gera desequilíbrios químicos nestes dois recursos naturais com graves impactes nos ecossistemas envolventes e, até, em locais mais afastados do ponto de origem através dos lixiviados e do escoamento superficial.

As perturbações ecológicas resultam da contaminação do solo e da água que dão origem a modificações da flora e fauna endógenas, afetando os ecossistemas e a biodiversidade local.

5. ATRIBUTOS DO CARVÃO

Os carvões caracterizam-se, fundamental e conjuntamente, pelos seguintes atributos distintivos:

a) Composição petrográfica

Composição petrográfica, em termos de constituintes microscópicos ou macroscópicos. A composição petrográfica está obviamente ligada à natureza dos fragmentos vegetais e às condições de depósito. Estas últimas podem ser levadas a efeito quer em meio húmico (condições de humificação ou turbificação, isto é, nas condições essencialmente anaeróbicas que se admitem estar na origem das turfas) dando origem a carvões húmicos, quer em meio sujeito à putrefação (em condições essencialmente aeróbicas).

b) Grau (ou grau de incarbonização)

Grau (ou grau de incarbonização), respeitante ao estado de evolução atingido no decurso do processo natural chamado incarbonização. O grau é o principal atributo dos carvões, que permite a sua classificação.

c) Categoria

Categoria relativa à quantidade de matéria mineral presente no carvão.

Trata-se, neste caso, de um atributo distintivo de relevante importância em relação com a valorização dos carvões na qual depende, da capacidade de beneficiação/lavabilidade dos mesmos. Atualmente, a qualidade do carvão se estabelece a partir da definição conjunta da sua composição petrográfica, do seu grau e da sua categoria.

A composição petrográfica é, dentre as três características de um carvão, aquela que corresponde à natureza dos fragmentos vegetais de origem que entram na sua constituição e às suas condições de depósito. Para o estudo da composição petrográfica torna-se, por outro lado, necessário estabelecer sistemas de nomenclatura com base nos quais se procede às determinações. Usando o sistema de nomenclatura adotado pelo International

Committee for Coal and Organic Petrology-ICCP, Sistema de Nomenclatura de Stopes-Heerlen (SH).

Baseia no estudo microscópico do carvão (qualitativo e quantitativo) em superfícies polidas de amostras em bloco ou em grão. Preparadas por métodos normalizados, examinadas ao microscópio em luz refletida e em imersão em óleo, ou à lupa binocular. São três as entidades consideradas para a utilização deste pelo sistema de nomenclatura: macerais, microlitótipos e litótipos. As duas primeiras entidades são definidas com base no microscópio e a terceira, normalmente, a partir de exame com a lupa binocular.

Macerais

Os macerais são os constituintes elementares dos carvões a nível microscópico. Trata-se de componentes essencialmente de origem botânica.

A composição petrográfica depende, fundamentalmente, do material vegetal que lhe deu origem, essa mesma composição petrográfica é suscetível de evoluir, por modificações verificadas em alguns constituintes elementares, no decurso da incarbonização crescente.

Estabeleceram-se assim nomenclaturas diferentes para os macerais dos carvões de grau inferior e para os carvões de grau médio e grau superior (Figura 5.1). No entanto, os macerais podem reunir-se nos seguintes três grupos.

a) Grupos da huminite-vitrinite (Sykorova et al., 2005; ICCP, 1998), os quais reúnem os constituintes lignocelulósicos (tecidos e geles vegetais) que evoluíram por gelificação em condições essencialmente anaeróbicas. A incarbonização crescente dá origem, à evolução dos macerais do grupo da huminite, dos carvões de grau inferior, para os do grupo da vitrinite presente nos carvões de grau médio e de grau superior. Desempenham papel decisivo no comportamento dos carvões no decurso dos distintos processos industriais.

b) Grupo da inertinite (ICCP, 2001), o qual agrupa, igualmente, constituintes lignocelulósicos, mas que evoluíram por fusinização (ou fusinitização) em condições essencialmente oxidantes (aeróbicas). Neste grupo se incluem também os restos de fungos e secreções oxidadas, que sofreram idênticas condições de evolução. O aumento da incarbonização dá, por sua vez, origem ao aparecimento da micrinite como maceral de

neoformação a qual se considera que só ocorre nos carvões de grau médio e de grau superior.

c) Grupo da liptinite (Pickel et al., 2015), no qual se incluem os constituintes botânicos figurados tais como esporos, cutículas, resinas, algas que, para além de patentarem composição similar, têm idêntico comportamento evolutivo no decurso da incarbonização. A incarbonização crescente dá origem ao desaparecimento por evolução de certos macerais do grupo da liptinite (suberinite e clorofilinite) só conhecidos nos carvões de grau inferior.

Grupo da Huminite		Grupo da Vitrinite	
Maceral	Subgrupo	Subgrupo	Maceral
Textinite	Telohuminite	Telovitrinite	Telinite
Ulminite			Colotelinite
Gelinite			Gelite
Corpo-huminite	Gelohuminite	Gelovitrinite	Corpogelinite
Atrinite			Colodetrinite
Densinite	Detrohuminite	Detrovitrinite	Vitrodetrinite

Tabela 5.1 Subgrupos e macerais do grupo da huminite e da vitrinite para os carvões de grau inferior e grau médio e superior, respetivamente (Sykorova et al., 2005; ICCP, 1998).

Microlitótípos

Os microlitótípos são associações típicas de macerais resultantes, fundamentalmente, das condições ambientais de génese dos carvões em estreita conexão com as fácies de deposição. Só se consideram como microlitótípos as associações de macerais que se apresentem em bandas de largura mínima de 50µm. Dado que se sabe terem os macerais comportamento tecnológico distinto conforme a associação em que se apresentem, o estudo dos microlitótípos tem, igualmente, particular importância prática. No estado atual dos conhecimentos apenas se encontram definidos os microlitótípos e seus grupos para carvões de grau médio e de grau superior (ICCP 1963, 1971).

Litótipos

Os litótipos são as entidades elementares que se apresentam, nomeadamente nos carvões húmicos, sob a forma de leitos suscetíveis de serem identificados à vista desarmada.

6. MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

6.1 Amostragem

Como referido anteriormente, foi usada neste estudo a amostra com a designação de CR que, foi alvo de estudos anteriores com o objetivo da sua caracterização petrográfica e geoquímica orgânica (análise imediata e elementar) e inorgânica (composição em elementos maiores e traço) e composição em hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (Manharage, 2014). Na tabela 6.1 são indicados alguns desses dados que permitem uma caracterização global da amostra que será objetivo de estudo deste trabalho.

Composição petrográfica				
Vitrinite, %	Liptinite, %	Inertinite, %	Matéria mineral, %	Rr, %
11	0	9	80	1,007
Análise imediata e poder calorífico				
HU %, [sa]	Cz %, [s]	MV %, [ssc]	PC kcal/kg, [s]	
1,28	67,7	36,1	2218	
Análise elementar				
C %, [ssc]	H %, [ssc]	N %, [ssc]	St %, [ssc]	O %, [ssc]
65,45	5,60	1,91	8,15	18,89

Tabela 6.1 Composição petrográfica (% volume) e geoquímica (% massa) da amostra CR (dados de Manharage, 2014).

Rr - reflectância da vitrinite; *HU* – humidade da amostra para análise; *Cz* – cinzas; *MV* – matérias voláteis; *PC* – poder calorífico; *C* – carbono; *H* – hidrogénio; *N* – azoto; *St* – enxofre total; *O* – oxigénio; [sa] – base “seco ao ar”; [s] – base “seco”; [ssc] – base “seco sem cinzas”.

Esta amostra apresenta um rendimento em cinzas de 67,7% (percentagem em massa) sendo a percentagem de matéria mineral, determinada na análise maceral de 80% (percentagem em volume). O enxofre total é também elevado devido à presença de pirite nestes rejeitados (Manharage, 2014). O poder calorífico é baixo devido à quantidade de matéria mineral existente na amostra. A reflectância da vitrinite ($Rr = 1,007\%$) indica que estes

rejeitados derivam, de acordo com a Norma ISO 11760, 2005, de um carvão de grau médio B, carvão betuminoso B.

Para este estudo, foram selecionadas da amostra CR, fragmentos dos quais foram obtidas 57 amostras, onde foi determinada a respetiva densidade usando a balança de Jolly. Com base nas densidades obtidas foram selecionadas 7 amostras para análise petrográfica e 15 para a determinação do rendimento em cinzas. O fluxograma de preparação das amostras está representado na figura 6.1.

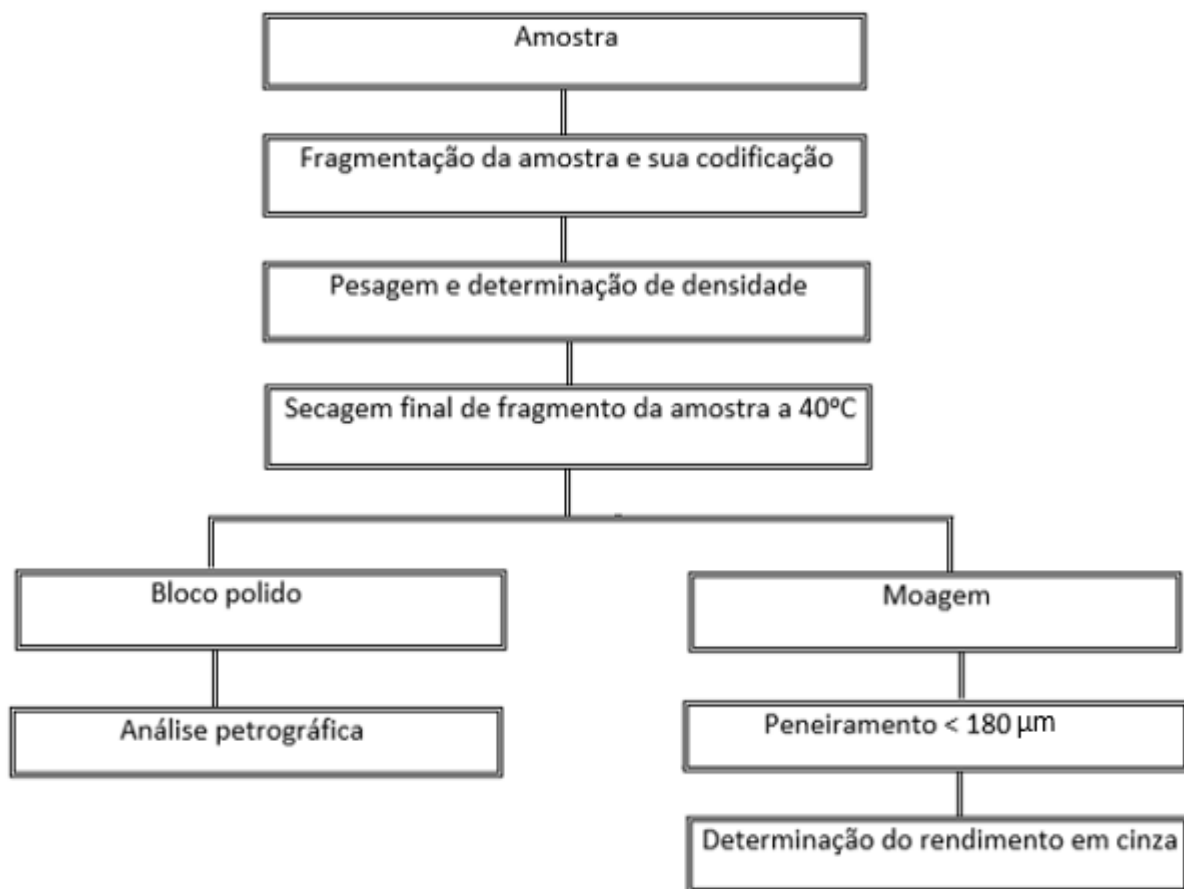


Figura 6.1 Fluxograma relativo à preparação das amostras.

As amostras foram depois fragmentadas, codificadas e submetidas para determinação das densidades (Figura 6.2).



Figura 6.2 Amostra/fragmento de amostras.

6.2 Determinação da densidade

Neste trabalho a determinação da densidade das amostras foi feita usando a balança de Jolly (Figura 6.3). A balança de Jolly é um instrumento inventado pelo físico alemão Philipp Von Jolly no século XIX. A balança de Jolly é usada para determinar a densidade de materiais sólidos.

A balança de Jolly funciona como um dinamómetro, permitindo determinar uma força através de uma extensão da mola que é proporcional à massa através do coeficiente elástico da mola. Este determina a extensão da mola provocada pela força de atração terrestre a que a massa do corpo está sujeita no ar e quando mergulhado em água. A densidade calcula-se como sendo a razão entre a massa do corpo sólido no ar e a impulsão que corresponde à massa do líquido deslocado, ou seja, a diferença da força de atração terrestre no ar com a força de atração terrestre quando o corpo esta imerso na água.

Este funcionamento é baseado na Lei de Hooke que nos diz:

" Dentro dos limites da elasticidade, a deformação sofrida por um corpo elástico é diretamente proporcional à força deformadora".

A Balança de Jolly consta de uma mola helicoidal suspensa em uma haste e disposta diante de uma escala graduada na qual são registradas as elongações sofridas pela mola. Pode fazer-se as seguintes leituras:

- 1-Posição da mola, sem a amostra;
- 2-Posição da mola com amostra no prato superior;
- 3-Posição da mola com amostra imerso em água.

O mineral imerso na água sofre uma força de impulsão (Lei de Arquimedes) igual ao volume da água deslocada, portanto a subtração da leitura do estiramento da mola com o mineral imerso em água e do estiramento do mineral a seco, dá o seu volume em água considerando que a densidade da água é 1.

Procedimentos:

Mede-se o comprimento da mola em repouso, o valor encontrado é a variável ***l0***; Prende-se o material sólido na extremidade livre da mola, e mede-se o novo comprimento da mola, este novo valor encontrado será a variável ***l1***;

Mantendo ainda o corpo sólido preso na mola, coloca-se um recipiente com água abaixo da mola e deixando o sólido mergulhado no recipiente com água sem tocar o fundo do recipiente, este outro valor do comprimento da mola encontrado será o da variável ***l2*** (Castelo Branco, 2008);

E com os valores encontrados, usa-se a fórmula para determinar a densidade do sólido (***ρ***).

$$\rho = \sigma \frac{l1 - l0}{l1 - l2}$$

Equação 6.1 Cálculo de densidade

ρ – Densidade do sólido (amostra); ***σ*** – Densidade da água igual a 1 unidade; ***l0*** – Comprimento da mola, sem o material sólido; ***l1*** – Comprimento da mola (deslocamento) com o material sólido preso na mola sem mergulhar o sólido no recipiente; ***l2*** – Comprimento da mola (deslocamento) depois de mergulhar o sólido até ao fundo do recipiente.

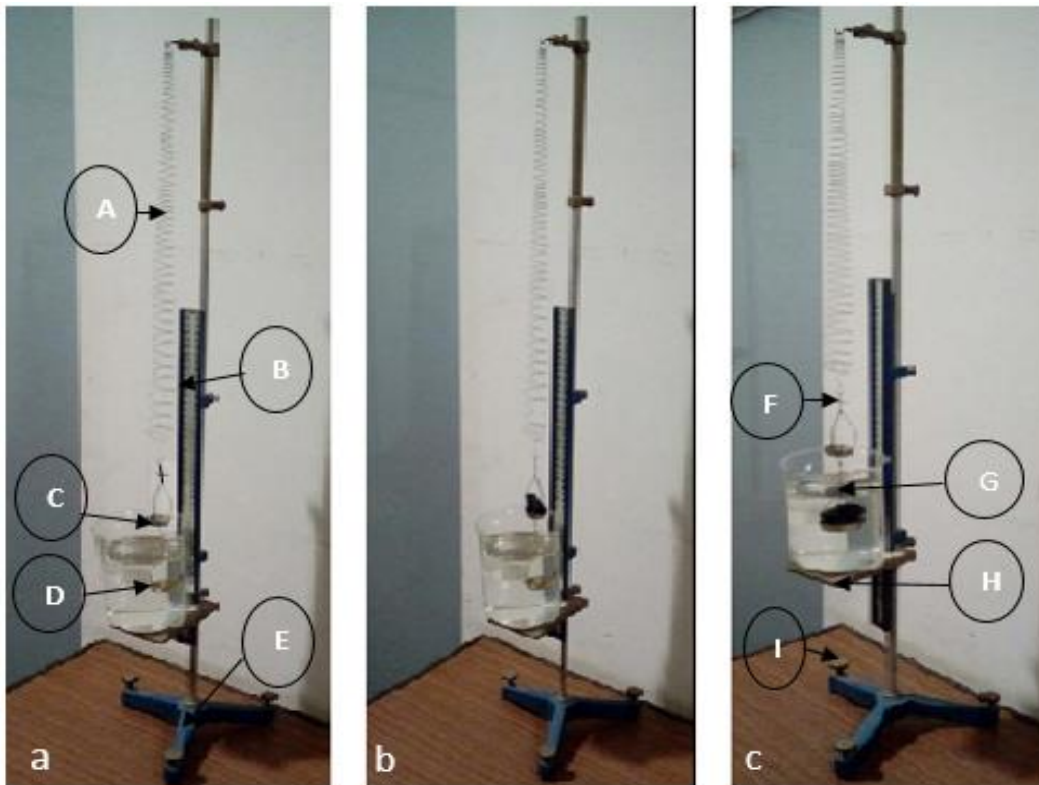


Figura 6.3 Balança de Jolly: a) retrata primeira leitura feita sem colocar amostra; b) retrata a segunda leitura com amostra no prato superior; c) que retrata a terceira leitura com amostra no prato inferior e imerso na água.

A - mola em hélice; B - escala espelhada; C – prato superior; D – prato inferior; E – tripé, suporte da balança; F – índice para fazer as leituras; G – índice a manter sempre ao nível da água; H – suporte móvel (plantina); I – parafuso nivelador.

6.3 Preparação das amostras para análise petrográfica

A preparação das amostras para análise petrográfica incluiu a preparação de blocos polidos. De forma sucinta os procedimentos e os materiais usados para a preparação dos blocos para a análise petrográfica são os seguintes:

Materiais e Reagentes

- Resina;
- Endurecedor;
- Moldes de plástico com fundo amovível;
- Balança;

- Copos;
- Colher;
- Vareta de vidro;
- Gravador de amostras;
- Máquina de polimento;
- Lixas circulares de carboneto de silício;
- Panos de polimento final Texmet e Mastertex;

Na preparação dos blocos polidos as amostras em estudo foram colocadas nos moldes plásticos previamente limpos e com a identificação da respetiva amostra. Preparou-se a mistura da resina com o endurecedor na proporção de 25:3, isto é para 100 g de resina, 12 g de endurecedor que se colocou no molde com amostra até encher o molde e deixou-se secar durante 24 horas. Após a secagem, os blocos foram retirados dos moldes e, utilizando o gravador elétrico, fez-se a gravação dos códigos das amostras.

O pré-polimento dos blocos foi realizado através de lixas de carboneto de silício com granulometrias de 240 #, 500#, 1000#, 1200# e 4000#. Esta fase de preparação foi efetuada em máquina apropriada (figura 6.4), com disco rotativo (30cm de diâmetro) e lubrificação com água. A primeira lixa utilizada foi a de 240#, que serviu para limar a base da amostra e a superfície a observar, de forma a retirar a parte mais superficial da resina e facilitar o polimento com as lixas subsequentes. Nesta fase o tempo de desgaste é bastante curto, bastando apenas observar as características dos blocos. Este pré-polimento fez-se a uma velocidade de 300 rpm. A seguir, usou-se com a lixa de 500#, onde foi necessário mais tempo em relação ao primeiro e também foram tidos cuidados adicionais para evitar maior desgaste. Com as lixas de 1000#, 1200# e 4000# foram seguidos os mesmos cuidados referidos anteriormente tendo-se sempre o cuidado de assegurar que a superfície do bloco apresentava as condições ótimas em cada uma das fases.

Por último, fez-se o polimento usando os discos de menor diâmetro (20 cm) com os panos de TEXMET e MASTERTEX, usando para ambos os casos como abrasivo alumina para micropolimento. Ambas as amostras foram polidas inicialmente com a alumina e água, depois apenas com água. No final também é usada a água e ar comprimido para eliminar resíduos do abrasivo usado no processo de polimento.

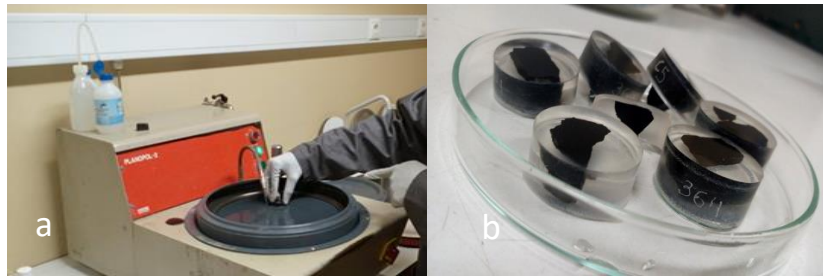


Figura 6.4 a) Máquina de polimento; b) blocos polidos.

6.4 Análise petrográfica

A análise maceral baseia-se na identificação e quantificação (contagem de pontos efetivos) dos diferentes grupos de macerais e da matéria mineral contidos na amostra. Os resultados da análise maceral são expressos em % de volume. O equipamento utilizado (Figura 6.5) foi um Microscópio Leica DM4000 de reflexão, com iluminação LED (luz branca e azul), objetiva de 20X de imersão em óleo (com índice de refração de 1,518), platina motorizada, acoplado a câmara digital e a um computador equipado com software Diskus Fossil (TechnischesBüroHilgers).

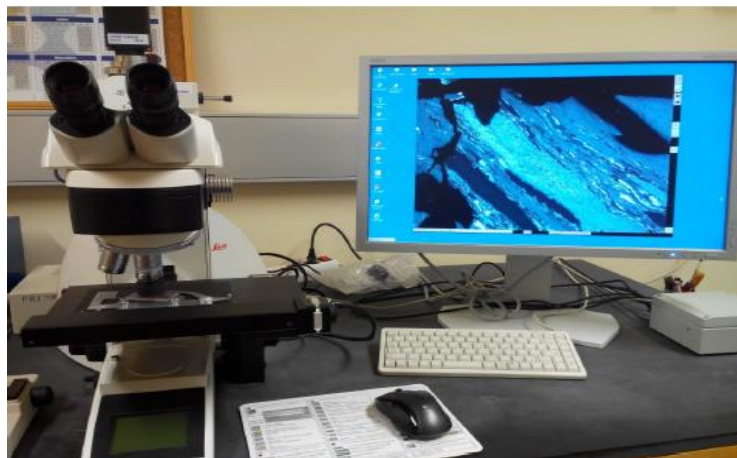


Figura 6.5 Microscópio petrográfico (LeicaDM4000equipado com software fóssil da TechnischesBüroHilgers) com iluminação LED (luz branca e azul), câmaras de cor e preto e branco e software para aquisição de fotografias (software “Discus”), inclui platina motorizada.

Uma vez que se pretendia para além de quantificar a percentagem de cada um dos grupos de macerais, observar sobretudo a relação entre a matéria orgânica e matéria mineral, foram preparados, tal como referido anteriormente, blocos polidos e não amostras

granuladas. Em cada um dos sete blocos polidos foi realizado um varrimento fotográfico (mosaico) de modo a cobrir toda a amostra (Figura 6.6). Em cada bloco foram realizados mosaicos com 180 a 300 imagens, de acordo com o tamanho do fragmento usado na preparação do bloco.

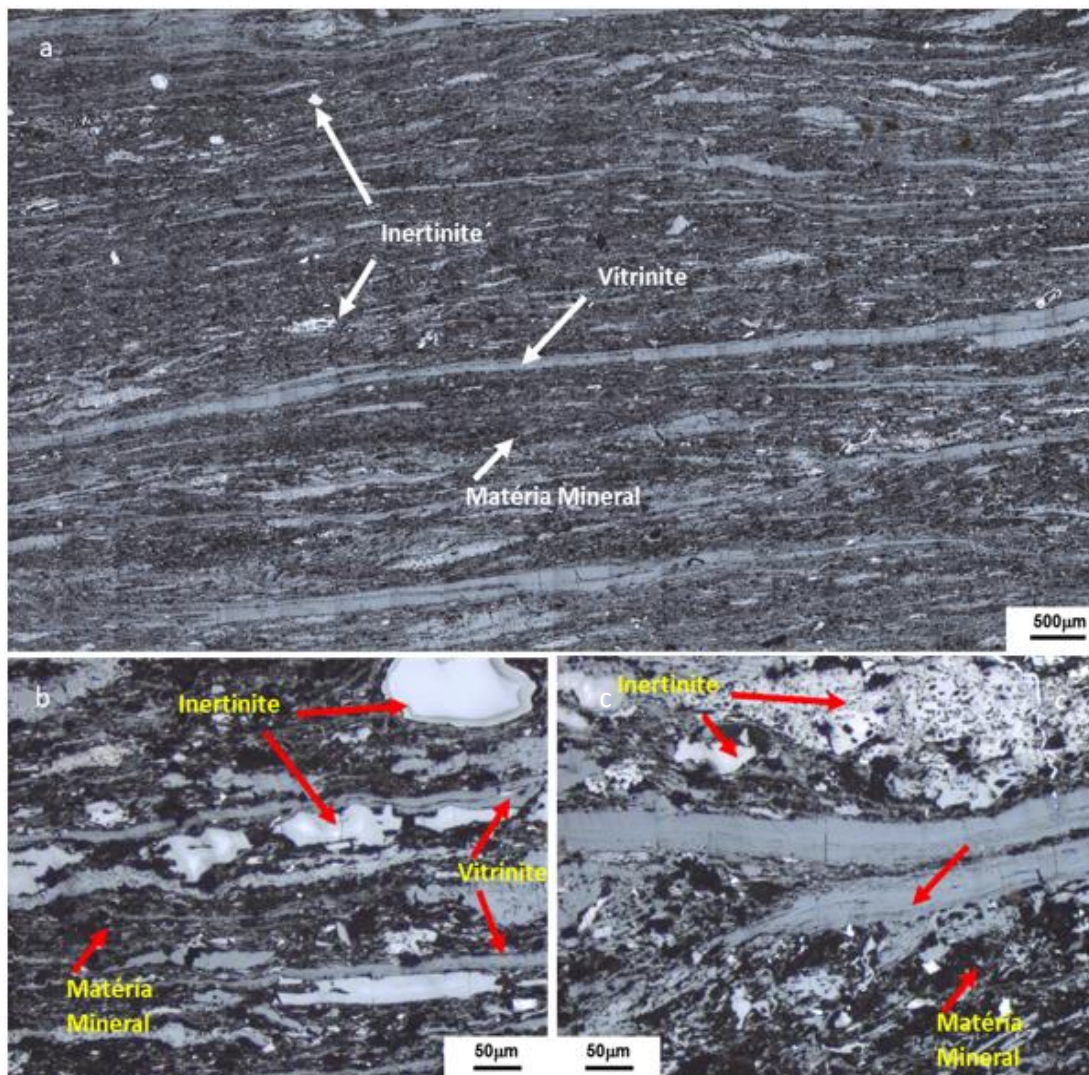


Figura 6.6 Mosaico de uma das amostras estudadas que corresponde à composição de 300 imagens; b) e c) duas das imagens que fazem parte da composição, indicada em a). Nas três imagens identificou-se a matéria orgânica em grupos de macerais (vitrinite e inertinite) e a matéria mineral, neste caso minerais de argila. Imagens obtidas em luz branca refletida.

Para a realização da análise maceral foi criada uma retícula com vinte pontos que se sobrepôs a cada uma das imagens que faziam parte do mosaico (Figura 6.7). Foram

contabilizados os grupos de macerais, vitrinite, liptinite e inertinite, e a matéria mineral. Para além desta contagem foi, ainda, feita a identificação do tipo de matéria mineral e ainda o seu modo de ocorrência (Figura 6.7).

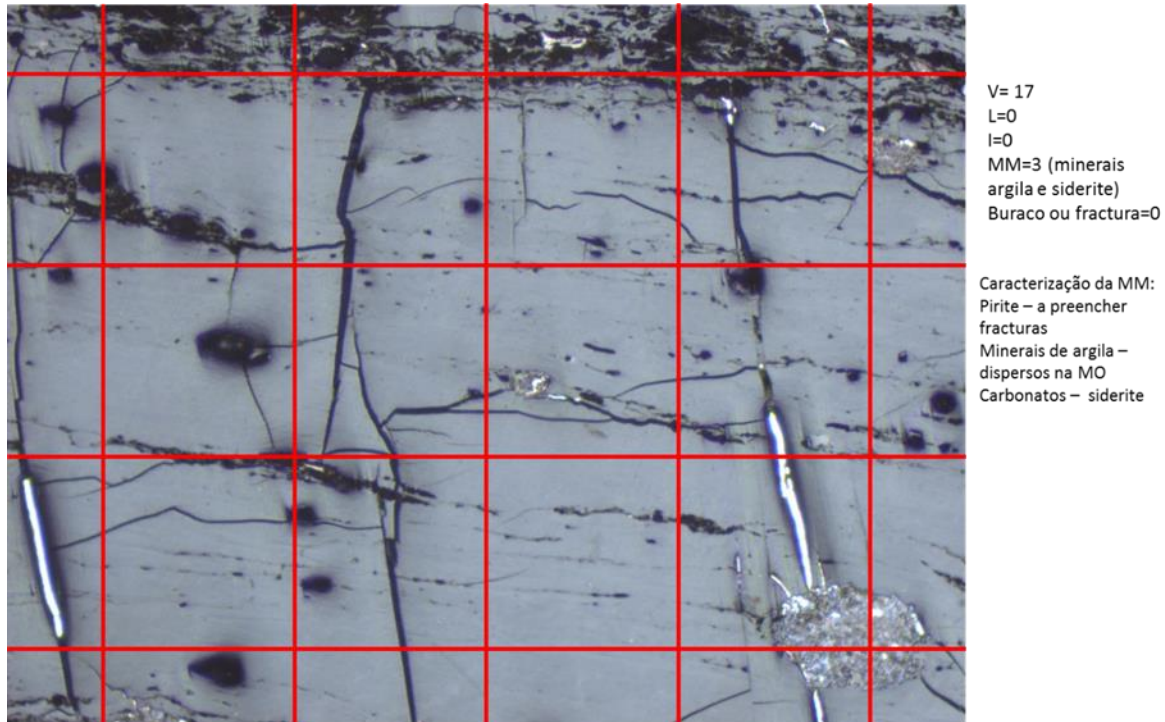


Figura 6.7 Imagem obtida no mosaico de uma das amostras e a retícula que foi sobreposta para realização da análise maceral. Mostra-se, ainda, o registo dos dados que era feito em cada uma das imagens.

6.5 Determinação do rendimento em cinzas

As amostras usadas para análise petrográfica e outros fragmentos foram usados para a determinação do rendimento em cinzas. O rendimento em cinzas equivalente ao teor em matéria inorgânica do carvão e foi determinado obedecendo às especificações indicadas na norma ISO 1171 (2010). Consiste em moer a amostra, neste caso, manualmente usando gral e pestilo (Figura 6.8) e em seguida peneirar num peneiro com abertura de malha de 180 μm (Figura 6.9). De seguida, e após a amostra estar em equilíbrio com a humidade do ar, colocar aproximadamente 1g de amostra num forno à temperatura ambiente. A rampa de aquecimento prevê o aumento da temperatura do forno a 500°C em 1h, e a 750°C em 2h.

Esta temperatura de 750°C é mantida por mais 2h. Após o término da combustão as amostras são pesadas. O rendimento em cinzas é calculado com base na fórmula:

$$Cz, \% [sa] = (C-A)/(B-A) \times 100$$

Equação 6.2 Cálculo de rendimento

onde: Cz (%) [sa] – rendimento em cinzas expresso em % na base “seco ao ar” ([sa]); A = massa do cadinho vazio; B = massa do cadinho com amostra antes da combustão; C = massa do cadinho com as cinzas obtidas após a combustão.



Figura 6.8 Gral e pistilo na fase de moagem das amostras



Figura 6.9 Peneiramento das amostras, Peneiros da serie ASTM

Para comparação dos resultados, o rendimento em cinzas deve ser expresso na base seca ([s]), sendo necessário determinar a humidade da amostra para a análise (HU), com base na norma ISO 589 (2008). Esta técnica consiste em colocar aproximadamente 1g de amostra num forno pré-aquecido e mantê-la por uma hora entre 105°C e 110°C. Em seguida, as amostras são pesadas para determinar a diferença de massa. O teor de humidade é calculado com a seguinte fórmula:

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

Equação 6.3 Cálculo de teor de humidade

onde: HU, % [sa] – Humidade expressa em % na base “seco ao ar” ([s]); A = massa da amostra antes do aquecimento; B = massa da amostra após o aquecimento.

O cálculo do rendimento em cinzas na base ([s]) obedece ao especificado na norma ISO 1170, e é feito através da seguinte fórmulas:

$$\text{Cz, \% [s]} = \text{Cz, \% [sa]} \times (100 / (100 - \text{HU \% [sa]}))$$

Equação 6.4 Cálculo do rendimento em cinzas na base ([s])

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização petrográfica

Os mosaicos obtidos nas amostras selecionada para o estudo petrográfico são apresentados na figura 7.1.

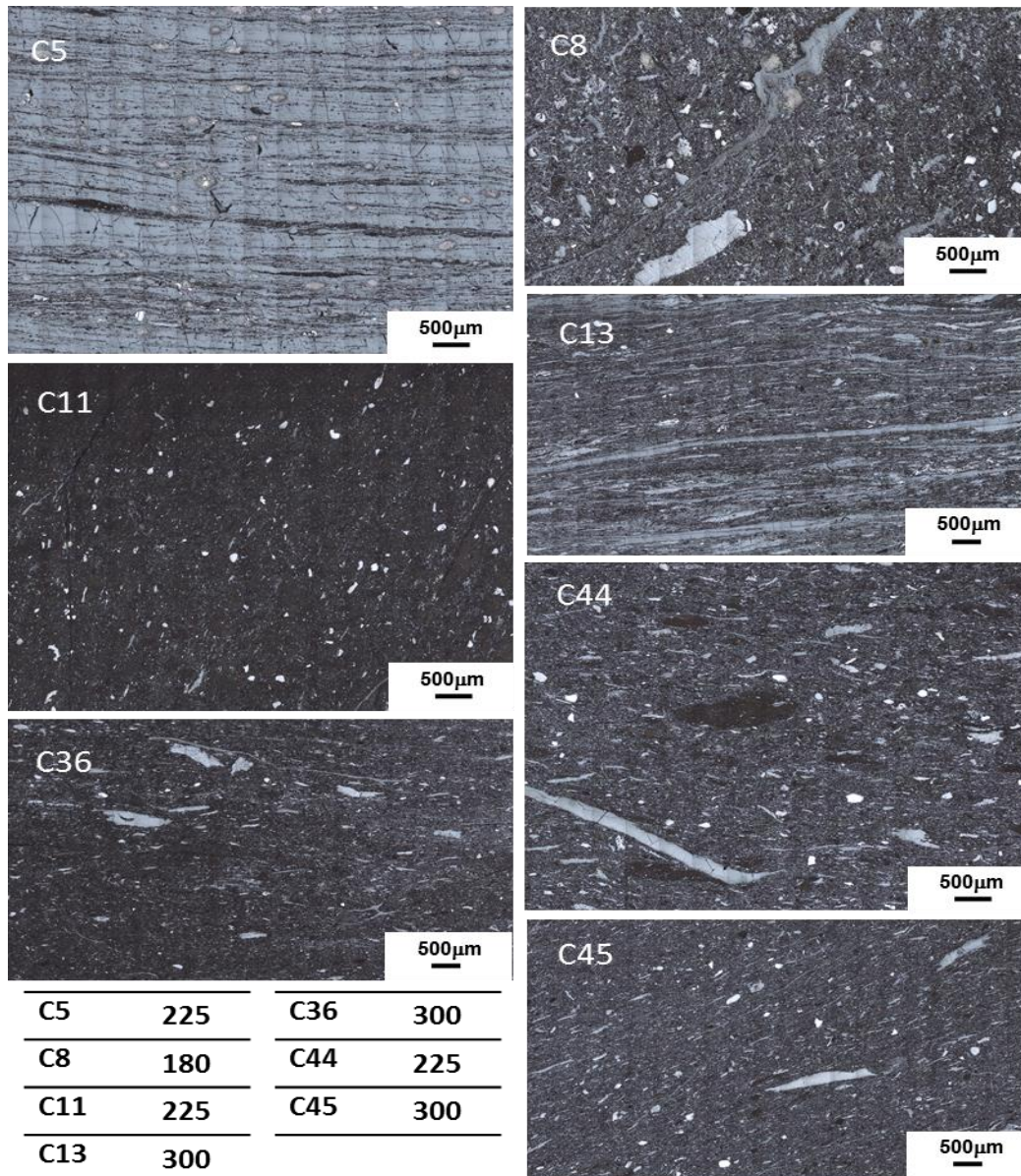


Figura 7.1 Mosaicos das amostras selecionadas para o estudo e o número de imagens que constitui cada um dos mosaicos. Imagens obtidas em luz branca refletida.

Para a determinação da análise petrográfica nas sete amostras selecionada para o estudo petrográfico foram então adquiridas e analisadas 1.755 fotografias, correspondente a um total de 35.100 pontos identificados. Os dados obtidos estão expressos na tabela 7.1.

Amostra	V, %	L, %	I, %	MM,%	V, % [smm]	L, % [smm]	I, % [smm]
C5	80	1	0	19	99	1	0
C8	36	0	18	46	67	0	33
C11	1	0	4	95	20	0	80
C13	63	0	6	31	91	0	9
C36	9	0	13	78	41	0	59
C44	30	0	15	55	66	0	34
C45	26	0	14	60	66	0	34

Tabela 7.1 Dados da análise petrográfica em grupos de macerais e da matéria mineral obtida através da análise de 20 pontos em cada uma das imagens obtidas (N). Apresentam-se, ainda, os dados calculados “sem matéria mineral” ([smm]).

V- vitrinite; L- liptinite; I-inertinite; MM- matéria mineral; smm-sem matéria mineral.

Descrição petrográfica das amostras:

Amostra C5 – A fração orgânica desta amostra é constituída essencialmente por vitrinite (Figura 7.1) e apresenta um teor de MM baixo de 19% (Tabela 7.1), sendo o mais baixo de todas as amostras estudadas. A matéria mineral é constituída por pirite, siderite, que por vezes está a ser substituída por pirite, e minerais de argila. A pirite ocorre a preencher pequenas fraturas. A siderite ocorre em concreções no seio da vitrinite e distribuída por toda a amostra tal como é bem visível na figura no mosaico desta amostra (Figura 7.1). Por vezes a siderite está a ser substituída por pirite (Figura 7.2). Os minerais de argila ocorrem dispersos e intimamente associados à matéria orgânica.

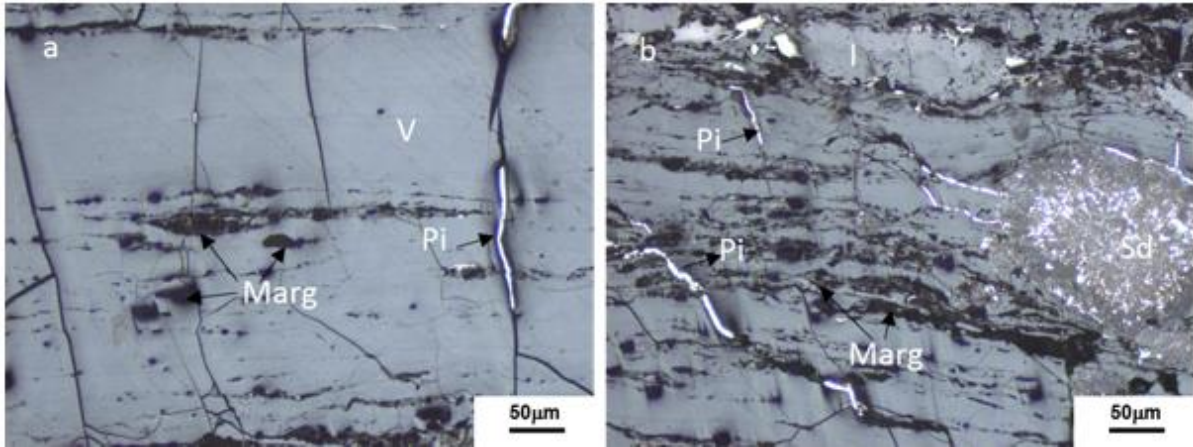


Figura 7.2 Amostra C5. V – vitrinite, por vezes em bandas largas; I – inertinite; Pi – pirite a preencher fraturas; Sd – siderite em concreções intercrescidas no meio da vitrinite; Marg – minerais de argila dispersos na matéria orgânica. Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C8 – A fração orgânica desta amostra é constituída por vitrinite (36%) e inertinite (18%) (Figura 7.3) e apresenta um teor de MM relativamente elevado de 46% (Tabela 7.1). A vitrinite é essencialmente detrítica dispersa na matriz de matéria mineral e ocasionalmente em bandas. A matéria mineral é constituída por siderite e maioritariamente por minerais de argila. A siderite ocorre em concreções associadas à vitrinite visíveis na figura no mosaico desta amostra (Figura 7.3). Por vezes a siderite está a ser substituída por pirite, na sua maioria já oxidada em óxidos de ferro (Figura 7.3). Os minerais de argila (Figura 7.3) formam a matriz mineral com a fração orgânica dispersa.

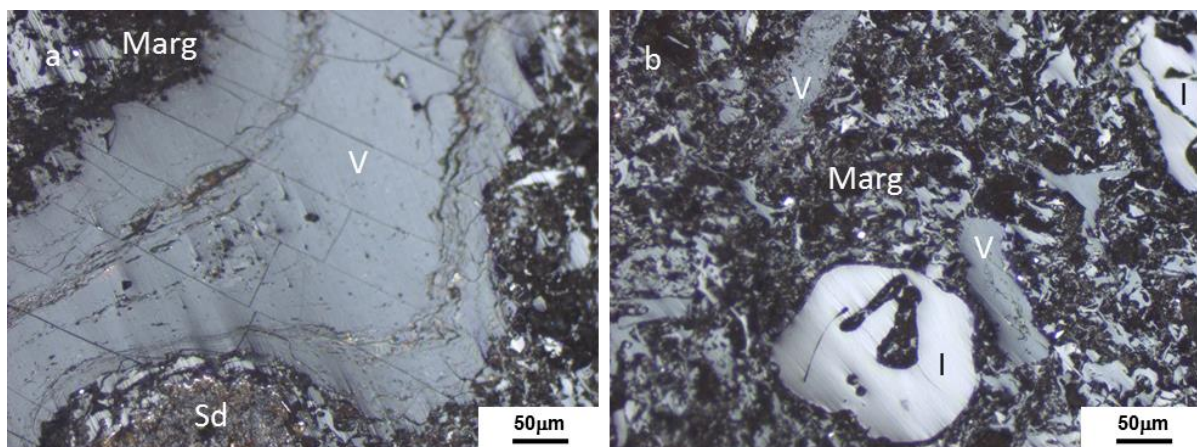


Figura 7.3 Amostra C8. V – vitrinite, por vezes em bandas largas e mais detrítica dispersa na matriz mineral; I – inertinite; Sd – siderite em concreções intercrescidas na vitrinite; Marg – minerais de argila. Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C11 – Esta amostra é constituída por minerais de argila (95% de matéria mineral, Tabela 7.4) formando a matriz mineral na amostra, onde a fração orgânica detrítica constituída por vitrinite (1%) e inertinite (4%) se encontra dispersa.

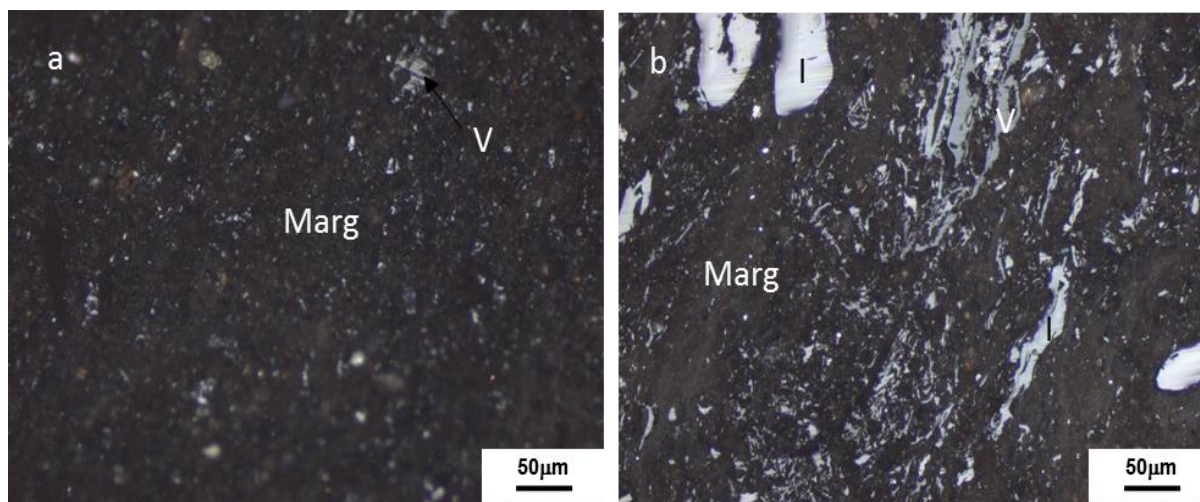


Figura 7.4 Amostra C11. Vitrinite (V) e inertinite (I) detríticas dispersas na matriz mineral constituída por minerais de argila (Marg). Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C13 – A fração orgânica desta amostra é constituída essencialmente por vitrinite (63%), alguma inertinite (6%) (Figura 7.5) e um teor de MM de 31% (Tabela 7.1). A vitrinite e a inertinite ocorre em bandas (Figura 7.5) intercaladas com bandas de matéria mineral revelando uma laminação paralela bem visível na figura no mosaico desta amostra (Figura 7.5) A matéria mineral é constituída maioritariamente por minerais de argila ocorrendo também pequenas concreções de siderite (Figura 7.5).

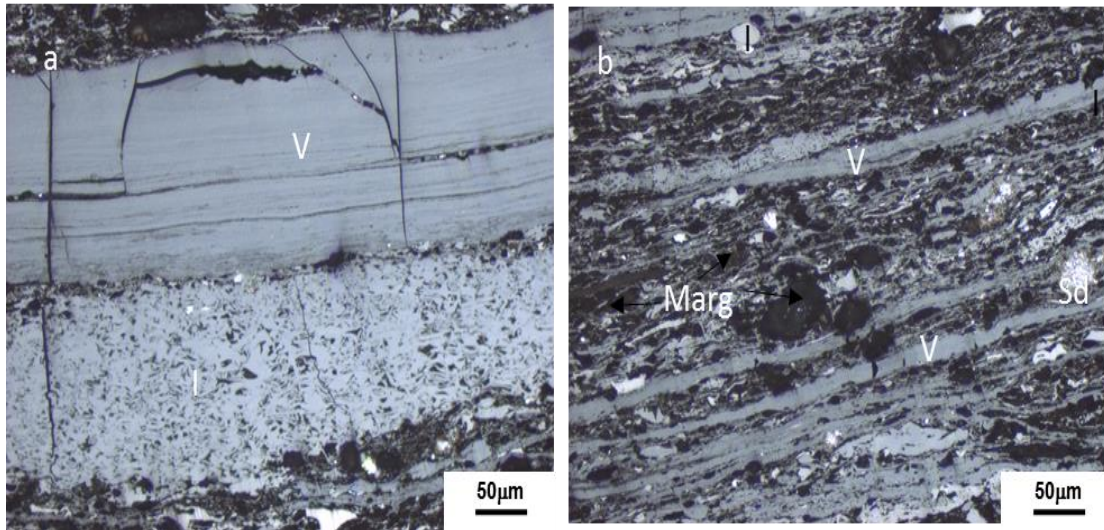


Figura 7.5 Amostra C13. V – vitrinite, por vezes em bandas largas e, ainda, detrítica dispersa na matriz mineral; I – inertinite; Sd – siderite em concreções intercrescidas na vitrinite; Marg – minerais de argila. Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C36 – Esta amostra é constituída essencialmente por minerais de argila (78% de matéria mineral, Tabela 7.1) formando a matriz mineral na amostra (Figuras 7.6) onde a fração orgânica detrítica constituída por vitrinite (9%) e inertinite (13%) se encontra dispersa.

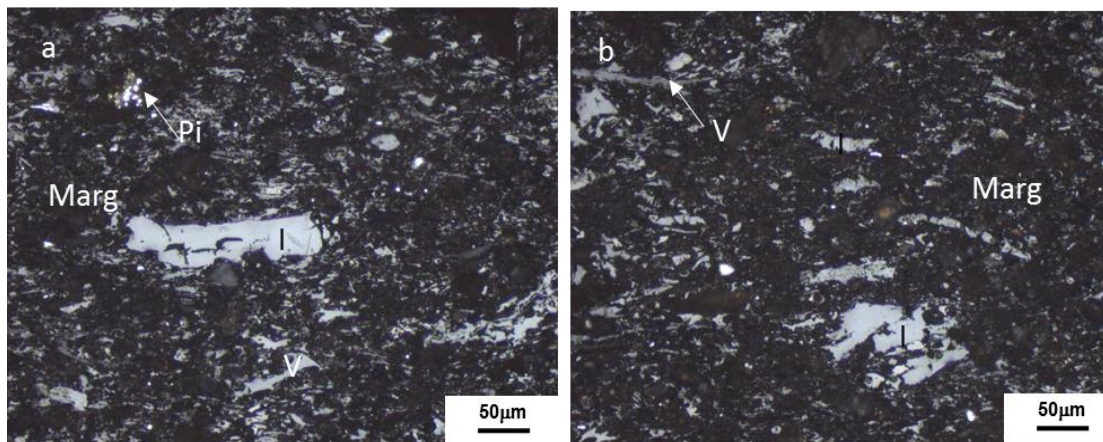


Figura 7.6 Amostra C36. Vitrinite (V) e inertinite (I) detríticas dispersas na matriz mineral constituída por minerais de argila (Marg). Ocasionalmente ocorre pirite sob a forma framboidal (Pi). Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C44 – A fração orgânica desta amostra é constituída por vitrinite (30%) e inertinite (15%) apresentando um teor de MM relativamente elevado de 50% (Tabela 7.1, Figura 7.7). A vitrinite é essencialmente detrítica dispersa na matriz de matéria mineral (Figura 7.7) Porém, ocasionalmente pode ocorrer em bandas estreitas e longas. A matéria mineral é constituída maioritariamente por minerais de argila (Figura 7.7).

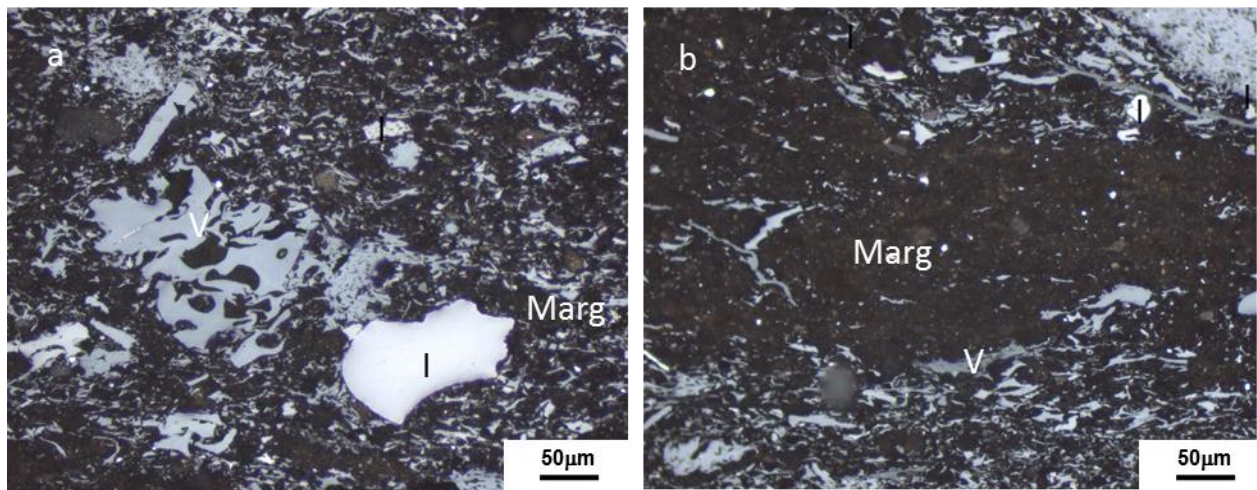


Figura 7.7 Amostra C44. Vitrinite (V) e inertinite (I) detríticas dispersas na matriz mineral constituída por minerais de argila (Marg). Imagens obtidas em luz branca refletida.

Amostra C45 – A fração orgânica desta amostra é constituída por vitrinite (26%) e inertinite (15%) apresentando um teor de MM elevado de 60% (Tabela 7.1, Figura 7.8). A vitrinite e a inertinite são essencialmente detriticas ocorrendo dispersa na matriz de matéria mineral (Figura 7.8). No entanto, ocasionalmente a vitrinite ocorre em pequenas bandas estreitas. A matéria mineral é constituída por minerais de argila (Figura 7.8) ocorrendo ocasionalmente pequenas concreções de siderite (Figura 7.8).

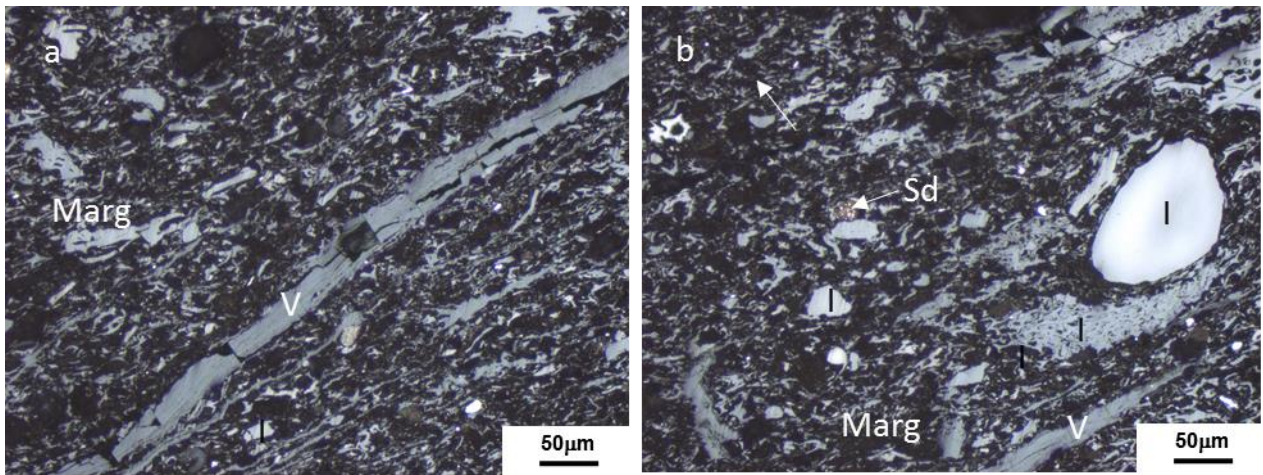


Figura 7.8 Amostra C45. V – vitrinite, por vezes em bandas largas e maioritariamente detritica dispersa na matriz mineral; I – inertinite; Sd – siderite em pequenas concreções; Marg – minerais de argila. *Imagens obtidas em luz branca refletida.*

7.2 Análise da densidade

Os dados obtidos na determinação da densidade usando a Balança de Jolly (Figura 6.3) são apresentados na tabela 7.2.

Amostra	Fg.	Amostra	l_0	l_1	l_2	Densidade	Fração MO(%)	Massa(g)	Volume(cm ³)
		C ₁	14,6	29,2	22	2,03	11,71	45,61	14,6
1		C ₂	17,5	29	23,4	2,05	9,11	43,60	11,5
2		C ₃	18,5	33,2	27,2	2,45	9,76	12,70	14,7
		C ₄	14,4	17,4	15,6	1,67	2,93	73,76	3
2		C ₅	14,4	19,6	16,2	1,53	5,53	84,46	5,2
		C ₆	14,4	21,3	18,3	2,30	4,88	24,40	6,9
3		C ₇	16,9	28,1	22,9	2,15	8,45	35,79	11,2
		C ₈	16,9	23,3	19,6	1,73	6,02	68,84	6,4
		C ₉	16,9	24,4	20,6	1,97	6,18	49,83	7,5
4		C ₁₀	16,9	21,8	19	1,75	4,55	67,26	4,9
		C ₁₁	16,9	23,8	20,8	2,30	4,88	24,40	6,9
5		C ₁₂	16,9	25	21,9	2,61	5,04	0,01	8,1
		C ₁₃	16,9	21,9	19,2	1,85	4,39	59,33	5
		C ₁₄	16,9	20,3	18,5	1,89	2,93	56,44	3,4
6		C ₁₅	17,6	21,9	20	2,26	3,09	27,27	4,3
		C ₁₆	16,9	20,9	18,4	1,60	4,06	78,96	4
		C ₁₇	16,9	20,9	18,4	1,60	4,06	78,96	4
7		C ₁₈	16,9	20,9	18,4	1,60	4,06	78,96	4
		C ₁₉	16,9	20	18,4	1,94	2,60	52,65	3,1
8		C ₂₀	17,8	21,2	19,8	2,43	2,28	14,37	3,4
		C ₂₁	17,8	20,8	18,8	1,50	3,25	86,75	3
9		C ₂₂	17,8	20,8	18,7	1,43	3,41	92,32	3
		C ₂₃	17,8	20,1	18,8	1,77	2,11	65,77	2,3
10		C ₂₄	17,8	20	18,4	1,38	2,60	96,49	2,2
		C ₂₅	17,8	20,8	19,6	2,50	1,95	8,81	3
		C _{25x}	17,8	19,9	18,4	1,40	2,44	94,54	2,1
		C ₂₆	17,5	19,3	18,4	2,00	1,46	47,78	1,8
		C _{26x}	17,6	18,9	18,2	1,86	1,14	58,91	1,3
12		C ₂₇	17,5	18,6	18	1,83	0,98	60,77	1,1
		C ₂₈	17,5	27,9	22	1,76	9,59	66,27	10,4
13		C ₂₉	17,8	27,5	22	1,76	8,94	66,20	9,7
14		C ₃₀	18,5	32	26,3	2,37	9,27	19,06	13,5
		C ₃₁	17,2	26,9	22,6	2,26	6,99	27,84	9,7
15		C ₃₂	17,5	23,5	20,8	2,22	4,39	30,46	6
		C ₃₃	24,3	30,6	27,3	1,91	5,37	54,86	6,3
16		C ₃₄	17	28	22	1,83	9,76	60,77	11
		C ₃₅	17,3	29,8	23,7	2,05	9,92	43,95	12,5
17		C ₃₆	17,4	24,4	21,3	2,26	5,04	27,66	7
		C ₃₇	17,4	18,9	18	1,67	1,46	73,76	1,5
18		C ₃₈	17,4	18,5	18	2,20	0,81	32,19	1,1
		C ₃₉	17,4	18	17,6	1,50	0,65	86,75	0,6
19		C ₄₀	17,4	22,4	18,7	1,35	6,02	98,34	5
		C ₄₁	17,4	18,8	18	1,75	1,30	67,26	1,4
20		C ₄₂	24,2	24,8	24,35	1,33	0,73	99,74	0,6
		C ₄₃	24,3	30,4	27,5	2,10	4,72	39,72	6,1
21		C ₄₄	19	26,6	23	2,11	5,85	39,12	7,6
		C ₄₅	19	26,9	21,3	1,41	9,11	93,71	7,9
22		C ₄₆	18,1	27,2	22,5	1,94	7,64	52,75	9,1
		C ₄₇	24,3	28,3	26,4	2,11	3,09	39,57	6,4
23		C ₄₈	16,9	27,2	22,1	2,02	8,29	46,25	10,3
		C ₄₉	17,1	22,5	19,5	1,80	4,88	63,37	5,4
24		C ₅₀	17	18,9	17,5	1,36	2,28	97,88	1,9
		C ₅₁	17	18,8	18	2,25	1,30	28,29	1,8
25		C ₅₂	17	18,6	17,6	1,60	1,63	78,96	1,6
26		C ₅₃	17,1	18,6	18	2,50	0,98	8,81	1,5
		C ₅₄	17,1	19	18	1,90	1,63	55,57	1,9
27		C ₅₅	16,4	19,6	17,75	1,73	3,01	68,84	3,2
		Média aritmética				1,90	54,70		
		Mediana				1,89	57,88		
		Média geométrica				1,88	34,32		

Tabela 7.2 Resultados obtidos na determinação de todas as amostras estudada

CR - rejeitado grosseiro; Fg-fragmento; L0 – Comprimento da mola, sem a amostra; L1 - Comprimento da mola (deslocamento) com o material sólido preso na mola sem mergulhar o sólido no recipiente com água; L2 - Comprimento da mola (deslocamento) depois de mergulhar o sólido até ao fundo do recipiente; k-constante elástica da mola); MO-matéria orgânica;

Exemplo 1. Cálculo de densidade do fragmento C10 :

Dados: $l_0 = 16,9$; $l_1 = 21,8$; $l_2 = 19,0$; sendo densidade da água igual 1,0

Usando a equação fica: $\rho = \sigma \frac{l_1 - l_0}{l_1 - l_2}$; $\rho_{C10} = 1,0 \frac{l_1 - l_0}{l_1 - l_2}$ » $\rho_{C10} = 1,0 \frac{(21,8 - 16,9)}{(21,8 - 19,0)}$;

$$\rho_{C10} = \frac{(21,8 - 16,9)}{(21,8 - 19,0)} \quad \gg \quad \rho_{C10} = \frac{(4,9)}{(2,8)} \quad \gg \quad \rho_{C10} = 1,75$$

Nas medidas efetuadas para não serem afetadas de erros experimentais ligados a leituras visuais e erros grosseiros que podem ser eliminados, determinou-se a massa em gramas de cada fragmento de amostra e correlacionaram-se com as diferenças entre as medidas l_1 e l_0 . Esta diferença multiplicada pela constante elástica da mola corresponde ao peso. Efetuou-se uma regressão linear (Figura 7.1) entre a diferença $l_1 - l_0$ e a massa obtendo uma dispersão em torno da reta de regressão que por um lado nos caracteriza através do coeficiente de correlação a precisão do procedimento e por outro identifica os erros grosseiros quando os pontos se afastam da reta. A figura 7.9 mostra os resultados depois de eliminados erros grosseiros através da repetição da leitura na balança de Jolly. O coeficiente angular da reta 1.6259 corresponde à constante elástica da mola e o coeficiente de correlação é 0,9913 revelando um bom ajuste de dados equivalente a uma precisão elevada,

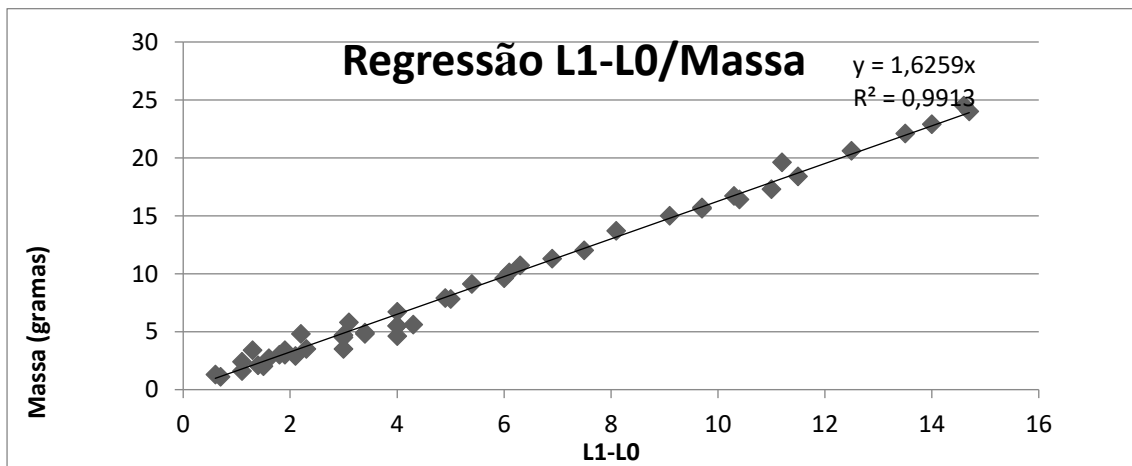


Figura 7.9 Regressão linear entre a diferença L1 - L0 e a massa da amostra.

Utilizando a balança de Jolly (Figura 6.3) determinou-se as densidades das amostras.

Na figura 7.10 apresenta o histograma com as densidades das amostras analisadas (Tabela 7.2) mostrando uma distribuição com oito classes com uma densidade média de 1,9.

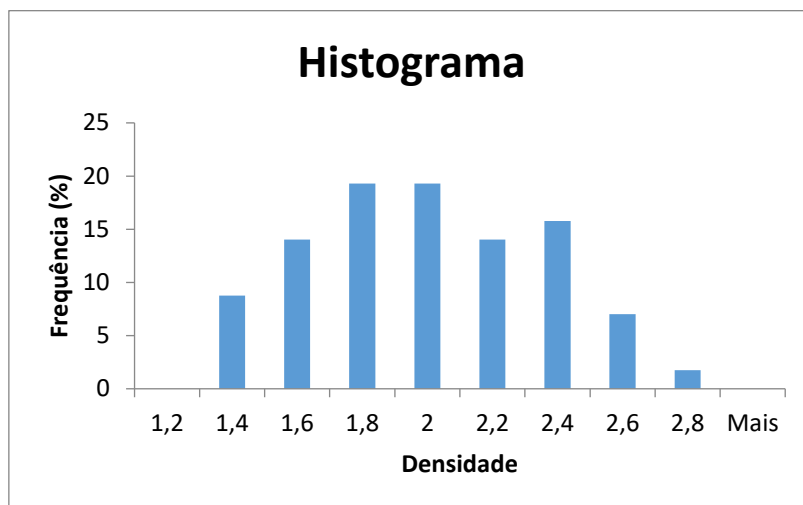


Figura 7.10 Histograma com oito classes de densidades.

Na classe relativa aos valores de densidades mais baixas (inferiores a 1,4), variam entre 1,33 a 1,40. Estes valores de densidade estão de acordo com o valor encontrado para carvão betuminoso 1,346 na tabela dos materiais em SIMETRIC, 2016; neste sentido pode se dar o caso dos fragmentos estejam abaixo do calibre de libertação do carvão betuminoso.

Na classe referente aos valores mais elevados de densidade entre 2,8 e 2,6 existe uma amostra com o valor de 2,61, que podemos considerar como constituída principalmente por MM liberta.

Nas classes intermédias consideramos mistos, compostos por material mineral de densidade 2,61 que é o máximo encontrado na distribuição e por matéria orgânica com densidades de 1,33 que é o mínimo.

Com estes valores é possível obter o teor em volume da MO contida nas amostras partindo dos valores de densidades determinados. Considerando:

FV_{MO} – Fração em volume da MO

FV_{MM} – Fração em volume da MM obtém-se a relação entre as duas frações,

$$Fv_{MM} = 1 - Fv_{MO}$$

Equação 7.1 Fração em volume da MM

Considerando:

D_{MO} -Densidade da MO;

D_{MM} - Densidade da MM;

M_{MO} - Massa da MO a volume unitário;

Obtém-se a equação:

$$M_{MO} = Fv_{MO} \cdot D_{MO}$$

Equação 7.2 Cálculo de Massa.

M_{MM} - sendo a massa da MM a volume unitário

Obtém-se a equação que a relaciona com a densidade da MM e a fração em volume da MM:

$$M_{MM} = Fv_{MM} \cdot D_{MM}$$

Equação 7.3 Relação entre densidade da MM e a fração em volume da MM

Considerando densidade da Rocha D_R

Obtém-se a seguinte equação

$$D_R = M_{MO} + M_{MM}$$

Equação 7.4 Cálculo da Densidade da Rocha

Ou substituindo as equações 7.1, 7.2 e 7.3 na equação 7.4 resulta a equação seguinte:

$$D_R = F_{VMO} \cdot D_{MO} + (1 - F_{VMO}) \cdot D_{MM}$$

Equação 7.5 Relação entre as equações 7.1, 7.2 e 7.3

Isolando a F_{VMO} em em 7.5 obtém-se a equação do modelo que permite através da densidade da rocha medida na balança de Jolly e das densidades com valores máximo e mínimo anteriormente referidos para a MO (1,33) e para a MM (2,61) determinar a fração volumétrica da MO.

$$F_{VMO} = (D_R - D_{MM}) / (D_{MO} - D_{MM})$$

Equação 7.6 Fração volumétrica da MO.

Deste modo foi possível apresentar o histograma representativo da Fração em volume da Matéria Orgânica (Tabela 7.2) e a sua frequência. A média aritmética é 55% em F_{VMO} e a sua mediana é 58%. Sendo 45% para F_{VMM} .

A percentagem em volume de matéria mineral, determinada na análise maceral por Manharage (2014) foi 80%,vol. na amostra CR (Tabela 6.2). Este resultado está um pouco afastado dos 45% obtidos para a média aritmética obtida nas 57 amostras ensaiadas. É possível que neste estudo a escolha efectuada dos fragmentos graúdos superiores a 10mm tenha no seu conjunto uma composição distinta da amostra global estudada por Manharage (2014), onde terá contabilizado, também, fragmentos de menor granulometria correspondentes a MM liberta, uma vez que para a análise maceral é necessário moer a amostra a 1mm (ISO 7404 – 2, 2009). Nesse sentido os fragmentos estudados representam a fracção graúda da amostra CR.

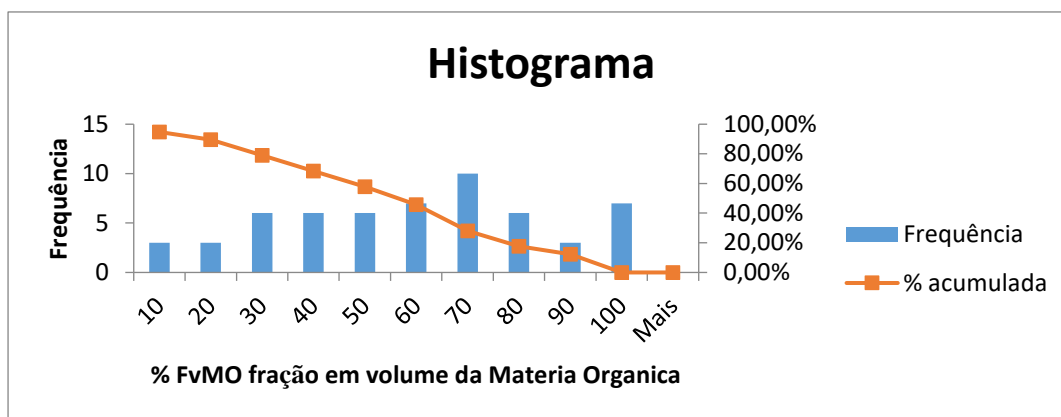


Figura 7.11 Histograma de fração em volume da matéria orgânica.

Conhecida a Fv_{MO} e o volume em cm^3 das amostras (obtido pela diferença entre a I_2 e I_1 relativa à impulsão) apresenta-se a dispersão entre as duas variáveis. Para esta análise consideramos fragmentos libertos de carvão betuminoso com Fv_{MO} superior a 90%, mistos com Fv_{MO} entre 10 a 90% e estéreis inferiores a 10% Fv_{MO} .

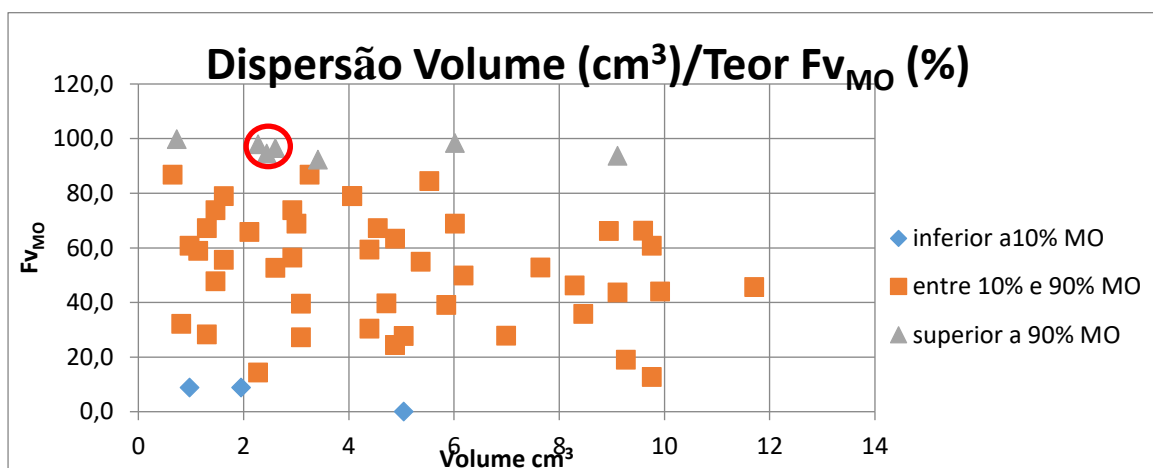


Figura 7.12 Dispersão em volume e teor da Matéria Orgânica.

A dispersão da figura 7.12 evidencia que as amostras referentes aos fragmentos estudados retirados da amostra CR apresentam teores em MO entre 10 a 90% mais representativos do conjunto; logo existem poucos fragmentos de MO e MM libertos. Estes resultam de um processo de beneficiação onde foram aproveitados fragmentos de carvão betuminoso inferior a 50mm e se rejeitaram mistos. Dado que se encontram algumas partículas de MO liberta-se cerca de $2.5 cm^3$ (circulo vermelho na Figura 7.12) cujo diâmetro equivalente é

cerca de 17mm parece que a refragmentação destes mistos possa conduzir a uma libertação quer da MO quer da MM.

Para consolidar o trabalho efetuado com uma balança de Jolly, efetuou-se análise petrográfica para quantificar a MO e MM e suas tipologias, assim como o teor de cinzas em algumas amostras.

7.3 Análise do rendimento em cinzas

A determinação do teor em cinzas equivalente ao teor em matéria inorgânica do carvão foi realizada obedecendo a norma ISO 1171 (2010). Os dados obtidos relativos ao rendimento em cinzas encontra-se indicados na tabela 7.3.

Amostra	Hu, % [sa]	Cz, % [sa]	Cz, % [s]
C2	0,80	63,40	63,90
C6	1,56	45,94	46,67
C9	1,08	66,90	67,60
C10	1,69	58,65	59,66
C12	1,56	87,20	88,60
C14	1,57	56,82	57,73
C28	1,03	53,90	54,50
C29	0,94	55,80	56,30
C31	1,85	72,20	73,60
C33	1,07	59,80	60,50
C34	1,19	58,20	58,90
C35	2,17	71,72	72,12
C43	0,55	71,72	71,12
C46	0,58	85,6	86,10
C47	0,67	73,8	74,30

Tabela 7.3 Dados relativos ao teor em humidade da amostra para a análise e do rendimento em cinzas determinados na base “seco ao ar” e o rendimento em cinzas calculado na base “seco”.

Nas amostras analisadas, o rendimento em cinzas, calculados na base “seco”, varia entre 46,67% e 88,60%, mostrando que estas amostras são rejeitados da exploração do carvão.

Estes dados irão permitir compreender os valores da densidade e usados nas relações entre os diferentes parâmetros.

7.3.1 Correlação rendimento em cinzas versus Fv_{MO}

Para efetuar a correlação ilustrada na Figura 7.13 entre o rendimento em cinzas e a Fv_{MO} (fração volumétrica em matéria orgânica) obtida através das medidas de densidade utilizaram-se amostras emparelhada resultantes do mesmo fragmento.

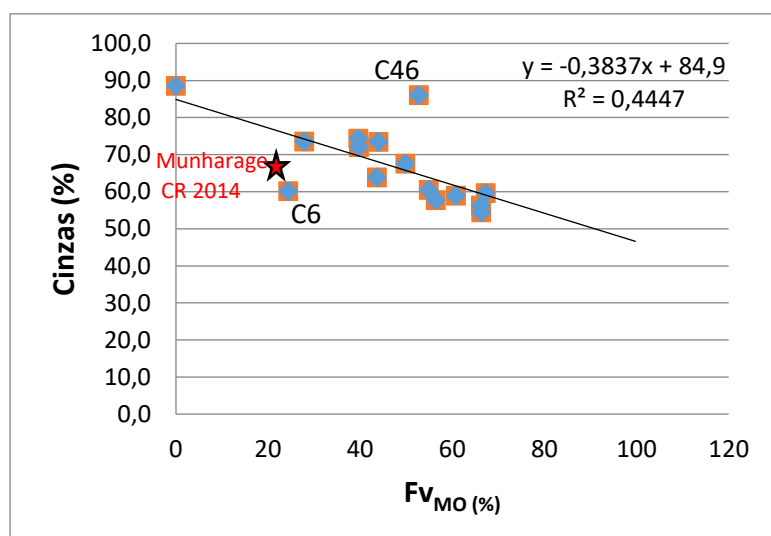


Figura 7.13 Correlação entre o rendimento em cinzas e a fração volumétrica de matéria orgânica

Torna-se evidente da análise da Figura 7.13 que as amostras C6 do fragmento-3 e C46 do fragmento-22 se desviam da tendência geral da recta de regressão.

Projetando os valores de Munharage (2014) obtidos para a amostra total CR (20% vol. MO e 67,7% massa cinzas, Tabela 6.2) encontrou-se também um afastamento da recta de regressão, contudo a amostra C6 têm valores muito semelhantes aos da amostra total CR.

Esta discrepância poderá estar relacionada com o facto de este estudo se centrar na fração superior a 10mm do mesmo material (CR) em que incidiu o estudo de Munharage (2014). Nesse sentido as amostras C6 e C46 foram retiradas do conjunto de dados para construir a regressão que se apresenta na Figura 7.14. Esta regressão linear apresenta um coeficiente

de correlação cujo valor é 0,84 superior ao da Figura 7.13 em que foi registado o valor de 0,44.

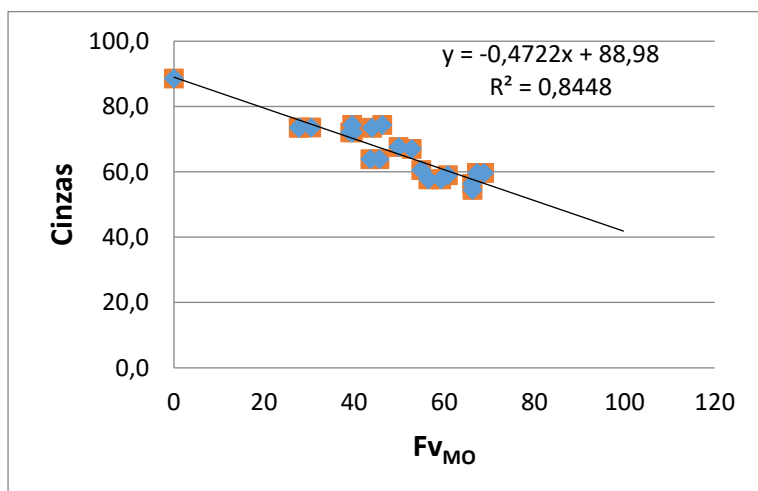


Figura 7.14 correlação cinzas/FvMO excluindo amostras anómalas.

7.3.2 Correlação rendimento em cinzas versus MO da petrografia

Analisou-se também a regressão MO-petrografia versus Cinzas usando as amostras emparelhadas referentes aos fragmentos. Verifica-se um coeficiente de correlação cujo valor é 0,83 o que permite aceitar esta regressão linear segundo a figura 7.15.

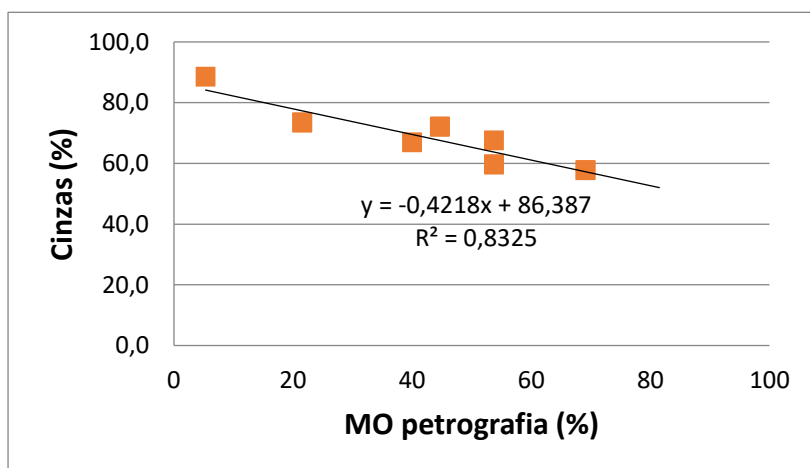


Figura 7.15 Correlação MO-Petrografia e Cinza usando amostras emparelhadas

7.3.3 Análise dos resultados das regressões: rendimento em cinzas versus FvMO e rendimento em cinzas versus MO da petrografia.

Utilizando as equações de regressão linear ilustradas nas Figuras 7.13 a 7.15 foi possível calcular os valores das cinzas para 100% de MO e 100% de MM (Tabela 7.4). Analisando os resultados da Tabela 7.4 para a MO e a MM obtidos, incluindo ou não as amostras C6 e C46, é possível verificar que a percentagem em cinzas para 100% matéria orgânica varia entre 41 e 47%, enquanto o mesmo resultado para a MO inferido através da petrografia é 44%. Este resultado é um paradoxo, uma declaração aparentemente verdadeira que leva a uma contradição lógica: na verdade, se tivermos 100% de MO não devíamos ter 40% de cinzas; mas, pelo contrário, deveriam ter-se cinzas muito reduzidas.

No sentido de compreender a origem deste paradoxo é importante referir que o processo de obtenção das cinzas faz-se segundo a norma ISO 1171 (2010) que consiste em colocar aproximadamente 1g de amostra a granulometria inferior a 212 μ m num forno sujeito a uma rampa de aquecimento até 500°C em 1h, e a 750°C em 2h. Esta temperatura de 750°C é mantida por mais 2h. Este processo de queima é incompleto quando a granulometria da MO é inferior à granulometria das partículas multifase (MO+MM) pelo que consideramos resolvida declaração aparentemente verdadeira: 100% de MO resulta num teor de cinzas muito reduzido. Para consolidar esta conclusão observem-se as imagens das amostras nas figuras 7.3 a 7.8 onde os calibres de ocorrência são muito reduzidos relativamente às dimensões das partículas exigidas pela norma ISO (ISO 1171, 2010).

Regressão	Equação de regressão	Coefficiente correlação	Cinzas 100%MO	Cinzas 100%MM
Fv _{MO} (x)/Cinzas Amostras emparelhadas Sem C6 e C46	Cinzas = -0.4722x + 88.98	0.85	41.44	88.98
Fv _{MO} (x)/Cinzas Amostras emparelhadas Com C6 e C46	Cinzas = -0.3837x + 84.9	0.44	46.53	84.95
MO petrografia (x)/Cinzas	Cinzas = -0.4218x + 86.387	0.84	44.21	86.39

Tabela 7.4 Quadro-resumo dos resultados de regressão.

No sentido de validar o processo que conduziu à determinação indireta da MO e MM através da densidade obtida na balança de Jolly em partículas superiores a 10mm apresenta-se na Figura 7.16 a regressão da Fv_{MO} com o teor em MO-obtido na análise petrográfica usando as amostras emparelhadas e fazendo passar a reta de regressão na origem dos eixos.

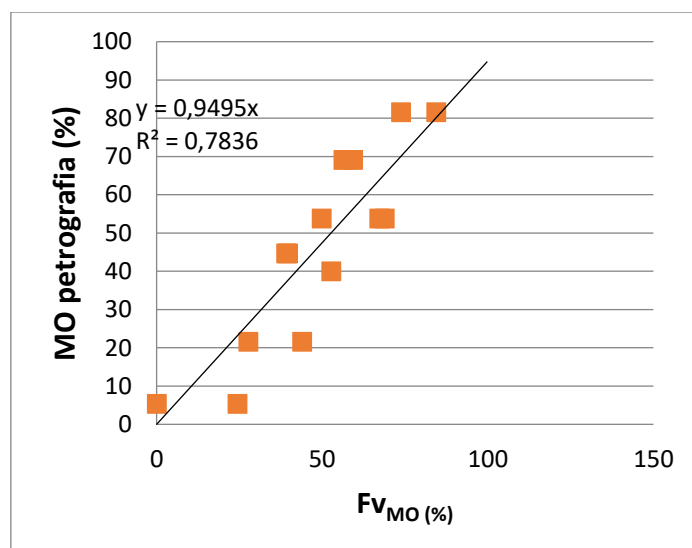


Figura 7.16 Regressão da fração MO obtida das densidades com o teor de MO obtido pela petrografia usando amostras emparelhadas.

A regressão tem um coeficiente angular com o valor 0,95 muito próximo de 1 enquanto o coeficiente de correlação é 0,78 validando, deste modo, a metodologia indireta utilizada.

8. CONCLUSÕES

O carvão térmico é um dos produtos que a mina disponibiliza para ser usado na combustão usando a tecnologia de carvão pulverizado. Neste caso, não é admissível rendimentos em cinza superiores a 20%, ainda que o desejável seja valores inferiores. Para além de ter custos de transporte tem sobretudo custos nas caldeiras das centrais térmicas e problemas na moagem do carvão por possuir maior quantidade de cinzas.

No presente estudo, os teores de cinzas são mais elevados cerca de 46,67 % a 88,6%, confirmando assim que se trata de um rejeitado, sendo o processo de obtenção do teor em MO por via indireta, através da densidade, adequado. A MM desta amostra está sobretudo dispersa na MO, nomeadamente os carbonatos e os minerais de argila. Este tipo de associação MM/MO é mais difícil de separar porque, o carvão terá de ser moído a granulometrias muito finas para a MM se libertar. A MM que pode ser facilmente libertada é a que está a preencher fraturas, que neste caso, é essencialmente a pirite.

Considerando que se pretende um reaproveitamento dos rejeitados, será necessário obter um produto de qualidade inferior e eventualmente para uso doméstico.

A utilização maioritária de reservas domésticas de carvão contribui para a segurança do aprovisionamento energético e, por conseguinte, espera-se que o carvão com teores de cinzas elevadas permaneça como fonte de energia. A tecnologia de combustão do carvão em leito fluidizado é ambientalmente mais amigável uma vez que pode utilizar carvões mais pobres diminuindo assim os resíduos mineiros produzidos durante a exploração.

RECOMENDAÇÕES:

Para trabalhos futuros, deverá ser necessário fazer ensaios de redução de calibre e determinar curvas de lavabilidade que caracterizem o processo de beneficiação.

9. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M., (2012). Avaliação do impacto de atividades antrópicas no Rio Jaguaribe, Universidade Federal do Ceará, Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza.
- ARANDA, G., et al., (2016). Fuel Processing Technology Gasification and its Applications. Volume 141, Part 1. Acessado em 22.06.2016 em, <http://www.intechopen.com/books/petrology-new-perspectives-and-applications/organic->
- Australian Guidelines for Estimating and Reporting of Inventory Coal, Coal Resources and Coal Reserves, 2003.
- BORBA, R.F., 2001. Carvão Mineral. Balanço Mineral Brasileiro, 21 pp.
- Cartographic Department; 2016. map profile. - consultado no dia 20.04.2016 em, <http://www.un.org/Depts/Cartographic/map/profile/mozambique>.
- CASTELO BRANCO; (2008). Balança de Jolly. -acessado no dia 02.05.2016 em, <http://memoriarecenteeantiga.blogspot.pt/2008/06/balana-de-joly.html>.
- CIM, 2000. CIM Standards on Mineral Resources and Reserves, Definitions and Guidelines, Prepared by The CIM Standing Committee On Reserve Definitions, 25 pp.
- CIP; Redação de 09 de Abril de 2009, carvão mineral em Moçambique, Maputo.
- CLARKSON C., Hillard, C., 2016. Australian Coal Preparation 2050. XVIII International Coal Preparation Congress. Saint Petersburg Mining University.
- DAVID, & SAMPAIO, Carlos;2003. Estado da arte de mineração em Moçambique: caso de Moatize, Tete. - Consultado em 20.03.2016 em, http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_A7_A8_A9/A9_ARTIGO_03.pdf.
- DEUTSCHEW, W., (2016). Carvão de Moçambique - Extraído no dia 27.05.2016 em <http://www.dw.com/pt-002/carvao-de-mocambique-haa-uma-regiao-em-brasa/a-16384748>, publicado em 2012.
- <http://www.google.maps/mina> de Benga. – acessado em 19.06.2016.http://mz.geoview.info/panoramic_view_of_the_ldv_and_hdv_moatize_coal_project_mozambique,51526388p - consultado no dia 02.07.2016.
- HUMAN RIGGHTS WATCH;2016. Mozambique coal mining– consultado no dia 10.11.2016 em, www.hrw.org/report/2013/05/23/what-house-without-food/mozambiques-coal-mining-boom-and-resettlements.
- ICCP – International Committee for Coal and Organic Petrology, 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 349-358.
- ICCP - International Committee for Coal and Organic Petrology, 2001. The new inertinite classification (ICCP system 1994). Fuel 80, 459-471.
- ICCP – International Committee for Coal Petrology, 1971. International Handbook of Coal Petrography, Supplement to the 2nd Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the USSR, Paris, Moscow.
- ICCP – International Committee for Coal Petrology-ICCP, 1963. International Handbook of Coal Petrography, 2nd Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the USSR, Paris, Moscow.
- IEA - International Energy Agency & Eurostat - Statistical Office of the European Communities, 1997.
- IEA - International Energy Agency & Eurostat - Statistical Office of the European Communities 2004.
- INE e MINAG -II Censo Agro-pecuário, 2010/2011 - consultado no dia 06.10.2016 INE, projeções anuais da população total das províncias e distritos 2007-2014. - Consultado em 06.10.2016 em, <http://www.ine.gov.mz/estatisticas/estatisticas-territorias-distritais/tete/novembro-de-2012/distrito-de-moatize.pdf/view>.

- Informativo da Agência Internacional de Energia (AIE), 1997. Energy Technologies for the 21 St Century.
- ISO 1171, 2010. Solid mineral fuels - Determination of ash. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 4 pp.
- ISO 11760, 2005. Classification of Coals. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 17247, 2013. Coal - Ultimate Analysis. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 4 pp.
- ISO 7404-2, 2009. Methods for the petrographic analysis of coals - Part 2: Methods of preparing coal samples. International Organization for Standardization, 12 pp.
- KABLE;2016. Mining-technology. – consultado no dia 13.07.2016 em, <http://www.mining-technology.com/projects/benga-coal-mine-mozambique>.
- KUMAR. (2015). Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering- University of British Columbia.- consultado no dia 10.11.2016 em, <http://technology.infomine.com/reviews/coalpreparation/welcome.asp?view=full>
- LEMOS DE SOUSA, M.J., 1999. Notas de Petrologia Orgânica.3. Sobre os conceitos e a utilização dos termos “Tipo” e “Composição Petrográfica”. *Geólogos* 5, 109-110.
- LEMOS DE SOUSA, M.J., Rodrigues, C.F., Dinis, M.A.P., 2012. O Carvão na Atualidade, Universidade Fernando Pessoa e Academia das Ciências, Lisboa.
- MAE; 2005. Perfil do Distrito de Moatize. Província de Tete. Ministério da Administração Estatal. Série Perfis Distritais. Maputo, Moçambique.
- MANHARAGE, M., 2014. Carvão de Moatize (Tete): do Recurso Mineral ao Ambiente. Tese de Mestrado em Recursos Geológicos e Geomateriais. Universidade de Aveiro e Universidade do Porto.
- MATTOZO, V.A., 2002. Mídia digital de informação científica e tecnológica sobre energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção-UFSC, Florianópolis, Brasil.
- MICOA (Ministério para Coordenação Ação Ambiental), 2002. Plano de Ação Nacional de Combate à Seca e à Desertificação, República de Moçambique, 88 pp.
- Ministério da Administração Estatal, (2005). Perfil do Distrito de Moatize – Província de Tete, Editora MAE, Maputo.
- MUCHANGO, A.(1999). Moçambique: paisagens e Regiões naturais. Edição do Autor, Maputo.
- PENG, C., 1981. Classification of bituminous coals: application of the technique of optimal sections in coal classification. *Energy* 6, 47-60.
- PICKEL, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidi, S., 2015. Draft Classification of Liptinite – ICCP System 1994. 51pp.
- REAL, F., 1966. Geologia da bacia do Zambeze - Junta de Investigação Ultramar.
- REAL. S.A., 1978. Geologia de Moçambique. Notícia Explicativa da Carta geológica de Moçambique. Esc: 1:2000 000, 2ª. Edição, 1978.
- RIO TINTO COAL MOZAMBIQUE, (2012). Geochemical Assessment of the Benga Coal. Project Environmental Geochemistry International Pty ltd, Austrália - acessado no dia 22.08.2016 em, <http://www.intechopen.com/books/petrology-new-perspectives-and-applications/organic>
- SAMPAIO, C.H., Tavares, L.M., (2005). Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. 1ed. Porto. 45pp.
- SIMETRIC.(2016). density of materials. – consultado no dia 03.11.2016 em, http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm.
- SÝKOROVA, et al., 2005. Classification of huminite—ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 86-104.

VALE DE MOÇAMBIQUE; (2016). Mineração do carvão da mina de Moatize. - Extraído no dia 22.06.2016 em, <http://www.vale.com/mozambique/PT/business/mining/coal/Paginas/default.aspx>

VASCONCELOS, L., 1995. Contribuição para o conhecimento dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, Moçambique. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto.

WORLD ATLAS;(2016). Country - extraído no dia 22.04.2016 em, <http://www.worldatlas.com/webimage/countrys/africa/mz.html>.